

# **Biomechanische Belastungsgrenzen**

## Biomechanical Tolerance Levels

**Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bereich Unfallforschung**

# **Biomechanische Belastungsgrenzen**

**Aktualisierte Literaturstudie zur Belastbarkeit des Menschen  
beim Aufprall**

## Biomechanical Tolerance Levels

Updated View of Literature on Human Load Capacity  
at Impact

Hans-A. Gülich

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bereich Unfallforschung  
Bergisch Gladbach, März 1988

Herausgeber:

© Bundesanstalt für Straßenwesen

Bereich Unfallforschung

5060 Bergisch Gladbach 1, Brüderstr. 53

Tel. 02204/430, Telex 8878483 bas d

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Falle die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, bedürfen der Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen.

Druck: Fotodruck J. Mainz, 5100 Aachen

Lfd. Nr. 173

ISSN 0173 - 7066

Kurzfassung

Biomechanische Belastungen des Menschen beim Aufprall

Eine Literaturstudie gleichen Namens war vor zehn Jahren von der Bundesanstalt für Straßenwesen veranlaßt worden; nun liegt eine überarbeitete und auf den Stand von 1986/87 gebrachte Fassung vor. Die Anzahl der erfaßten Quellen ist von 221 auf 449 gestiegen. In tabellarischen Übersichten werden für einzelne Körperregionen Untersuchungsergebnisse zusammengestellt, die ermittelte oder vermutete Belastungsgrenzen anhand von physikalischen Parametern beschreiben; die Ergebnisse stammen zum überwiegenden Teil aus Leichenversuchen aber auch aus Versuchen mit Freiwilligen und mit Tieren sowie aus Unfallanalysen. Soweit verfügbar werden Untersuchungsergebnisse als Original-Tabellen in einem Anhang wiedergegeben. Damit ist die Auswahl relevanter Arbeiten erleichtert zur Abschätzung von Aufprall-Belastungen des Menschen als Fahrzeuginsasse oder als Fußgänger. Auf einschränkende Gesichtspunkte bei der Gewinnung und der Anwendung solcher Belastungsgrenzen wird hingewiesen und zugleich deren Bedeutung für eine vergleichende Bewertung von sicherheitstechnischen Maßnahmen bestätigt.

Abstract

Biomechanical Tolerance Levels of the Human Body at Impact

Ten years ago the Federal Highway Research Institute initiated under the same topic a study of literature; now a reviewed and updated version is available as of 1986/87. The total number of references has risen from 221 to 449. Results are summarized in tables for separate body regions describing the explored or expected tolerance levels by physical parameters; most of the results were reached in experimental work with cadavers as well as with volunteers and animals and by accidents analysis. Original tables with results are enclosed to an appendix as far as available. Thereby the selection of relevant studies for assessment of impact loading on car occupants or pedestrians will be supported. Restrictive aspects to the exploration and the use of such tolerance levels are mentioned, at the same time their importance for a comparative judgement on safety devices is confirmed.

Table of Contents

	Page
Foreword	4
1 Introduction	6
2 Examination of Tolerance Levels	8
2.1 Terminology	10
2.2 Establishing Boundary Values	14
2.3 Restrictive Factors	18
3 Table of Tolerance Levels	26
3.1 Structure of the Tables	26
3.2 Abbreviations	30
3.3 Tabular Section	33
3.3.1 Total Organism	34
3.3.2 Head	38
3.3.3 Neck	44
3.3.4 Upper Extremities	48
3.3.5 Trunk	50
3.3.6 Lower Extremities	56
3.3.7 Tissues	60
3.3.8 Standard Values	62
4 Assessment of Recorded Tolerance Levels	64
4.1 Total Organism	66
4.2 Head	68
4.3 Neck	72
4.4 Upper Extremities	74
4.5 Trunk	74
4.6 Lower Extremities	78
4.7 Tissues	80
5 Summary and Conclusions	82
6 Bibliography	86
7 Appendix	122

Inhaltsverzeichnis		Seite
Vorwort		5
1	Einleitung	7
2	Betrachtung von Belastungsarenzen	9
	2.1 Terminologie	11
	2.2 Gewinnung von Grenzwerten	15
	2.3 Einschränkende Gesichtspunkte	19
3	Tabellarische Zusammenstellung von Belastungsarenzen	27
	3.1 Aufbau der Tabellen	27
	3.2 Abkürzungen	31
	3.3 Tabellenteil	33
	3.3.1 Gesamtorganismus	34
	3.3.2 Kopf	38
	3.3.3 Hals	44
	3.3.4 Obere Gliedmaßen	48
	3.3.5 Rumpf	50
	3.3.6 Untere Gliedmaßen	56
	3.3.7 Gewebeteile	60
	3.3.8 Richtwerte	62
4	Würdigung erfaßter Belastungsarenzen	65
	4.1 Gesamtorganismus	67
	4.2 Kopf	69
	4.3 Hals	73
	4.4 Obere Gliedmaßen	75
	4.5 Rumpf	75
	4.6 Untere Gliedmaßen	79
	4.7 Gewebeteile	81
5	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	83
6	Literaturverzeichnis	87
7	Anhang	123

## Foreword

Ten years ago a study of the literature on this topic appeared in the series "Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr".<sup>1</sup> Now as then, questions as to vehicle safety and the evaluation thereof constitute the basis of the studies. Hence the purpose is still to "furnish the professionals who are interested in the pertinent studies with a clear survey of the available results".

While the periodic publication of addenda which was proposed then could not be implemented, a version updated to the status as of the end of 1986/beginning of 1987 is now available.

228 new sources have been added, primarily based on the proceedings of international conferences. The tabular surveys have been expanded to include the new sources. The form of the tables has been simplified, without sacrificing important contents. The numbering of the sources now corresponds to the register, however, which has been expanded to a total of 449 studies and is, as before, arranged alphabetically by author - the first author, if appropriate. Wherever available, original tables are included in an appendix.

For a comparative evaluation of safety measures, it is still necessary to be aware of reliable biomechanical tolerance levels. Due to the numerous factors affecting the accident events, parameters vary greatly and a correspondingly high expense is entailed for studies to be meaningful. To provide a survey of the quality desired, every possible source should be included. Nevertheless, the survey cannot be termed exhaustive.

---

<sup>1</sup> Biomechanical Tolerance Levels  
Literature study by E. Faerber, H.-A. Gülich, A. Heger and  
G. Rüter  
Series USS, Issue 3, 1976

## Vorwort

Vor einem Jahrzehnt ist in der Schriftenreihe "Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr" eine Literaturstudie zum gleichen Thema erschienen<sup>1</sup>; heute wie damals bilden Fragen der Fahrzeugsicherheit und deren Bewertung den Hintergrund der Betrachtung. So bleibt also der verfolgte Zweck unverändert, "den an einschlägigen Untersuchungen interessierten Fachleuten eine geordnete Übersicht verfügbarer Ergebnisse zu liefern".

Die seinerzeit vorgeschlagene, periodische Veröffentlichung von Nachträgen hat sich zwar nicht verwirklichen lassen, gleichwohl liegt nun eine auf den Stand von Ende 1986/Anfang 1987 gebrachte Fassung vor.

Es wurden 228 neue Quellen erschlossen; als Grundlage dienten dazu im wesentlichen die Berichte (proceedings) internationaler Konferenzen. Den neu aufgenommenen Quellen entsprechend haben die tabellarischen Übersichten eine Ausweitung erfahren. Die Tabellen wurden in eine handlichere Form gebracht, ohne wichtige Inhalte aufzugeben. Allerdings entspricht die Numerierung der Quellen nun dem auf insgesamt 449 Beiträge erweiterten Verzeichnis, das wie bisher nach Autoren - dem jeweils ersten - geordnet ist. Soweit verfügbar, werden Original-Tabellen in einen Anhang aufgenommen.

Für eine vergleichende Bewertung von sicherheitstechnischen Maßnahmen bedarf es nach wie vor der Kenntnis zuverlässiger biomechanischer Belastungsgrenzen. Infolge der zahlreichen Einflüsse auf das Unfallgeschehen ergibt sich eine große Variation von Parametern und ein entsprechend hoher Aufwand für aussagefähige Untersuchungen. Die hier angestrebte gute Übersicht gebietet es, nach Möglichkeit jede geeignete Quelle zu erfassen. - Dennoch wird nicht der Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

---

<sup>1</sup>Biomechanische Belastungsgrenzen  
Literaturstudie von E. Faerber, H.-A. Gülich, A. Heger und  
G. Rüter  
Reihe USS Heft 3, 1976



## 1 Introduction

A survey of the biomechanical tolerance levels was published in 1976 by the Federal Highway Research Institute.

Many of the studies conducted since then reflect the efforts in research to better understand the relationship between accident impacts and the resultant trauma. These efforts are apparent, for example, in the European Communities' programme for promotion of biomechanic research [144] which encompasses numerous individual projects which are concentrated chiefly on frontal impact, lateral impact, pedestrian collision, lateral-impact dummies and computed models. The results of these studies were published in 1983 in a symposium of the EC Commission.

As further examples of international activities, the work of a European governmental committee [139] could be mentioned, as well as the cooperation between the European automobile industry and the Federal Highway Research Institute in a joint biomechanical research project [51].

The continuing efforts in non-European countries as well, especially in the USA, to extend the scope of the knowledge of biomechanics are reflected in international conferences (STAPP, IRCOBI, ESV, etc.) whose proceedings serve as the basis for this study.

The results of earlier and more recent findings are clearly summarized in tables according to separate body regions and loading. The objective is to aid in quickly locating relevant original works. Beyond this, the reader will find references to verified or probable load tolerances under specific conditions, thus facilitating necessary stipulations in the spheres of design and administration.

Among the many assorted sources, there are those who regard the present available information as adequate to proceed [84, 415] and others who point out the broad range of fluctuation of the parameters or the unexplained physiological interrelationships [11, 151, 213, 329, 445 and 449]. Statistical analyses are becoming increasingly popular [137, 178].

## 1 Einleitung

Eine Übersicht zu biomechanischen Belastungsgrenzen ist 1976 von der Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht worden.

Die große Zahl der seither durchgeführten Untersuchungen kennzeichnet die Forschungsbemühungen um ein besseres Verständnis des Zusammenhangs zwischen Unfallbelastungen und Verletzungsfolgen. Sichtbaren Ausdruck finden diese Bemühungen beispielsweise in dem Biomechanik Programm der Europäischen Gemeinschaften [144], das zahlreiche Einzelprojekte vor allem zu den Schwerpunkten Frontalstoß, Seitenstoß, Fußgängerprall, Seitenstoß-Dummy und Rechenmodelle umfaßte; die Ergebnisse dieser Arbeiten sind 1983 in einem Symposium der EG-Kommission veröffentlicht worden.

An weiteren internationalen Aktivitäten sind beispielhaft zu nennen die Arbeit eines europäischen Regierungsausschusses [139] sowie die Zusammenarbeit der europäischen Automobilindustrie und der Bundesanstalt für Straßenwesen in einem Forschungsverbund Biomechanik [51].

Die fortgesetzten Bemühungen auch in außereuropäischen Ländern, vor allem in den USA, um die Vertiefung biomechanischer Kenntnisse finden ihren Niederschlag auf internationalen Konferenzen (STAPP, IRCOBI, ESV u.a.), deren Berichte der hier vorliegenden Arbeit als Grundlage dienen.

Das Ziel der Zusammenfassung von älteren und neueren Erkenntnissen in einem übersichtlichen nach Körperregionen und Belastungen gegliederten Tabellenwerk ist das schnelle Auffinden relevanter Originalarbeiten. Darüberhinaus findet der Leser Hinweise auf nachgewiesene oder zu vermutende Belastungsgrenzen unter bestimmten Bedingungen, so daß notwendige Festlegungen im konstruktiven wie im administrativen Bereich erleichtert werden.

Unter den vielen verschiedenen Quellen gibt es sowohl Stimmen, die das vorhandene Wissen als hinreichend erachten, um voran zu schreiten [84, 415] - als auch andere Auffassungen, die auf die große Schwankungsbreite der Parameter oder die ungeklärten physiologischen Zusammenhänge verweisen [11, 151, 213, 329, 445, 449]. Die statistische Betrachtungsweise findet in zunehmender Maße Anwendung [137, 178].

Note that, despite great efforts in the measurement sector, no experiment in which a real-life accident was simulated has proven fully satisfactory. The complexity of the human body and the variety in accident situations result in such a broad range of variation that each individual type of loading can only describe a small segment of reality. Under such conditions, it is important to examine standardized cases so that the conclusions to be drawn are valid for the greatest number of similar events.

The following sections deal with the definition of tolerance level, the determination of such boundary values, and qualifying aspects. Following the tables, an attempt is made to use examples to indicate developments. As the final step, conclusions are drawn in summary.

## 2 Examination of Tolerance Levels

The term "tolerance level" is employed here in its general sense. What are involved are boundary values obtained using extremely disparate test procedures and different test specimens. The limits which are reached or exceeded in this process are often not boundary values which are recognized as binding or scientifically reliable. Depending on the particular study at hand, the limits described are frequently at quite different levels: from the pain level via destruction of function to damage or injury.

In numerous tests, no unambiguous boundary values are specified. Instead, events - such as injuries discovered - are mentioned together with a description of the test conditions. In such cases, different test parameters are possible as boundary values for a tolerance, for example mass, speed, depth of penetration of the colliding body. Although no unambiguous tolerance level is secured in this manner, a subarea is described which, together with other (sub-)events, enable a more complete description - or at least an estimation thereof.

Zu bemerken ist, daß trotz eines hohen meßtechnischen Aufwandes bisher im Experiment keine alle Ansprüche befriedigende Nachbildung des realen Unfalles gelingt. Die Komplexität des menschlichen Körpers und die Vielfalt des Unfallgeschehens ergeben eine so große Variationsbreite, daß sich mit einzelnen Belastungsfällen jeweils nur kleine Ausschnitte der Realität beschreiben lassen. Unter solchen Bedingungen ist es bedeutsam, typische Fälle zu betrachten, damit die zu ziehenden Folgerungen für eine möglichst große Zahl von ähnlichen Ereignissen Gültigkeit besitzen.

Die folgenden Abschnitte behandeln den Begriff der Belastungsgrenze, die Gewinnung solcher Grenzwerte sowie einschränkende Gesichtspunkte. Im Anschluß an die Tabellen wird versucht, anhand von Beispielen auf Entwicklungen hinzuweisen. Schließlich werden zusammenfassend Schlußfolgerungen gezogen.

## 2 Betrachtung von Belastungsgrenzen

Der Begriff Belastungsgrenze wird hier in seiner allgemeinen Bedeutung gebraucht. Es handelt sich um Grenzwerte, die bei sehr verschiedenartigen Versuchsanordnungen mit unterschiedlichen Versuchsobjekten gewonnen wurden. Die dabei erreichten oder überschrittenen Grenzen stellen häufig keine als verbindlich anerkannten oder wissenschaftlich abgesicherten Grenzwerte dar; vielfach liegen die beschriebenen Grenzen in Abhängigkeit von der jeweiligen Untersuchung auf recht unterschiedlichem Niveau: von der Schmerzgrenze über die Funktionsstörung bis zu einem Schaden oder einer Verletzung.

Bei zahlreichen Versuchen werden keine eindeutigen Grenzwerte benannt, sondern Ergebnisse - das können festgestellte Verletzungen sein - mitgeteilt unter Beschreibung der Versuchsbedingungen. In solchen Fällen kommen verschiedene Versuchsparameter - beispielsweise Masse, Geschwindigkeit, Eindringtiefe des Stoßkörpers - als Grenzwerte für eine Belastung in Betracht. Damit ist zwar keine eindeutige Belastungsgrenze gewonnen, aber doch ein Teilbereich beschrieben, der zusammen

Due to the life-threatening consequences of severe injuries to the head or chest area, a great deal of attention is devoted to these body regions in biomechanical studies of accident injuries. The danger of common and persistent consequences in case of injuries in the knee area results in another area of concentration, but one which is not measured as much as head or chest.

An ISO work group (ISO/TC22/SC12/WG15) and the SAE Information Report SAE J 1460 MAR 85 deals with the description of the mechanical behaviour - simulated by a test dummy - of individual body regions. The objective of these reports is not to examine tolerance levels but rather to adapt the impact reactions of a test dummy to those of the human body. Another SAE Information Report, HS J 885 APR 80 dealt with injury criteria but was retracted in 1981. These reports are mentioned solely for the sake of completeness.

The methods used in studies are constantly being polished, a fact which may complicate comparisons and accurate evaluation. In addition, the language of the specialists may sometimes be an obstacle. Before further discussion, it therefore appears appropriate to cast a brief look at the terminology.

## 2.1 Terminology

At the beginning of the 1980's, Aldman [5] suggested that in describing biomechanical test results a strict distinction should be drawn between injuries to living persons and damage to all other test specimens such as cadavers, animals, mechanical and mathematic models. To date, the restriction of the term "injury" to observations involving living humans has not yet been accepted.

Other such commonly used terms as "injury criteria", "protection criteria" and "tolerance levels" are also not always used in the

mit anderen (Teil-) Ergebnissen eine vollständigere Beschreibung - oder wenigstens eine Abschätzung - ermöglicht.

Wegen der lebensbedrohenden Folgen schwerer Verletzungen am Kopf oder im Brustraum finden diese beiden Körperregionen große Beachtung bei biomechanischen Untersuchungen von Unfallverletzungen. Die Gefahr von häufigen und lange wirksamen Folgen bei Verletzungen im Kniebereich läßt einen weiteren Schwerpunkt entstehen, der allerdings auf der meßtechnischen Seite noch keine so große Aufmerksamkeit wie Kopf oder Brust gefunden hat.

Mit der Beschreibung des - von einer Versuchspuppe zu simulierenden - mechanischen Verhaltens einzelner Körperregionen beschäftigt sich eine ISO-Arbeitsgruppe (ISO/TC22/SC12/WG5) sowie der SAE Information Report SAE J 1460 MAR85. Das Ziel dieser Arbeiten ist nicht die Betrachtung von Belastungsgrenzen sondern die Angleichung der Aufprallreaktionen einer Versuchspuppe an die des menschlichen Körpers. Ein weiterer SAE Information Report HS J 885 APR 80, der Verletzungskriterien behandelte, wurde im Jahr 1981 zurückgezogen. Auf die genannten Arbeiten wird hier lediglich der Vollständigkeit halber hingewiesen.

Neben immer ausgefeilteren Untersuchungsmethoden, die einen Vergleich und eine zutreffende Bewertung erschweren können, stellt mitunter auch die Sprache der Spezialisten Hindernisse in den Weg. Vor weiteren Ausführungen erscheint daher ein kurzer Blick auf die Terminologie als angemessen.

## 2.1 Terminologie

Anfang der 80er Jahre hatte Aldman [5] vorgeschlagen, bei biomechanischen Versuchsergebnissen strikt zu unterscheiden zwischen Verletzungen bei lebenden Personen und Schäden bei allen übrigen Versuchsobjekten, wie Leichen, Tieren, mechanischen und mathematischen Modellen. Eine solche eindeutige Festlegung des Begriffes Verletzung auf Beobachtungen am lebenden Menschen konnte sich jedoch bisher nicht durchsetzen.

Auch andere häufig gebrauchte Begriffe wie Verletzungskriterien, Schutzkriterien und Belastungsgrenzen werden

same sense by different authors. For example, Mattern and Kallieris [445] regard injury criteria as boundary values for physical parameters, whereas Aldman [5] defines them as physical parameters and uses the term "injury criteria levels" for the other boundary values.

The most comprehensive definition of these terms to date is Aldman's, which is schematically presented in the following survey.

WHAT WHERE	Result of mech. loading SEVERITY	Result of mech. loading SEVERITY LEVEL	Physical parameter for mechanical loading CRITERION	Boundary value of physical parameter for mech. loading CRITERIA LEVEL
On living human body: INJURY	Injury severity	Injury severity level	Injury criterion	Injury criteria level*
On sub- stitute model: DAMAGE	Damage severity	Damage severity level	Damage criterion	Damage criteria level
Comparative value mea- surable on dummy: PROTECTION	---	---	Protection criterion	Protection criteria level

\* can be defined as tolerance level

The five columns in the table are intended to express the following facts:

- 1 Depending on the test specimen, a distinction is to be drawn between injury, damage and protection.
- 2 An injury severity or damage severity is to be noted as the consequence of a mechanical load.
- 3 Loads of different magnitude result in injury or damage severity levels.

von verschiedenen Autoren nicht stets im gleichen Sinne verwendet. So betrachten Mattern und Kallieris [445] Verletzungskriterien als Grenzwerte physikalischer Größen, während Aldman [5] sie als physikalische Größen definiert und für jene Grenzwerte den Begriff Verletzungsschwellen (injury criteria levels) gebraucht.

Die bisher umfangreichste Definition dieser Begriffe ist die bereits erwähnte von Aldman; sie läßt sich schematisch in der folgenden Übersicht darstellen.

WAS WO	Folge von mechanischer Belastung  SCHWERE	Folge von mechanischer Belastung definierter Größe  SCHWEREGRAD	physikalischer Parameter für mechanische Belastung  KRITERIUM	Grenzwert von physikal. Parameter für mechanische Belastung  SCHWELLE
am lebenden menschlichen Körper: VERLETZUNG	Verletzungs-Schwere (injury severity)	Verletzungs-Schweregrad (injury severity level)	Verletzungs-Kriterium (injury criterion)	Verletzungs-Schwelle* (injury criteria level)
am Ersatz-Modell: SCHADEN	Schadens-Schwere (damage severity)	Schadens-Schweregrad (damage severity level)	Schadens-Kriterium (damage criterion)	Schadens-Schwelle (damage criteria level)
am Dummy meßbare Vergleichsgröße: SCHUTZ	---	---	Schutz-Kriterium (protection criterion)	Schutz-Grenze (protection criterion level)

\*kann definiert sein als: Toleranz-Grenze (tolerance level)

Die fünf Spalten der Tabelle sollen die folgenden Sachverhalte zum Ausdruck bringen:

- 1 Je nach Versuchsobjekt ist zu unterscheiden zwischen Verletzung, Schaden und Schutz.
- 2 Als Folge einer mechanischen Belastung ist eine Verletzungs- bzw. Schadens-Schwere zu beobachten.
- 3 Bei Belastungen unterschiedlicher Größe ergeben sich Verletzungs- bzw. Schadens-Schweregrade.



- 4 The physical parameters suitable for identifying mechanical loads are called "criteria".
- 5 Special load levels are identified by boundary values of the criteria.

Load levels and tolerance levels are terms with the same content which describe a special load - for example the load occurring when a bone is fractured, a tendon torn or the neck of a volunteer subjected to the maximum permissible flexion.

In an even broader sense, tolerance levels can also simply refer to the max. and min. levels of generated loading measured during a test. When this term - which is also used as the title of the literature study - is interpreted so generally, it is possible to include studies which would otherwise be just outside the scope of this work. This extension appears acceptable and appropriate where little research has been conducted into the effects of some type of loading, which may possibly be exerted long before an injury is observed.

## 2.2 Establishing Boundary Values

As already mentioned, the majority of the studies examined here do not furnish any boundary values, above which specific injuries are to be anticipated. Instead they usually specify test conditions and injuries noted under these conditions. With a great number of such observations, it is also permissible to draw conclusions as to the location of existing tolerance levels in the broad field of possible stresses. By observing volunteers it is also possible to contribute to the description of this field, whereby a tolerance level is approached from the harmless side, as it were.

The tests on volunteers and the analyses of accidents can be viewed as the two extremes in the range of possible investigative processes in the field of biomechanics - both have inherent shortcomings. While tests with volunteers do yield precise

- 4 Die zur Kennzeichnung mechanischer Belastungen geeigneten physikalischen Parameter heißen Kriterien.
- 5 Durch Grenzwerte der Kriterien werden besondere Belastungsschwellen gekennzeichnet.

Belastungsschwellen und Belastungsgrenzen sind inhaltlich gleichwertige Begriffe, die eine besondere Belastung beschreiben, - beispielsweise jene beim Bruch eines Knochens, beim Reißen einer Sehne oder bei der höchstzulässigen Halsbeugung eines Freiwilligen.

In einem noch weiteren Sinne können Belastungsgrenzen auch einfach die im Rahmen einer Versuchsanordnung festgelegten unteren und oberen Grenzen der erzeugten Belastung darstellen. Mit einer so umfassenden Auslegung des Begriffes - der zugleich als Titel der Literaturstudie dient - wird die Einbeziehung von am Rande liegenden Arbeiten ermöglicht. Diese Öffnung erscheint vertretbar und angemessen, solange die unter Umständen weit vor einer beobachteten Verletzung einsetzenden Wirkungen einer Belastung kaum erforscht sind.

## 2.2 Gewinnung von Grenzwerten

Wie bereits erwähnt liefert die Mehrzahl der hier betrachteten Untersuchungen keine Grenzwerte, bei deren Überschreitung mit bestimmten Verletzungen zu rechnen ist, sondern nennt Versuchsbedingungen sowie dabei beobachtete Verletzungen. Auch solche Beobachtungen in größerer Anzahl erlauben Rückschlüsse auf die Lage von vorhandenen Belastungsgrenzen innerhalb des weiten Feldes möglicher Beanspruchungen. Einen weiteren Beitrag zur Beschreibung dieses Feldes liefern die Beobachtungen an Freiwilligen, dabei erfolgt die Annäherung an eine Belastungsgrenze sozusagen von der ungefährlichen Seite aus.

Die Freiwilligenversuche und die Unfallanalysen können als die beiden Grenzfälle in der Reihe möglicher Untersuchungsverfahren auf dem Gebiet der Biomechanik verstanden werden, - beide haben ihre Mängel. Versuche mit

measurements, at best they extend to the threshold of pain and not into the loading ranges involving injuries. The analysis of injuries in accidents suffers because it is not possible to observe an injury being created; it is therefore a study of reconstructed events with all the limitations inherent therein.

Further possible procedures which lie between these two extremes are experimental studies with cadavers and with living or dead animals. Because of the extensive correspondence between the dimensions, the distribution of mass and the movement of a cadaver and those of a living human, cadavers are regarded as the substitute specimens most similar to humans in biomechanical impact tests. Nevertheless, the verification of injuries is subject to great restrictions and it is very difficult to obtain suitable test specimens. Despite the similarities mentioned, a close examination discloses a number of divergent characteristics such as blood circulation and cellular changes. Even greater deviations have to be taken into account in tests with animals such as primates, pigs and rabbits. Here the similarities to humans are restricted to certain body regions or solely to physiological relationships. Although tests can be conducted to compare the behaviour of living and dead animals, uncertainties arise when these results are extended to the human body. These are not limited to only the question of geometry and scale but also relate to function.

The methods for determining tolerance levels were discussed in detail in the earlier report. Named were:

- tests with volunteers,
- studies of loadings in sports and profession,
- tests with cadavers,
- tests with dummies and other mechanical models,
- tests with animals,

Freiwilligen sind zwar meßtechnisch exakt erfassbar, aber sie erstrecken sich höchstens bis zur Schmerzgrenze und reichen nicht bis in Belastungsbereiche mit Verletzungen. Die Analyse von Unfallverletzungen leidet an der mangelnden Beobachtungsmöglichkeit zum Zeitpunkt der Entstehung einer Verletzung und ist daher eine Untersuchung rekonstruierter Ereignisse mit allen daraus folgenden Einschränkungen.

Zwischen den beiden Grenzfällen liegen als weitere mögliche Verfahren die experimentellen Untersuchungen mit Leichen sowie mit lebenden oder getöteten Tieren. Wegen der weitgehenden Übereinstimmung in den Abmessungen, der Massenverteilung und dem Bewegungsverhalten einer Leiche mit dem lebenden Menschen gelten Leichen bei biomechanischen Aufprallversuchen als die menschenähnlichsten Ersatzobjekte. Dennoch unterliegt der Nachweis von Verletzungen starken Einschränkungen und die Verfügbarkeit geeigneter Versuchsobjekte ist mit großen Schwierigkeiten verbunden. Trotz der genannten Ähnlichkeiten bleiben bei genauer Betrachtung eine Reihe abweichender Merkmale, beispielsweise Blutkreislauf und Zellenveränderungen, zu beachten. Noch bedeutsamere Abweichungen sind zu berücksichtigen bei Versuchen mit Tieren, wie Affen, Schweinen und Kaninchen. Hier sind die Ähnlichkeiten mit dem Menschen auf bestimmte Körperregionen oder lediglich auf physiologische Zusammenhänge begrenzt. Zwar können zum Vergleich des Verhaltens von lebenden und toten Tieren Versuche durchgeführt werden, aber die Übertragung der Ergebnisse auf den menschlichen Körper birgt Unsicherheiten in sich, die nicht allein die Frage der Geometrie oder des Maßstabes sondern auch die der Funktion betreffen.

Die Methoden zur Ermittlung von Belastungsgrenzen waren seinerzeit ausführlich behandelt worden. In der früheren Veröffentlichung waren genannt:

- Versuche mit Freiwilligen,
- Untersuchungen von Belastungen in Sport und Beruf,
- Versuche mit Leichen,
- Versuche mit Puppen und anderen mechanischen Modellen,
- Versuche mit Tieren,

- reconstruction of traffic accidents,
- studies with mathematic models.

To avoid repetition here, let us form the transition to the next section by saying that human tolerance levels are determined on humans directly, on human cadavers with restrictions and on all other test specimens at a degree of accuracy which is difficult to delineate.

### 2.3 Restrictive Factors

Even with all the figures which have been compiled here, we should be aware that the interrelationships between accident loading and resultant injury have to be regarded as being very complex. Whereas biomechanical tolerance levels may help to describe such interrelationships, in examining a tolerance level determined on the basis of mass and number we must take into consideration the conditions under which it was obtained and the purpose for which it is to be used.

The results of studies of the human capacity to bear biomechanical stress reflect great variability under a number of different test conditions. This is equally true for accident analyses and for experimental studies. The major reasons for the variations are well known; they are primarily due to differences between individuals and to the impact conditions.

There are broad ranges in even the external, visible differences between individuals such as size, age and build. Additional factors influencing tolerance levels are due to features such as sex, health, condition, etc. and extend to the posture at time of impact. Even where the vehicles involved in the accidents are concerned, it is simpler to differentiate the external features of mass, form and movement for example, than behaviour upon impact when deformation properties (rigidity, fracturing, directions of force) exert varying effects in a very short time. As the degree of differentiation increases, we will finally find that each individual accident entails a different situation.

- Rekonstruktion von Verkehrsunfällen,
- Untersuchungen mit mathematischen Modellen.

Um Wiederholungen zu vermeiden bleibt hier überleitend zum folgenden Abschnitt festzustellen, daß Belastungsgrenzen des Menschen am Menschen selbst gewonnen werden, am toten menschlichen Körper mit Einschränkungen, - an allen anderen Versuchsobjekten mit einer schwierig abzugrenzenden Gültigkeit.

### 2.3 Einschränkende Gesichtspunkte

Auch vor dem Hintergrund des hier zusammengetragenen umfangreichen Zahlenmaterials sollte man sich darüber im klaren sein, daß die Zusammenhänge zwischen Unfallbelastung und Verletzungsfolge als sehr komplex angenommen werden müssen. Biomechanische Belastungsgrenzen können zur Beschreibung solcher Zusammenhänge einen Beitrag leisten. Bei der Betrachtung einer nach Maß und Zahl bestimmten Belastungsgrenze ist allerdings zur berücksichtigenden, unter welchen Bedingungen sie gewonnen wurde und zu welchem Zweck sie Anwendung finden soll.

Die Untersuchungen zur biomechanischen Belastbarkeit des Menschen zeigen bei einer Vielzahl unterschiedlicher Versuchsbedingungen eine große Variabilität in den Ergebnissen. Diese Aussage gilt gleichermaßen für Unfallanalysen wie für experimentelle Arbeiten. Die wesentlichen Gründe für die Streuungen sind bekannt, sie liegen vor allem in den unterschiedlichen Personen sowie in den Aufprallbedingungen.

Allein die bei Personen äußerlich sichtbaren Unterschiede nach Größe, Alter und Statur streuen in weiten Bereichen; weitere Einflüsse auf Belastungsgrenzen ergeben sich aus Merkmalen wie Geschlecht, Gesundheit, Kondition bis hin zur Körperhaltung beim Aufprall. Auch bei den an Unfällen beteiligten Fahrzeugen sind einfacher die äußeren Merkmale wie Masse, Form und Bewegung zu unterscheiden als das Verhalten beim Aufprall, wenn in sehr kurzer Zeit Verformungseigenschaften (Steifigkeiten, Brüche, Kraftrichtungen) wechselnde Einflüsse ausüben. - Schließlich ergibt sich bei jedem einzelnen Un-

The diversity in what actually occurs can scarcely be taken into account in a legally proscribed acceptance test or in a scientific experiment. As a rule, a typical accident constellation is assumed which, as an abstraction, cannot take into account all of the features involving persons or those related to vehicle and impact. Whether such regulations and studies actually improve the passive vehicle safety will therefore always require verification by indepth analysis of real-life accidents. Incidentally, such studies have been conducted for years both by the Federal Highway Research Institute and by automobile manufacturers.

The description of the possible influences and dependencies related to biomechanical tolerance levels is undeniably incomplete, nevertheless it should indicate just how complicated it is to determine such tolerance levels. How far we are from solving this task can also be deduced from the fact that while it is now possible to measure forces, pressures and other physical parameters through experiments, the standards derived from these data to describe the accident loading are nevertheless subject to reservations and sometimes to severe criticism - particularly where the head area is concerned [124, 446]. Reservations and criticism are also voiced regarding the customary scale for describing injuries, the Abbreviated Injury Scale (AIS) [277, 443], among other reasons because it is susceptible to subjective influences, is oriented in accordance with the possible (changing!) treatments for an injury, is subjected to temporal changes and does not take (long term) consequences of injuries into consideration.

The difficulties described indicate how important it is to continue the studies on the application and continued research of biomechanical tolerance levels. At the present time there is no

fall eine andere Situation, wenn immer weitere Differenzierungen erfolgen.

Die Vielfalt des tatsächlichen Geschehens kann in einem gesetzlich vorgeschriebenen Abnahmeversuch oder in einem wissenschaftlichen Experiment kaum Berücksichtigung finden. Dort geht man in der Regel von einer typisierten Unfallkonstellation aus, die in ihrer Abstraktion weder die personenbezogenen noch die Fahrzeug- und aufprallbezogenen Merkmale voll zu berücksichtigen vermag. Die Auswirkung derartiger Vorschriften und Untersuchungen auf die tatsächliche Verbesserung der passiven Fahrzeugsicherheit infolge gewählter biomechanischer Belastungsgrenzen wird daher stets der Überprüfung durch die vertiefte Analyse von realen Unfällen bedürfen. Solche Untersuchungen werden im übrigen sowohl von der Bundesanstalt für Straßenwesen als auch von Automobilherstellern seit Jahren durchgeführt.

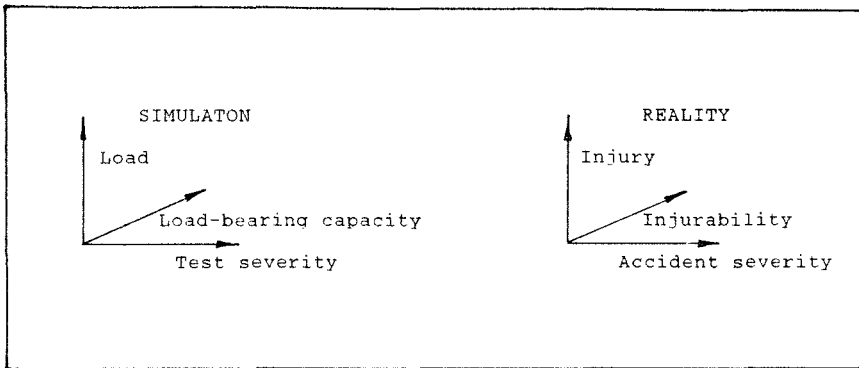
Die Schilderung möglicher Einflüsse und Abhängigkeiten im Zusammenhang mit biomechanischen Belastungsgrenzen ist sicherlich nicht vollständig, sie soll aber erkennen lassen, wie anspruchsvoll die Aufgabe zur Bestimmung solcher Belastungsgrenzen ist. Wie weit entfernt eine Lösung dieser Aufgabe liegen mag, läßt sich auch daraus ableiten, daß zum gegenwärtigen Zeitpunkt im Experiment zwar Kräfte, Drücke und andere physikalische Größen meßbar sind, die daraus abgeleiteten Maßstäbe zur Beschreibung der Unfallbelastung unterliegen jedoch Einschränkungen und werden teilweise - besonders im Kopfbereich - heftig kritisiert [124, 446]. Einschränkungen und Kritik gelten auch der gebräuchlichen Skala zur Verletzungsbeschreibung, der Abbreviated Injury Scale (AIS) [277, 443], unter anderem weil sie subjektiven Einflüssen unterliegt, sich an den (wechselnden!) Behandlungsmöglichkeiten einer Verletzung orientiert, zeitlichen Veränderungen unterworfen ist und (Langzeit-) Folgen von Verletzungen nicht berücksichtigt.

Die geschilderten Schwierigkeiten lassen erkennen, wie wichtig eine Fortführung der Arbeiten zur Anwendung und weiteren Erforschung von biomechanischen Belastungsgrenzen ist. Gegenwärtig kommt ein bevorstehender Durchbruch



prospect of any imminent breakthrough to new discoveries, hence we will have to anticipate that existing knowledge of biomechanical tolerance levels will increase in little by little.

Apparently it will not suffice to persist with the customary two-dimensional perspective, i.e. placing loads measured on test specimens in simulated accidents (tests) into relation with injuries sustained by accident victims. It appears necessary to add at least a third dimension to take into consideration the sensitivity of test specimens and accident victims. Viewed schematically, this results in the following two diagrams of the spaces of the accident in the simulation and in reality.

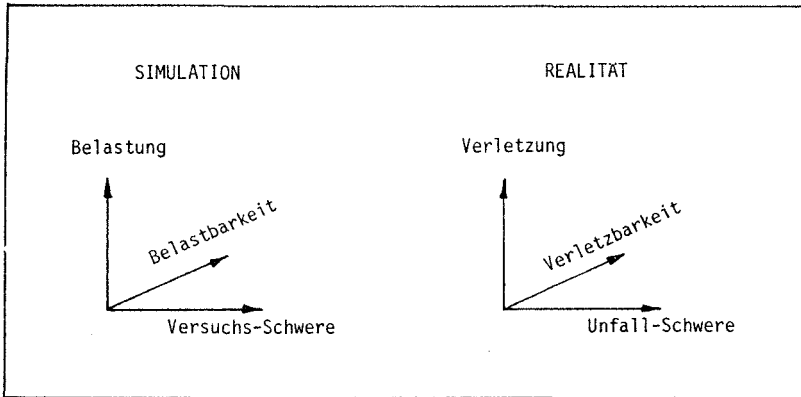


In the proposed third dimension it may be possible to combine features such as age, constitution, physical health, etc. to reduce the individual parameters which have to be considered.

The standards of the coordinate axes which are necessary for quantitative findings are not yet present. It would appear

zu neuen Erkenntnissen nicht in Sicht, so daß man wohl mit einer Vermehrung des Wissens um biomechanische Belastungsgrenzen in kleinen Schritten rechnen muß.

Vermutlich wird es nicht ausreichen, fortzufahren in der üblichen zweidimensionalen Betrachtungsweise, nämlich Belastungen, die an Versuchsobjekten in simulierten Unfällen (Versuchen) gemessen werden, in Beziehung zu setzen zu Verletzungen, die man an Unfallbeteiligten beobachtet. Zumindest eine dritte Dimension zur Berücksichtigung der Empfindlichkeit von Versuchsobjekten bzw. Unfallbeteiligten erscheint notwendig, so daß sich schematisch die beiden folgenden Darstellungen für die Räume des Unfallgeschehens in der Simulation und in der Realität ergeben.



Möglicherweise gelingt in der vorgeschlagenen dritten Dimension eine Zusammenfassung solcher Merkmale wie Alter, Konstitution, Gesundheitszustand u.ä., so daß sich eine Verringerung der einzeln zu betrachtenden Parameter ergibt.

Die für quantitative Aussagen erforderlichen Maßstäbe der Koordinatenachsen sind noch nicht gegeben. Wünschenswert erscheinen metrische Skalen, die für die Be-

desirable to have metric scales which would yield mathematically constant functions for the relations between the parameters shown.

Within the described coordinate systems, the biomechanical tolerance levels currently available are to be indicated as points and point clouds in spaces. We can only hope that they are useful for orientation and can be supplemented by further studies so that safety measures in all areas can be based on reliable principles.

Despite all reservations, we cannot ignore the fact that the application of known - and research into suspected - tolerance levels is an indispensable prerequisite for future safety regulations.

ziehungen zwischen den dargestellten Größen auf im mathematischen Sinne stetige Funktionen führen.

Innerhalb der beschriebenen Koordinatensysteme sind die gegenwärtig verfügbaren biomechanischen Belastungsgrenzen als Punkte und Punkt-Wolken in Räumen zu deuten. Es bleibt zu hoffen, daß sie für die Orientierung nützlich sind und durch weitere Arbeiten ergänzt werden können, damit sich Sicherheitsmaßnahmen in allen Bereichen auf zuverlässigen Grundlagen abstützen lassen.

Trotz aller Vorbehalte darf nicht außer acht bleiben, daß die Anwendung bekannter - sowie die Erforschung vermuteter - Belastungsgrenzen für derzeitige wie für zukünftige Sicherheitsvorschriften eine unverzichtbare Voraussetzung darstellt.

### 3 Table of Tolerance Levels

The synoptical tables summarize the characteristic data on tolerance levels or the corresponding numerical description of test conditions for individual regions of the body. For a number of studies the information, which is kept brief for reasons of clarity, is supplemented by appending original tables and may furnish a more complete idea of the scope and depth of a study. The appendix is arranged like the bibliography; each of the tables cited is identified by a source number and original page numbers. Where applicable, an "A" is prefixed to the year in the synoptical tables to indicate that a supplementary appendix is available.

#### 3.1 Structure of the Tables

When the study is opened to a table, the left and right page sides (pages A and B) form the two halves of a table. This division was necessary to preserve the format DIN A4.

Using such a uniform format instead of a larger, folded table page is of advantage for computer-aided word processing as well as for printing and binding. Greater clarity exists than in the tables previously published because each line on each page is consecutively numbered.

Insofar as the number of sources is concerned, the contents of the tables have been doubled. To preserve the clarity despite this fact, the organization and structure of the individual tables have been revised. For example, the prefixes for directions of movement and text identifying each part of the body under consideration have been eliminated in favour of a more legible type and a uniform configuration of the table columns.

### 3 Tabellarische Zusammenstellung von Belastungsgrenzen

Die Übersichtstabellen fassen für einzelne Körperregionen die kennzeichnenden Angaben über Belastungsgrenzen oder die entsprechende zahlenmäßige Beschreibung von Versuchsbedingungen zusammen. Die aus Gründen einer guten Übersicht knapp gehaltenen Aussagen werden für eine Reihe von Arbeiten durch Original-Tabellen ergänzt, die als Anhang beigelegt sind und ein vollständigeres Bild über Breite und Tiefe einer Untersuchung liefern können. Die Ordnung des Anhangs entspricht dem Literaturverzeichnis; die zitierten Tabellen sind jeweils mit Quellen-Nummer und Original-Seitenzahlen gekennzeichnet. Auf die Verfügbarkeit eines ergänzenden Anhangs wird gegebenenfalls in den Übersichtstabellen durch ein der Jahreszahl vorangestelltes A hingewiesen.

#### 3.1 Aufbau der Tabellen

Beim Aufschlagen einer Tabelle bilden die linke und die rechte Blattseite - die Blätter A und B - die beiden Hälften einer Tabelle. Diese Halbierung war notwendig, um zunächst das Format DIN A4 einhalten zu können.

Die Anwendung eines solchen einheitlichen Formates - statt eines größeren, gefalteten bzw. ausklappbaren Tabellenblattes - bietet nicht nur beim Drucken und Binden Vorteile sondern auch bei der maschinellen Textverarbeitung. Mit einer durchlaufenden Zeilennumerierung auf jeder Seite verbessert sich die Übersichtlichkeit gegenüber den früher veröffentlichten Tabellen.

Gemessen an der Zahl der Quellen hat sich der Inhalt der Tabellen verdoppelt. Um dennoch eine gute Übersicht zu erhalten, sind die Gliederung und der Aufbau der einzelnen Tabellen überarbeitet worden. So wurde auf die Vorzeichen bei Bewegungs-Richtungen und eine wörtliche Benennung des betrachteten Körperteils verzichtet zugunsten einer besser lesbaren Schrift und einer einheitlicheren Gestaltung der Tabellenspalten.

Die zu unterscheidenden Körperregionen sind in Anlehnung

We have adopted from Sabotta<sup>2</sup> the practice of dividing the body regions to be distinguished from one another into 7 main groups, with most of these being further subdivided. When an 8th main groups for standard values is added, the following classification is the result.

1	Total organism	6	Lower extremities
		6.1	Entire area
		6.2	Pelvis, hips
2	Head	6.3	Thigh
	2.1 Entire area	6.4	Knee region
	2.2 Skull	6.5	Lower leg
	2.3 Brain	6.6	Foot
	2.4 Face		
		7	Tissues
3	Neck	7.1	Skin
	3.1 Entire area	7.2	Bones
	3.2 Cervical spine	7.3	Tendons
		7.4	Nerves
		8	Standard values
4	Upper extremities	8.1	Entire organism
	4.1 Entire area	8.2	Head
	4.2 Shoulder	8.3	Neck
	4.3 Arms	8.4	Upper extremities
	4.4 Hand	8.5	Trunk
		8.6	Lower extremities
5	Trunk		
	5.1 Entire area		
	5.2 Chest wall		
	5.3 Thoracic organs		
	5.4 Abdomen		
	5.5 Back		

Within the tables, the numbers of the main groups and subgroups are printed in the 4th column of page A as code numbers after the author, the year of publication and the source number. For each code number, the individual sources are arranged according to author - the first author - and the year of publication. If there are supplementary data for a source in the appendix, the year of publication is prefixed by an "A".

<sup>2</sup> Sabotta, Atlas der Anatomie des Menschen. 13th ed.. Munich 1982

an Sobotta<sup>2</sup> aufgeteilt auf 7 Hauptgruppen, von denen die meisten in Untergruppen gegliedert sind. Unter Hinzufügung einer 8. Hauptgruppe für Richtwerte ergibt sich das folgende Ordnungsschema.

1 Gesamtorganismus	6 Untere Gliedmaßen
	6.1 Gesamtbereich
	6.2 Becken, Hüfte
	6.3 Oberschenkel
	6.4 Knieregion
	6.5 Unterschenkel
	6.6 Fuß
2 Kopf	7 Gewebeteile
2.1 Gesamtbereich	7.1 Haut
2.2 Schädel	7.2 Knochen
2.3 Gehirn	7.3 Sehnen
2.4 Gesicht	7.4 Nerven
3 Hals	8 Richtwerte
3.1 Gesamtbereich	8.1 Gesamtorganismus
3.2 Halswirbelsäule	8.2 Kopf
	8.3 Hals
	8.4 Obere Gliedmaßen
	8.5 Rumpf
	8.6 Untere Gliedmaßen
4 Obere Gliedmaßen	
4.1 Gesamtbereich	
4.2 Schulter	
4.3 Arme	
4.4 Hand	
5 Rumpf	
5.1 Gesamtbereich	
5.2 Brustwand	
5.3 Brusteingeweide	
5.4 Bauch	
5.5 Rücken	

Innerhalb der Tabellen erscheinen auf Blatt A die Ziffern der Haupt- und Untergruppen als Schlüsselnummern (Sch Nr.) in der 4. Spalte, nach dem Autor, dem Erscheinungsjahr und der Quellen-Nummer (Qu Nr.). Für jeweils eine Schlüsselnummer sind die einzelnen Quellen nach Autor - dem ersten - und Erscheinungsjahr geordnet. Sofern sich im Anhang ergänzendes Datenmaterial zu einer Quelle befindet, steht dem Erscheinungsjahr ein A voran.

<sup>2</sup>Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen, 18. Aufl., München 1982



Specified in another column is the abbreviation (as below) for the type of test specimen involved. Although the broadest column provided is for conditions and remarks, there is still room for only the most important notes. Finally, the letters x, y and z are used to identify the three directions of primary movements which correspond to the vehicle's longitudinal, lateral and vertical axis, respectively. (Naturally this system cannot be used for all test procedures.)

In the individual columns on a table's page B are physical parameters which are explained in the following key. Whereas the designations of the last six columns are identical for all tables, the designations of the first two columns can change or can be deleted, depending on what body region is involved.

Let us point out here that the parameters listed are not always to be regarded as tolerance levels; they can also only be compared to one another when the relative test conditions are taken into account. We must remember that, for example, a speed can be measured at different locations (vehicle, impactor, thoracic vertebrae, rib) and, accordingly, different figures obtained.

### 3.2 Abbreviations (Key)

#### Test specimens

F	Volunteer
L	Cadaver
LT	Cadaver part
T	Animal
O	Accident victim or other

In einer weiteren Spalte wird die Art des jeweiligen Versuchsobjektes gemäß der nachfolgenden Legende angegeben. Obwohl die breiteste Spalte für Bedingungen und Bemerkungen vorgesehen ist, können darin nur die wichtigsten Stichworte Platz finden. Schließlich werden mit den Buchstaben x, y, z drei Hauptbewegungs-Richtungen benannt, die in einem auf den sitzenden Fahrzeuginsassen bezogenen Koordinatensystem einer Längs-, Quer- und Hochachse des Fahrzeuges entsprechen. (Dieses System ist natürlich nicht für sämtliche Versuchsanordnungen verwendbar.)

Auf dem Blatt B einer Tabelle sind in den einzelnen Spalten physikalische Kenngrößen aufgeführt, die in der nachfolgenden Legende erläutert werden. Während die Bezeichnungen der letzten sechs Spalten für alle Tabellen identisch sind, können die Bezeichnungen der ersten beiden Spalten wechseln oder entfallen - in Abhängigkeit von der betrachteten Körperregion

Hier sei daran erinnert, daß die aufgeführten Kenngrößen nicht grundsätzlich als Belastungsgrenzen angesehen werden dürfen, sie sind auch in aller Regel nur unter Berücksichtigung der jeweiligen Versuchsbedingungen miteinander vergleichbar. Dabei ist zu beachten, daß beispielsweise die Messung einer Geschwindigkeit an verschiedenen Stellen erfolgen kann (Fahrzeug, Stoßkörper, Brustwirbel, Rippe) und entsprechend unterschiedliche Beträge erreicht.

### 3.2 Abkürzungen (Legende)

#### Versuchsobjekte

F	Freiwilliger
L	Leiche
LT	Leichenteil
T	Tier
O	Unfallbeteiligter oder Sonstiger

Physikalische Kenngrößen

$a_{max}$	[g]	Maximalbeschleunigung
$\bar{a}$	[g]	mittlere Beschleunigung
$\dot{a}$	[g/ms]	Änderungsrate der Beschleunigung
$\alpha$	[grad]	Winkel zwischen Kopf und Rumpf
E	[Nm]	Stoßenergie
F	[N]	Kraft
m	[kg]	Masse
p	[Pa]	Druck, Flächenpressung
$p^*$	[bar]	Schädelinnendruck
$\dot{\varphi}$	[rad/s]	Rotationsgeschwindigkeit
$\ddot{\varphi}$	[rad/s <sup>2</sup> ]	Rotationsbeschleunigung
s	[cm]	Eindrückung
t	[ms]	Beschleunigungsdauer
v	[km/h]	Geschwindigkeit

Physical Parameters

$a_{max}$	[g]	Maximum acceleration
$\bar{a}$	[g]	Average acceleration
$\dot{a}$	[g/ms]	Rate of acceleration change
$\alpha$	[°]	Angle between head and trunk
E	[Nm]	Impact energy
F	[N]	Force
m	[kg]	Mass
p	[Pa]	Pressure, surface pressure
$p^*$	[bar]	Pressure in skull
$\dot{\varphi}$	[rad./s]	Speed of rotation
$\ddot{\varphi}$	[rad./s <sup>2</sup> ]	Acceleration of rotation
s	[cm]	Indentation
t	[ms]	Duration of acceleration
v	[km/h]	Speed

3.3 Tabellenteil

Tabular Section

Gesamtorganismus Total Organism		Blatt Page		1a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels	
Quelle Source	Qu. Nr. Sou No	Sch Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks	Richtung Direction		
1 Alem u. a.	A 1978	12	1 L	Schlittenversuche, starrer Sitz, Verletzungen	x		1
2 Beeding	1968	112	1 F	schwerer Schock	x		2
3 Bierman	1970	350	1 F	Atemstillstand	x		3
4 Billault u. a.	A 1979	29	1 L	Gurtträger verschiedene Verletzungen			4
5 Billault u. a.	1979	29	1 T	Paviane ohne Verletzungen in aufblasbarem Gurt			5
6 Braun	1969	34	1 O	absolut tödlich			6
7 Cesari u. a.	A 1980	58	1 L	Fußgänger gegen Pkw, Verletzungen ab 20 km/h	x, y		7
8 Danner u. a.	A 1980	75	1 F	Gurtträger unverletzt, Kopfbeschleunigung:	x		8
9 Dehaven	1942	76	1 O	überlebte, rekonstruierte Stürze; großflächiger Aufprall			9
10 Eppinger u. a.	1979	87	1 L	Fußgänger gegen Pkw, Verletzungen			10
11 Gögler	1968	112	1 F	Nylongurt 7,5cm breit, ohne Schädigung	x		11
12 Gögler	1968	112	1 F	Nylongurt 7,5cm breit, ohne Schädigung	x		12
13 Gögler	1968	112	1 O	überlebbarer Unfall			13
14 Gögler	1968	112	1 O	opt. Verschleierung			14
15 Gögler	1968	112	1 O	black out			15
16 Gögler	1968	112	1 O	Bewußtlosigkeit			16
17 Gögler	1968	112	1 F	Nylongurt 7,5cm breit, Cardiovask. Symptom	x		17
18 Gotzen u. a.	1976	123	1 O	keine Verletzungen bei Fußgängern 15-55J. /> 55J.			18
19 Hartemann u. a.	1976	142	1 L	Pkw-Insasse, S=24cm, Rippenbrüche AIS 3, Brust:	y		19
20 Hartemann u. a.	1976	142	1 L	Pkw-Insasse, S=24cm, Rippenbrüche AIS 3, Becken:	y		20
21 Henschke	1970	350	1 F	ohne Schädigung	x		21
22 Horsch u. a.	A 1979	162	1 L	seitlicher Aufprall (Schlitten), Verletzungen, $\Delta v$ 35 km/h			22
23 Kallieris	1974	183	1 L	AIS 3, Frontalaufprall mit Gurt, Überleben altersabhängig			23
24 Kallieris u. a.	1976	175	1 L	In Kindersitz, Verletzungen Wirbelsäulenbereich			24
25 Kallieris u. a.	1981	179	1 L	Schlittenversuche, verschied. Polsterung, Fallbeschreibg.	y		25
26 Kallieris u. a.	A 1981	177	1 L	Schlittenversuche, Rollstuhlinsassen, Verletzungen	x		26
27 Kallieris u. a.	1984	176	1 L	Barriere gegen Pkw, Verletzungsbeschreibung	y		27
28 Krieger u. a.	1976	197	1 L	Fußgänger gegen Pkw, Beschleunigungsverläufe	x		28
29 Lovelance	1970	350	1 F	Stahlgurte, ohne Schädigung	x		29
30 Mertz	1971	243	1 F	Artist springt aus 18m Höhe auf Schaumstoffplatte	x		30
31 Mertz u. a.	1982	242	1 T	Affen und Schweine, Schlittenversuche, Verletzungen			31
32 Mertz u. a.	A 1982	246	1 T	Tier-Verletzungshäufigkeit gegen Puppen-Belastungen			32
33 Odelgard u. a.	1968	112	1 O	Schädigungen			33
34 Patrick	1963	293	1 O	ertragbare Beschleunigung ohne schwere örtl. Belastungen	x		34
35 Romet u. a.	1979	307	1 L	Schlittenversuche, 15° frontal, Verletzungen			35
36 Schmidt u. a.	1978	339	1 L	Schlittenversuche, Rippenbrüche ab 2550 N Gurtkraft	x		36
37 Schmidt u. a.	A 1980	340	1 L	Schlittenversuche, Grenzwerte (OAS 3) nach Alter	x		37
38 Snyder	1970	350	1 F	Bradykardie	x		38
39 Snyder	1969	351	1 O	5 überlebte, rekonstruierte Stürze von Kindern			39
40 Snyder	1970	350	1 F	Bradykardie	y		40
41 Snyder	1970	350	1 O	freier Fall, ohne Schädigung	z		41
42 Snyder	1970	350	1 F	leichter Schock	x		42
43 Snyder	1970	350	1 F	leichter Schock	y		43
44 Snyder	1970	350	1 O	10-15 s Ohnmacht	x		44
45 Snyder	1970	350	1 O	50 % Mortalität	x		45
46 Sonntag	1968	352	1 T	2 Schimpansen in Sitzhaltung, Spatschaden (Gewebeverw.)	x		46
47 Stapp	1957	359	1 F	ohne Schädigung (rückwärts)	x		47
48 Stapp	1968	112	1 F	ohne Schädigung (vorwärts)	x		48
49 Stapp	1968	112	1 O	vermuteter Wert	x		49
50 Stapp	1968	112	1 F	schwerer Schock	x		50



1 Gesamtorganismus Total Organism		Blatt Page		2a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels	
Quelle Source	Qu. Nr. Sou No	Sch Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks	Richtung Direction		
1 Stapp	1970	350	1 T	Braunbar, ohne Schädigung	x		1
2 Stapp	1970	428	1 F	leichter Schock	x		2
3 Stapp	1970	428	1 F	schwerer Schock	x		3
4 Thompson	1968	112	1 O	leichter Schock	x		4
5 Thompson	1968	112	1 O	schwerer Schock	x		5
6 Viano u.a.	1975	399	1 F	*) Kopf:	x		6
7 Viano u.a.	1975	399	1 F	*) Wirbelsäule:	x		7
8 Viano u.a.	1975	399	1 F	*) Abdomen:	x		8
9 Viano u.a.	1975	399	1 F	*) Sternum:	x		9
10 Walsh u.a.	1976	417	1 L	***) Kopf: HIC 205 - 736	x		10
11 Walsh u.a.	1976	417	1 L	***) Brust: CSI 160 - 835	x		11
12 Zaborowski	1965	434	1 F	Schlittenversuche, ertragen ohne Beschwerden	x		12
13 Ziffer	1965	437	1 F	niedriger Wert ganzer Körper, höherer Wert am Brustbein	x		13
14 Ziffer	1966	310	1 O	schwerer Schock	x		14
15 Ziffer	1966	310	1 O	schwerer Schock	x		15

\*) 70 Jahre, 4,5 m freier Fall bauchlings in flaches Wasser.

Rechenwerte (in Klammern) aus Hochrechnung auf 10,5 m

\*\*\*) PKW-Insassen mit Gurt oder Luftsack; Verletzungen





2 Kopf Head		Blatt 3a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels			
.1 Gesamtbereich Entire area		.2 Schädel Skull		.3 Gehirn Brain	.4 Gesicht Face	.5	
.6		.7		.8	.9 wie angegeben as mentioned	.0 ohne Angabe no comment	
Quelle Source	Qu. Nr. Sou No	Sch. Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks	Richtung Direction		
1	Advani u.a. 1975	3	2.1 L			x	1
2	Advani u.a. 1975	3	2.1 L			x	2
3	Alem u.a. A 1984	13	2.1 L	Stoßkörper 10kg, verschiedene Winkel, Verletzungen			3
4	Broun 1969	34	2.1 O	großflächig gegen elast. Körper		x	4
5	Cesari u.a. 1982	60	2.1 L	Fußgänger gegen Pkw, HIC 419-3108			5
6	Cesari u.a. 1983	53	2.1 L	an Fußgängern tödliche Kopfverletzungen bei HIC 1880-2550			6
7	Cesari u.a. A 1985	50	2.1 L	93 Fußgänger an verschied. Serien-Pkw, Verletzungen			7
8	Ewing u.a. 1976	93	2.1 F	Schlittensversuche (6-15g), $\dot{\varphi}_{max}$ 8,7-41,5 rad/s		x	8
9	Ewing u.a. 1977	92	2.1 F	Schlittensvers. zum Bewegungsverhalten, $\dot{\alpha} = 700-19000$ m/s <sup>3</sup>		y	9
10	Fayon u.a. A 1976	98	2.1 L	Fallversuche (1,83/2,50m), mit Helm keine schweren Verl.			10
11	Fayon u.a. A 1976	100	2.1 L	Fallversuche (1,83/2,50m), HIC 1500 für Hybrid II		y, x	11
12	Goegauf u.a. 1986	117	2.1 O	Richtwert zum Entwurf einer Fahrzeugfrontstruktur			12
13	Kallieris u.a. 1982	180	2.1 L	Insassen mit Gurt, Gurtkraft 4807-9879 N, $a_{res}$ 50-110g		x	13
14	Kallieris u.a. 1982	180	2.1 L	Insassen mit Luftsack u. Kniepolster, $a_{res}$ 32,5-137,9g		x	14
15	Kikuchi u.a. 1982	189	2.1 T	von Affen extrapolierte Grenze für Gehirnerschütterung			15
16	Langwieder u.a. A 1979	210	2.1 O	kritische Belastung für Pkw-Insassen mit Gurt, HIC 1600			16
17	Lissner u.a. 1970	428	2.1 O			x	17
18	Melvin u.a. A 1976	237	2.1 L	seitl. Aufprall in sitzender Position, Verletzungen		y	18
19	Morffey 1986	248	2.1 F	Kopfaufschlag auf Wasser, 50 % Verletzungen			19
20	Muzzy III u.a. 1976	250	2.1 F	Schlittensversuche (6-15g), $\dot{\varphi}_{max}$ 10-42 rad/s		x	20
21	Nusholtz u.a. A 1984	271	2.1 T	Rhesusaffen, Stoßkörper			21
22	Nusholtz u.a. A 1984	271	2.1 L	Aufprall von Stoßkörper, teilweise Verletzungen			22
23	Nusholtz u.a. 1986	269	2.1 T	Rhesusaffen, Stoßkörper, verschiedene Verletzungen		x	23
24	Ommaya u.a. A 1985	280	2.1 T	Rechner-Simulation von 3 Unfällen, Verletzungen			24
25	Prasad u.a. A 1984	304	2.1 T	Schweine (nach Mertz, 1982), schwere Kopfverl. $\Delta\dot{\varphi} = 70r/s$			25
26	Rawlins 1968	112	2.1 O	$\dot{\alpha} = 200$ g/ms		x	26
27	Schneider 1965	30	2.1 LT	großflächig		x	27
28	Schneider 1965	30	2.1 LT			x	28
29	Schneider 1966	111	2.1 LT	Durchmesser 3cm		x	29
30	Schneider 1971	147	2.1 LT	auf Beton mit v=21km/h		x	30
31	Sturtz 1978	363	2.1 O	Fugngersimulation, reversible Verletzungen			31
32	Sturtz A 1980	362	2.1 O	Fugngersimulation, Kind-Puppe, Primrverletzungen			32
33	Torriere 1985	372	2.1 L	Verletzungen in Fallversuchen, $\alpha > 60^\circ$ , $\dot{\varphi} > 46$ rad/s/3ms			33
34	Torriere u.a. 1979	367	2.1 L	Fallversuche seitlich, keine Verletzungen			34
35	Torriere u.a. 1980	368	2.1 L	keine Schädel-Hirn-Verletzungen, HIC 1980, $a_{3ms}$ 150g		y	35
36	Tertsch 1968	373	2.1 O	großflächig gegen Lkw-Reifen		x	36
37	Walsh u.a. A 1985	416	2.1 L	18 Aufprlle auf Motorhaube oder an Stoßvorrichtung			37
38	Wisnans u.a. A 1983	427	2.1 F	Schlittensversuche (5-10g), $\dot{\alpha} = 0,11-1,11$ g/ms		y	38
39	Wisnans u.a. A 1984	426	2.1 F	Schlittensversuche (5-15g) mit Gurten, $\alpha = 43-93$ rad			39
40	Bierman 1947	26	2.2 L	Kopfscheitel		z	40
41	Douglas u.a. 1968	79	2.2 LT			x, y	41
42	Evans 1961	88	2.2 LT	frische Leichenkpfe auf starre Platte, Linearfrakturen		x, y	42
43	Evans u.a. 1958	90	2.2 LT	Aufprall auf Instrumentenbrett		x, y	43
44	Fayon u.a. 1974	97	2.2 O	abgeschätzte Werte für Kinder (3-6 J.), Unfallopfer			44
45	Gurdjian 1949	134	2.2 LT	Stoß, Schädel gegen Stahlplatte		x, y	45
46	Gurdjian 1970	428	2.2 LT	Mitte Hinterhaupt		x	46
47	Gurdjian 1970	428	2.2 LT	Scheitelbein		x	47
48	Haynes u.a. 1961	143	2.2 LT	gegen Stahlplatte und Verbundglas, Linearfrakturen		x, y	48
49	Hinz 1970	146	2.2 LT	Schädelbasis, Ringbruche durch Druck u. Zug		z	49
50	Hodgson 1967	154	2.2 LT	Kopf bei Frequenz von 20-360 Hz wie starrer Körper			50



2 Kopf Head		Blatt Page		4a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels					
.1 Gesamtbereich Entire area		.2 Schädel Skull		.3 Gehirn Brain		.4 Gesicht Face		.5			
.6		.7		.8		.9 wie angegeben as mentioned		.0 ohne Angabe no comment			
Quelle Source	Qu. Sou No	Sch. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks				Richtung Direction			
1	Hodgson	1973	152	2.2	LT	Stoß, Schädel gegen starre Fläche				x,y	1
2	Hodgson u.a.	1968	159	2.2	LT	Resonanzen bei 300, 600, 900 Hz bei Erregung an Stirn					2
3	Lippert u.a.	1974	219	2.2	LT	Pendelschlagversuche an Proben 2,5x1,0cm (Schädeldach)					3
4	Messerer	1880	247	2.2	LT	statische Bruchlast				x	4
5	Messerer	1880	247	2.2	LT	statische Bruchlast				y	5
6	Messerer	1970	146	2.2	LT	Schädelbasis				z	6
7	Oh u.a.	1982	278	2.2	LT	Fallgewicht (1,39kg) gegen Schläfe, Impressionsfrakturen					7
8	Patrick	1963	293	2.2	LT	Stoß, Schädel mit Gelatine gefüllt gegen Stahlplatte					8
9	Patscheider	1970	146	2.2	LT	Schädelbasis				z	9
10	Thomas u.a.	1968	376	2.2	O	statischer Druck auf Stirne, Schläfe, Schädeldach				x,y	10
11	Ziffer	1967	439	2.2	O	Fallversuche, Schädeldach auf ESG (Glas)				z	11
12	Abel u.a.	A 1978	1	2.3	T	subdurale Blutungen bei Affen auf Schwenktisch					12
13	Beeding	1970	350	2.3	F	Unwohlsein, $\dot{\alpha} = 0,65 - 0,95g/ms$					13
14	Beier u.a.	1986	27	2.3	O	Motorradfahrer mit Helm, Gehirnerschütterung					14
15	Braun	1969	34	2.3	O	schwere Commotio C.				x	15
16	Braun	1969	34	2.3	O	Contrecoup-Verletzungen				x	16
17	Chandler	1968	112	2.3	T	leichte Commotio C.				x	17
18	Cotte u.a.	1979	73	2.3	T	lebende/tote Kaninchen, untere-obere Verl.Schwelle					18
19	Ellis	1968	112	2.3	O	leichte Commotio C.				x	19
20	Fiala	1970	104	2.3	O	allgem. Erträglichkeit, $m = 1,3kg$ errechneter Wert					20
21	Genorelli u.a.	A 1979	118	2.3	T	an Affen Stirn- bzw. Schläfenkontusion bei Tangentialkraft					21
22	Gogler	1966	111	2.3	O	Substanzbewegungen				x	22
23	Gogler	1966	111	2.3	O	leichte Commotio C.				x	23
24	Got u.a.	A 1978	122	2.3	L	verschiedene Fallversuche, keine schweren Verletzungen					24
25	Hashizume	1972	16	2.3	T	Contrecoup-Verletzungen					25
26	Haynes u.a.	1968	112	2.3	O	ohne Schädigung				x	26
27	Haynes u.a.	1970	428	2.3	T	leichte Commotio C.				x	27
28	Higgins u.a.	1967	145	2.3	T	Gehirnerschütterung, Affen, Kopfdrehbeschleunigung (45°)					28
29	Hodgson u.a.	1970	161	2.3	LT	50 % tödlich, Kopfaufprall auf starre Platte				x,y	29
30	Hodgson u.a.	A 1979	160	2.3	T	an geschnittenem Affenhirn maximale Scherkraft im Stamm					30
31	Hodgson u.a.	A 1983	150	2.3	T	Affen, Bewußtlosigkeit 13-86s je nach Stoßrichtung					31
32	Kallieris	1980	184	2.3	LT	Gewebeschäden infolge Kavitation					32
33	Lissner u.a.	1968	112	2.3	O	leichte Commotio C.				x	33
34	Lissner u.a.	1968	112	2.3	O	schwere Commotio C.					34
35	Lissner u.a.	1968	112	2.3	O	Contusio C.				x	35
36	Nahum u.a.	1976	261	2.3	L	Stoßkörper 5,2-5,4kg, Verletzungsbeschreibung				x,y	36
37	Nahum u.a.	1977	253	2.3	L	Schädelinnendruck verschied. Stellen bei Stoßkörperaufprall					37
38	Nahum u.a.	A 1979	254	2.3	L	Schädelinnendruck verschied. Stellen bei Stoßkörperaufprall					38
39	Ommayo	1967	283	2.3	T	Schädel-Hirn-Trauma, Hochrechnung auf Menschen					39
40	Ommayo u.a.	1970	104	2.3	T	allgem. Erträglichkeit, $m = 0,1kg$ für Rhesusaffen					40
41	Ommayo/Fisch	1970	279	2.3	O	$m = 1,3 kg, \dot{\varphi} = 50 rad/s, 50 \% Commotio C.$					41
42	Ono u.a.	A 1980	284	2.3	T	(auch LT), Grenze für Gehirnerschütterung					42
43	Parker	1965	285	2.3	O	ohne Schädigung, Filmauswertung bei Sportlern					43
44	Patrick	1963	293	2.3	O	ausheilbare Gehirnerschütterung, WSU-Kurve, Schätzung				x,y	44
45	Patrick	1970	428	2.3	L	Kavitation, Kopfdurchmesser 18cm				x	45
46	Patrick	1970	428	2.3	T	Kavitation, Kopfdurchmesser 6cm				x	46
47	Reader	A 1978	309	2.3	F	Schlittenversuche (5-13g), Psychomotorik beeinflußt					47
48	Ripperger	1973	312	2.3	T	leichte Commotio C.				x	48
49	Ripperger u.a.	1973	312	2.3	T	leichte Sekundärschäden					49
50	Ripperger u.a.	1973	312	2.3	T	Contusio C.				x	50

2 Kopf		Blatt 4B		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen				
	$p^*$ (bar)	$\ddot{\varphi}$ $(r/s^2) \cdot 10^3$	$a_{max}$ (g)	$\bar{a}$ (g)	t (ms)	v (km/h)	E (Nm)	F (N)
1					1			4500-9000
2								
3							0,04-0,57	
4								6500
5								5200
6			0-150			13,3-26,2	200-300 10-37 46-80 100	0-2000
7								
8								
9								
10								5220-9900
11							61-75	6000-7300
12		>75			6-11			
13			26-29		70			
14			>125					
15			350					
16	8-10				2			
17			300-600					
18							0,8-2,0	
19	2,1-6,3				1			
20		7,5						
21		87,2/102,8		50				659/766
22			300					
23			<130/3ms					
24			284		10			
25	-1,0				6			
26	2,1				1			
27	2-7							
28		158						
29			40		>100			
30								
31					1	70		12900-18300
32					0,05	50-72	0,14-0,27	
33	1,0				6-12			
34	1,5				6-12			
35	2,0				6-12			
36			44-327			13-35	34-247	
37			152-390			30-47		5200-14840
38			126-390					
39		7,5						
40		40						
41		1,8						
42			220/90		2/9			
43					1-100			
44			42		>100			
45			170					
46			500					
47		0,25-0,39	7,7-26,9					
48				205		7,1		
49		10-15						
50				280		8,3		

2 Kopf Head		Blatt Page		5a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels				
.1 Gesamtbereich .6 Entire area		.2 Schädel .7 Skull		.3 Gehirn .8 Brain		.4 Gesicht .9 Face wie angegeben as mentioned		.5 .10 ohne Angabe no comment		
Quelle Source		Qu. N. Sou No	Sch Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks			Richtung Direction		
1	Ripperger u.a.	1973	312	2.3	T	schweres Primärtrauma			x	1
2	Ripperger u.a.	1973	312	2.3	T	subarachnoidaler Blutsturz				2
3	Ripperger u.a.	1973	312	2.3	T	schwerer traumatischer Blutsturz				3
4	Ripperger u.a.	1973	312	2.3	T	nicht überlebbar				4
5	Schneider	1968	112	2.3	O	leichte Commotio C.				5
6	Schneider	1968	112	2.3	O	Contrecoup-Verletzungen			x	6
7	Schneider	1968	112	2.3	O	Contusio C, vermuteter Wert			x	7
8	Sellier	1968	112	2.3	O	leichte Commotio C.			x	8
9	Sellier	1968	112	2.3	L	Contrecoup-Herde, gemessen am Gegenpol			x	9
10	Smith	1979	348	2.3	T	Gefäßbruch unter Fallgewicht (10g) bei Kaninchen				10
11	Stolnaker u.a.	1977	358	2.3	L	Stoßkörper (10kg), verschiedene Verletzungen				11
12	Thibault u.a.	1985	374	2.3	T	Gehirnerschütterung (Paviane, extrapoliert), $\dot{\varphi} = 75$ rad/s				12
13	Thibault u.a.	1985	374	2.3	T	Zerstörung von Nervenzellen, $\dot{\varphi} = 150$ rad/s				13
14	Unterharnscheidt	1963	16	2.3	T	Kavitation, Pol und Gegenpol			x	14
15	Unterharnscheidt	1972	380	2.3	T	Katze, Gehirnerschütterung, Translationsbeschleunigung				15
16	Unterharnscheidt	1972	380	2.3	O	Boxer, Gehirnerschütterung, Stoß parallel x-z-Ebene				16
17	Unterharnscheidt	1972	380	2.3	T	Kaninchen, Gehirnerschütterung, Translationsbeschleunigung				17
18	Unterharnscheidt	1972	380	2.3	T	Eichkatze, verschied. Befunde, Rotationsbeschleunigung				18
19	Walfisch u.a. A	1981	409	2.3	L	Fallversuche mit Stirnaufprall, teilweise Verletzungen				19
20	Ward A	1985	421	2.3	LT	Stoßkörper an 4 Köpfen, verschiedene Richtungen				20
21	Ward u.a.	1979	420	2.3	L	Frontalaufprall auf 45° geneigten Kopf, Verletzungen				21
22	Ward u.a.	1980	419	2.3	O	Grenzwert für Gehirnaquetschung nach Modellversuchen				22
23	Gogler	1966	111	2.4	LT	Stirn, Deformationsweg 1-1,25cm			x	23
24	Gurdjian	1970	428	2.4	LT	Mitte Stirn			x	24
25	Gurdjian	1970	428	2.4	LT	Schläfe			y	25
26	Hodgson	1973	152	2.4	LT	Stoß Schläfe gegen starre Fläche, statisch			y	26
27	Hodgson	1973	152	2.4	LT	Stoß Hinterkopf gegen starre Fläche, statisch			x	27
28	Hodgson u.a.	1965	157	2.4	LT	Stöße auf Zygoma mit Stoßkörper 6,45cm <sup>2</sup>			y	28
29	Hodgson u.a.	1965	157	2.4	LT	Kopfbeschleunigungen aus Stößen auf Zygoma			x	29
30	Hodgson u.a.	1970	153	2.4	LT	Stirn (einbalsamiert) gegen Zylinder, Radius: 2,54cm			x	30
31	Hodgson u.a.	1970	153	2.4	LT	Stirn (einbalsamiert) gegen Zylinder, Radius: 0,795cm			x	31
32	Hodgson u.a.	1970	161	2.4	LT	Stirnbrüche			x	32
33	Nahum	1968	258	2.4	L	Stirn, dynam. Bruch, bei Frauen 25 % geringer, 6,45cm <sup>2</sup>			x	33
34	Nahum	1969	95	2.4	LT	Stirnhälfte, gepolstert 6,45cm <sup>2</sup> , 4-6*10 <sup>6</sup> Pa, 50 % Brüche			x	34
35	Nahum	1969	95	2.4	LT	Wange, gepolstert 6,45cm <sup>2</sup> , 4-6*10 <sup>6</sup> Pa, 50 % Brüche			y	35
36	Nahum	1969	95	2.4	LT	Unterkiefer, gepolstert 6,45cm <sup>2</sup> , 4-6*10 <sup>6</sup> Pa, 50 % Brüche			x	36
37	Nahum u.a.	1968	258	2.4	L	Kiefer, dynam. Bruchlast, bei Frauen 25 % geringer, 6,45cm <sup>2</sup>			x	37
38	Nahum u.a.	1968	258	2.4	L	Schläfe, dynam. Bruchlast, bei Frauen 25% geringer, 6,45cm <sup>2</sup>			y	38
39	Nyquist u.a.	1986	275	2.4	L	Stoßkörper (32/64 kg), Bruchkraft (ausser Nasenbein)			x	39
40	Patrick	1970	288	2.4	O	vermuteter Wert			x	40
41	Patrick	1973	288	2.4	O	Stoßkörper starr und gepolstert (höherer Wert)			x	41
42	Patrick	1973	288	2.4	O	Stirn, Stoßkörper starr und gepolstert (höherer Wert)			x	42
43	Petty u.a.	1985	299	2.4	O	Lenkrodaufprall mit deformierbarer Kopfform (6,8kg)			x	43
44	Swearingen	1965	365	2.4	LT	Nase, Jochbein ohne Bruch bei gepolstertem Stoßkörper			x	44
45	Swearingen	1965	365	2.4	LT	Kiefer, Stirn ohne Bruch bei gepolstertem Stoßkörper			x	45
46	Torriere u.a.	1981	370	2.4	O	Gesichtsschädel, Eindrückung 0,73cm bei Fallhöhe 2,5m			x	46
47	Torriere u.a.	1981	370	2.4	O	Gesichtsschädel, Bruchrenze			x	47
48	Walfisch u.a.	1984	405	2.4	L	Fall mit Schutzhelm auf ebene Platte, HIC 540-1600			x	48

2 Kopf		Blatt 5B		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen			
$p^*$ (bar)	$\ddot{\varphi}_0$ $(r/s^2) \cdot 10^3$	$\sigma_{max}$ (g)	$\bar{a}$ (g)	$t$ (ms)	$v$ (km/h)	$E$ (Nm)	$F$ (N)
1			400		10,5		
2		19,7					
3		20					
4		30					
5			300-500				
6			59				
7			350-500				
8			80-10				
9	-1,0			1			
10						0,01-0,04	
11		5,0-37,6	125-532		2,2-10,9		4210-14600
12		5					
13		15					
14			400				
15			315				
16			50-120	2-4			
17			400				
18		101-386					
19			180-240				
20	0,2-4,5		50-640	2-21	16-27		
21	>2,3						
22	2,3						
23			150				25000
24						66	
25						71	
26							10500
27							1700
28				>5			570-1160
29			7-16	12-17			
30							430-750
31							320-730
32		160±40					6000
33							4000-5000
34				ohne Einfl.			4000-5000
35				ohne Einfl.			2000-2500
36				ohne Einfl.			900-1000
37							980-1020
38							2040-2270
39					10-26		3000
40							680
41							730-2700
42							4100-9300
43		80/3ms			24,1		
44		35-80					
45		70-180					
46							7700
47							7400-15600
48			129-185	95-158			

3 Hals Neck		Blatt Page		6a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels			
.1 Gesamtbereich *) .6 Entire area		2 Halswirbelsäule .7 Cervical spine		.3		.4		.5	
Quelle Source		Qu. Nr. Sou No	Sch. Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks		Richtung Direction		
1	Alem u.o.	A 1984	13	3.1	L	Stoßkörper (10kg), verschiedene Winkel, Polsterung		z	1
2	Cesari u.o.	A 1985	50	3.1	L	93 Fußgänger an verschiedenen Pkw, Verletzungen			2
3	Cheng u.o.	A 1982	65	3.1	L	Schlittenvers. (FMVSS 208), Brust/Kniepolster, Genickbruch			3
4	Ewing u.o.	1976	93	3.1	F	Schlittenversuche (6-15g), gemessen an Th1		x	4
5	Ewing u.o.	A 1977	92	3.1	F	Schlittenvers. zum Bewegungsverhalten, $\dot{\alpha} = 700-19000m/s^2$		y	5
6	Ewing u.o.	1978	91	3.1	F	Einfluß der Kopfstellung bei seitl. Stoß (Schlitten)			6
7	Gogler	1968	112	3.1	O	Schleudersitz, $\dot{\alpha} = 0,3g/ms$		z	7
8	Hu u.o.	A 1977	164	3.1	L	Schlittenversuche, Heckaufprall, verschiedene Verletzungen		x	8
9	Lenox u.o.	1982	213	3.1	T	Zugversuch an Affe, Schädigung des Rückenmarks			9
10	Lenox u.o.	1982	213	3.1	T	Zugversuch an Affe, Verschiebung Atlas/Hinterhaupt			10
11	Mertz u.o.	1968	112	3.1	L	quasistatisch, Flexion			11
12	Mertz u.o.	1968	112	3.1	O	quasistatisch, Hyperextension			12
13	Mertz u.o.	1968	112	3.1	L	quasistatisch		z	13
14	Mertz u.o.	1968	112	3.1	L	quasistatisch, Hyperextension			14
15	Mertz u.o.	1968	112	3.1	L	quasistatisch		z	15
16	Mertz u.o.	1968	112	3.1	L	quasistatisch, Hyperextension			16
17	Mertz u.o.	1968	112	3.1	L	quasistatisch, Flexion			17
18	Muzzy III u.o.	1976	250	3.1	F	Schlittenversuche (6-15g), gemessen an Th1		x	18
19	Nusholtz u.o.	1981	272	3.1	L	Schlagpendel auf Schädeldach liegender Leichen			19
20	Nusholtz u.o.	A 1983	270	3.1	L	Fallversuche Schädeldach auf Meßplatte, Verletzungen			20
21	Ommayo u.o.	A 1985	280	3.1	O	Rechnersimulation von Unfällen, Verletzungen			21
22	Patrick	1969	436	3.1	L	Biegung m = 5kg			22
23	Prosd	A 1984	304	3.1	T	junge Schweine (nach Mertz 1982), schwere Halsverletzungen			23
24	Sances u.o.	A 1980	330	3.1	T	höhere Bruchlasten bei Zugversuchen an lebenden Affen			24
25	Sances u.o.	1980	330	3.1	L	unter Zug Trennung bei C4-C5			25
26	Sances u.o.	1980	330	3.1	LT	unter Zug Trennung bei C4-C5 bzw. C2-C3			26
27	Sances u.o.	A 1981	328	3.1	T	statische Zugversuche an 4 lebenden Affen			27
28	Sances u.o.	A 1981	328	3.1	T	dynamische Zugversuche an 3 lebenden Affen			28
29	Sances u.o.	A 1981	328	3.1	LT	Zugversuch an Rumpf, Schädelfraktur			29
30	Sances u.o.	A 1982	329	3.1	T	quasistatische Zugversuche, verschiedene Verletzungen			30
31	Simons u.o.	1965	345	3.1	O	berechnete Werte aus Hinrichtungen		z	31
32	Snyder	1970	350	3.1	L	$\dot{\alpha} = 0,85 g/ms$		y	32
33	Stopp	1968	112	3.1	L	quasistatisch			33
34	Sturtz	1978	363	3.1	O	Fußgänger (Kind) Unfallsimulation, Scherkraft bei C7			34
35	Wismons u.o.	A 1983	427	3.1	F	Schlittenversuche (5-10g), $\dot{\alpha} = 0,11-1,11g/ms$		y	35
36	Wismons u.o.	A 1984	426	3.1	F	Beschleunigungsschlitten, Gurte		x	36
37	Ziffer	1966	310	3.1	O	Torsion			37
38	Ziffer	1966	310	3.1	O			z	38
39	Ziffer	1969	436	3.1	O	Biegung m = 15kg			39
40	Ziffer u.o.	1968	112	3.1	O	mit m = 79kg berechnete Werte		z	40
41	Ziffer u.o.	1968	112	3.1	O	mit m = 45kg berechnete Werte		z	41
42	Clemens	1972	66	3.2	LT	freier Fall, Anteflexion, Grenzwert überschritten		z	42
43	Clemens	1972	66	3.2	LT	freier Fall, Retroflexion		z	43
44	Clemens	1972	66	3.2	LT	freier Fall, mit Kopfstütze		z	44
45	Fessler	1968	112	3.2	L	quasistatisch		z	45
46	Godd u.o.	1971	115	3.2	LT	freigelegte HWS, statische Werte wie dynamische, Extension			46
47	Godd u.o.	1971	115	3.2	LT	freigelegte HWS, statische Werte wie dynamische, lateral			47
48	Hinz	1970	146	3.2	L	Verzögerungsversuche, gefährdet C5/6 und C6/7			48
49	Hinz	1970	146	3.2	L	Kopfbeugung nach hinten, ohne Schädigung HWS			49
50	Hinz	1970	146	3.2	L	Kopfbeugung nach hinten, mit Schädigung HWS			50

\* ) Hier kann in älteren Quellen die gesamte Wirbelsäule einbezogen sein.

3		Holz		Blatt 6B		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen		
	$\alpha$ (Grad)	$a_{mo.}$ (g)	$\bar{a}$ (g)	t (ms)	v (km/h)	E (Nm)	F (N)	
1					25-39	29-122	3000-17000	1
2					10-39			2
3		32-39					6200	3
4		5,8-39,1		29-111				4
5		2-11		28-144				5
6		2-7						6
7		21						7
8					26			8
9							595	9
10							1170	10
11							180	11
12							1150	12
13							360	13
14							860	14
15							180	15
16							320	16
17							250	17
18		6-39,2		74-96				18
19							1800-11100	19
20					5-21		300-10800	20
21					24-42			21
22					25	380		22
23				11/3-6			1480/2100	23
24								24
25							1446	25
26							622/1289	26
27							888-1112	27
28							1690-2669	28
29							3780	29
30							445-1550	30
31							9000	31
32		16		10-100				32
33							1100	33
34							< 730	34
35					11-24			35
36		5-15			27-62			36
37						45		37
38							4000-7300	38
39					35	240		39
40		12					8400	40
41		18					8100	41
42		40-50			29		1200-1600	42
43		20-36			19-25			43
44		10-16						44
45							1130	45
46	80					23		46
47	60							47
48		26						48
49	138							49
50	140							50



3 Hals Neck		Blatt Page		7a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels			
.1 Gesamtbereich *) Entire area		.2 Halswirbelsäule Cervical spine		.3		.4		.5	
.6		.7		.8		.9 wie angegeben as mentioned		.0 ohne Angabe no comment	
Quelle Source	Qu. Nr. Sou No	Sch Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks				Richtung Direction	
1 Kallieris	1974	183	3.2	L	Frontalaufprall im Gurt				1
2 Lange	1972	208	3.2	LT	3-Pkt-Gurt, Grenze überschritten, Moment bei C6/7: 400 Nm				x 2
3 Lange u. o.	1970	209	3.2	L	Beschleunigungsschlitten, Kopf $\dot{\varphi} = 500 \text{ rad/s}^2$				x 3
4 Mc Elhoney u. a.	A1983	233	3.2	LT	isolierte HWS unter Druckbelastung, Verletzungen				4
5 Mertz	1973	241	3.2	L	ertragbare Momente: Flexion 193 Nm, Extension 59 Nm				5
6 Robbins	1970	316	3.2	L	Kopfbeugung nach vorn, ohne Schädigung HWS				6
7 Robbins	1970	316	3.2	L	Kopfbeugung nach hinten, ohne Schädigung HWS				7
8 Robbins	1970	316	3.2	L	Kopfnneigung um x-Achse, ohne Schädigung HWS				8
9 Robbins	1970	316	3.2	L	Kopfdrehung um x-Achse, ohne Schädigung HWS				9
10 Sances u. a.	A 1980	330	3.2	T	Affen, Zugversuche an isolierter HWS, Schäden				10
11 Sances u. a.	A 1981	328	3.2	T	Affen, Zugvers. an isoliert. Wirbelsäule mit Kopf, Schäden				11
12 Sances u. a.	A 1981	328	3.2	LT	Zugversuche an isolierter HWS, Verletzungen				12
13 Schmidt	1973	334	3.2	L	Kopfneigung nach vorn, ohne Schädigung HWS				13
14 Schmidt	1973	334	3.2	L	Kopfneigung nach vorn, mit Schädigung HWS				14
15 Schmidt	1973	334	3.2	L	Kopfneigung nach hinten, ohne Schädigung HWS				15
16 Schmidt	1973	334	3.2	L	Kopfneigung nach hinten, mit Schädigung HWS				16
17 Schmidt	1973	334	3.2	L	Kopfnneigung um x-Achse, ohne Schädigung HWS				17
18 Schmidt	1973	334	3.2	L	Kopfnneigung um x-Achse, mit Schädigung HWS				18
19 Ziffer	1965	437	3.2	LT	dynamische Fallversuche, Analogie zur WSU-Kurve				z 19
20 Ziffer	1967	439	3.2	O	Fallversuche auf Verbundglas				z 20
21 Ziffer	1967	438	3.2	O	Fallversuche auf Stahlplatte				z 21
22 Gadd	1971	115	3.9	LT	Bruchloset für frische Kehlköpfe				x 22
23 Melvin u. a.	1973	238	3.9	LT	dynamische Belastung bis zum Bruch (Kehlkopf)				23
24 Sances u. a.	A 1981	328	3.9	LT	Zugversuch an isoliertem Rückenmark				24
25 Schmidt u. a.	1973	337	3.9	O	Bänder- und Bandscheibenrisse oberhalb $1300 \text{ rad/s}^2$				25

\*) Hier kann in älteren Quellen die gesamte Wirbelsäule einbezogen sein.



4 Obere Gliedmaßen Upper extremities		Blatt Page 8a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels		
.1 Gesamtbereich Entire area		.2 Schulter Shoulder		.3 Arm Arm		
.6		.7		.4 Hand Hand .9 wie angegeben as mentioned		
.5 .0 ohne Angabe no comment						
Quelle Source	Qu. Nr. Sou Cod No	Sch Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks	Richtung Direction	
1 Patrick u. a.	1970	350	4.1	L	Sternum, Schultergürtel, Aufprall auf Lenkung	1
2 Marcus u. a. A	1983	229	4.2	L	Schulterkraft-Verlauf über Zeit	y 2
3 Reuter u. a.	1975	326	4.2	O	Sprengung Schultergelenk, Unfallrekonstruktion	y 3
4 Aldman	1968	112	4.3	O	Abstützkraft, angespannt	x 4
5 Braun	1969	34	4.3	O	Oberarm	5
6 Chapon u. a.	1981	62	4.3	LT	Versuche an einem Schiebetür-System	6
7 Lippert u. a.	1973	220	4.4	LT	Mittelhandknochen, statische Biegung	7
8 Lippert u. a.	1973	220	4.4	LT	Mittelhandknochen, Pendelschlagversuch	8
9 Lippert u. a.	1973	220	4.4	LT	Fingergrundglied, statische Biegung	9
10 Lippert u. a.	1973	220	4.4	LT	Fingergrundglied, Pendelschlagversuch	10
11 Korkursuz	1972	195	4.9	O	Schlüsselbein, bei Gewichthebern Verrenkung bei Langskraft	11
12 Messerer	1880	247	4.9	LT	Schlüsselbein, statische Longsbruchkraft	12
13 Wail u. a.	1974	413	4.9	O	Schultergurtkraft, Unfallrekonstruktion und Simulation	13
14 Wail u. a.	1974	413	4.9	O	Summe aller Gurtkräfte, Unfallrekonstruktion und Simulation	14

4 Obere Gliedmaßen

Blatt 8B

Zusammenstellung von Belastungsgrenzen

	$a_{m,0.5}$ (g)	$\bar{a}$ (g)	t (ms)	v (km/h)	E (Nm)	F (N)	
1						6200	1
2				24-40			2
3						8000-10000	3
4						1800	4
5		40					5
6							6
7					0,9-2,0	700-1300	7
8					1,1-2,3		8
9					0,8-1,5	700-1200	9
10					1,5-2,4		10
11						3920-6300	11
12						620-1000	12
13						8000	13
14						18000	14

5 Rumpf Trunk		Blatt 9a Page		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels				
.1 Gesamtbereich Entire area		.2 Brustwand Thoracic wall		.3 Brusteingeweide Thoracic organs		.4 Bauch Abdomen	.5 Rücken Back	
.6		.7		.8		.9 wie angegeben as mentioned	.0 ohne Angabe no comment	
Quelle Source	Qu. Nr. Sou No	Sch Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks		Richtung Direction		
1	Burow	1974	44	5.1	O	statische Abstützkraft gegen Rückwärtsbeugung		1
2	Burow	1974	44	5.1	O	statische Abstützkraft gegen Vorwärtsbeugung		2
3	Burow	1974	44	5.1	O	Abstützkraft gegen 'Whiplash'		3
4	Cesari u.a.	A 1981	55	5.1	L	Stoßkörper, mit Armaufprall, thorakale Brüche	y	4
5	Cesari u.a.	A 1981	55	5.1	L	Stoßkörper, ohne Armaufprall, thorakale Brüche	y	5
6	Cesari u.a.	1982	60	5.1	L	Fußgänger auf Pkw, $a_{3ms} = 25-83g$		6
7	Cooper u.a.	1981	69	5.1	T	Schweine, frei fliegende Stoßkörper $\emptyset, 14-0,38kg$		7
8	Cooper u.a.	A 1986	70	5.1	T	Schweine, Aufprall von Projektilen ( $\emptyset, 07-3,0kg$ )	y	8
9	Foret-Bruno u.a.	1980	107	5.1	O	50 % Häufigkeit AIS 2 bei Insasse $\Delta v$ 30km/h		9
10	Gogler	1968	112	5.1	O	Abstützung bei Fallschirmöffnung		10
11	Horsch u.a.	1985	163	5.1	T	Schweine, Schlittenversuche mit Lenkradaufprall		11
12	Kroell u.a.	A 1981	199	5.1	T	Schweine, Stoßkörper, verschied. Eindrückung		12
13	Langdon	1986	205	5.1	O	Stoßwellen Theorie, Lungenkontusion, $\Delta v > 10m/s$	y	13
14	Langwieder u.a.	A1979	210	5.1	O	kritische Belastung für Pkw-Insassen mit Gurt SI1000		14
15	Nusholtz u.a.	A 1980	273	5.1	T	Stoßkörperversuche mit Kaninchen		15
16	Nusholtz u.a.	A 1980	273	5.1	L	Stoßkörperversuche mit Leichen		16
17	Nusholtz u.a.	A 1980	273	5.1	T	Stoßkörperversuche mit Affen (lebend und tot)		17
18	Nusholtz u.a.	1985	267	5.1	T	Kaninchen, Stoßkörper, Herz- und Gefäßverletzungen		18
19	Nusholtz u.a.	A 1985	268	5.1	L	Pendel mit Lenkrad gegen sitzende Leiche		19
20	Pope u.a.	A 1979	301	5.1	T	Schweine, Stoßkörper 21kg, Verletzungen	(x)	20
21	Romanus u.a.	1979	323	5.1	T	Schweine, Erstickung bei 25 % Eindrückung, 15-30 min	y	21
22	Verriest u.a.	A 1981	385	5.1	T	lebende und tote Schweine mit Gurten (Schlitten)	(x)	22
23	Verriest u.a.	A 1983	383	5.1	T	Schweine mit Gurt auf Schlitten, Verletzungen		23
24	Viano u.a.	A 1978	393	5.1	T	Schweine, Stoßkörper 21kg, Verletzungen		24
25	Wismons u.a.	1979	424	5.1	L	4-6 jährig, Kindersitz, instab. Brustkorb vermutet		25
26	Beeding	1968	112	5.2	F	Rückenlage, $m = 30kg, \dot{\sigma} = 3,826g/ms$	x	26
27	Bierman	1968	112	5.2	F		x	27
28	Burow u.a.	1973	45	5.2	LT	Zylinderdurchmesser 30cm, $E = 160-500Nm$	x	28
29	Burow u.a.	1973	45	5.2	LT	Zylinderdurchmesser 22cm	x	29
30	Burow u.a.	1973	45	5.2	LT	Platte 22 x 26cm	x	30
31	Cotte	1977	72	5.2	L	Eindrückung unter Diagonalgurt, 78 daN/cm		31
32	Cotte	1977	72	5.2	T	Eindrückung bei Affen, lebend/tot, 9,0/4,5 daN/cm		32
33	Fabricius u.a.	1969	95	5.2	LT	Einzelrippe, quasistatische Biegung	x	33
34	Fayon u.a.	1975	99	5.2	L	Zahl der Rippenbrüche mit Alter steigend (3 pro 10J.)		34
35	Fayon u.a.	1977	121	5.2	L	Fallversuche, vermutete Werte: $s < 30\%$	y	35
36	Foret-Bruno u.a.	1978	106	5.2	O	unfallbeteiligte Gurtträger <30 Jahre ohne Verl., Gurtkraft:		36
37	Godd u.a.	1970	350	5.2	L	Sternum, Fläche $232cm^2$	x	37
38	Grogg	1970	126	5.2	F	Schultergurtkraft ohne Verletzungen ertragen	x	38
39	Grottan	1969	127	5.2	O	dynamische Last, Unfallrekonstruktion	x	39
40	Kallieris u.a.	1984	176	5.2	L	Pkw-Insassen seittl. gestoßen, Rippenbrüche ab 35g/3ms		40
41	Kroell	1971	200	5.2	L	Stoßkörper (15,24cm Durchmesser) gegen Brustbein		41
42	L'Abbe u.a.	1982	203	5.2	F	Eindrückung unter dynamischer Gurtkraft bis:		42
43	Lieberman	1973	306	5.2	L		x	43
44	Lister u.a.	1970	223	5.2	O	Unfallrekonstruktion	x	44
45	Mattern u.a.	1979	232	5.2	L	Frontalstoß im Gurt, OAS $\leq 3$ für 30-/70 Jährigen		45
46	Melvin u.a.	A 1976	237	5.2	L	seittl. Aufprall in sitzender Position, Verletzungen	y	46
47	Nahum	1973	256	5.2	L	ertragbare Deformationsenergie 300Nm		47
48	Nahum u.a.	1975	260	5.2	L	AIS proportional Eindrückung $s$ , für AIS 3 gilt:		48
49	Nusholtz u.a.	1983	274	5.2	L	Stoßkörper 56kg, knöcherne Verletzungen		49
50	Patrick	1965	296	5.2	F		x	50



5 Rumpf Trunk		Blatt 10a Page		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels							
.1 Gesamtbereich Entire area		.2 Brustwand Thoracic wall		.3 Brusteingeweide Thoracic organs		.4 Bauch Abdomen		.5 Rücken Back			
.6		.7		.8		.9 wie angegeben as mentioned		.10 ohne Angabe no comment			
Quelle Source	Qu. Nr. Sou No	Sch Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks				Richtung Direction			
1	Patrick	1965	290	5.2	L	dynamische Versuche, Prallkörper gepolstert				x	1
2	Patrick	1973	306	5.2	L					x	2
3	Patrick	1973	288	5.2	L	verteilte Last				x	3
4	Patrick	1973	288	5.2	L	verteilte Last				y	4
5	Patrick	A 1981	286	5.2	F	Stoßpendel 10kg				x	5
6	Patrick u.a.	1968	112	5.2	O	Zylinderdurchmesser 18cm, 3cm Polster				x	6
7	Ramet u.a.	1973	306	5.2	L					x	7
8	Ramet u.a.	1973	306	5.2	L					x	8
9	Ramet u.a.	1973	306	5.2	L					x	9
10	Robbins u.a.	1976	317	5.2	L	Schlitten mit Lenksäulen, AIS 2-6				x	10
11	Sacreste u.a.	1982	327	5.2	O	bei 35 % Eindrückung des halben Thorax 8 Rippenbrüche				y	11
12	Schmidt	1973	335	5.2	LT	6. und 7. Rippe, Bruchlast bei stat. Biegung, 12-21 Jahre				y	12
13	Schmidt	1973	335	5.2	LT	6. und 7. Rippe, Bruchlast bei stat. Biegung, 60-70 Jahre				y	13
14	Schmidt	1979	336	5.2	L	Frontalstoß im Gurt für 20- bzw. 45- jährigen					14
15	Schmidt u.a.	1975	442	5.2	L	untere Grenze über 50 Jahre, obere Grenze 12-30 Jahre					15
16	Stopp	1968	112	5.2	F	Rückenlage				x	16
17	Stopp u.a.	1970	350	5.2	T	Braunbar mit Gurten, Rippenbruch, $\dot{a} = 10g/ms$				x	17
18	Torriere u.a.	1974	369	5.2	L					x	18
19	Torriere u.a.	A 1979	367	5.2	L	freier Fall, ohne Verletzung (AIS 0)				y	19
20	Torriere u.a.	A 1979	367	5.2	L	freier Fall, ohne schwere Verletzung (AIS 3), $a < 30\%$				y	20
21	Torriere u.a.	1980	368	5.2	L	aus Unfallkonstruktionen, $> 30\%$ seitliche Eindrückung				y	21
22	Thomas u.a.	1979	375	5.2	O	Schultergurtkraft ohne thorak. Brüche für $< 35$ J. bzw. $> 65$ J.					22
23	TRRL	1973	378	5.2	O	Unfallrekonstruktion und Simulation				x	23
24	v. Kurnatowski	1970	202	5.2	T					x	24
25	Viano	1978	395	5.2	L	deflection limit P/D näherungsweise 0,32					25
26	Viano u.a.	1976	400	5.2	T	Stoßkörper 21kg, Schweine, AIS 0-1				x	26
27	Viano u.a.	1976	400	5.2	T	Stoßkörper 21kg, Schweine, AIS 3-4				x	27
28	Viano u.a.	A 1977	391	5.2	T	Stoßkörperversuche, mehr Verletzungen bei toten Schweinen					28
29	Wolfisch u.a.	1982	406	5.2	L	30 % seitliche Eindrückung mit bis zu 7 Rippenbrüchen					29
30	Wolfisch u.a.	1982	406	5.2	L	30 % front. Eindrückung mit 3-Pkt-Gurt					30
31	Wolfisch u.a.	1985	407	5.2	L	Gurtträger $< 60$ J., AIS 2 = 8 Rippenbrüche, an Th4:				x	31
32	Wall u.a.	1974	413	5.2	O	Unfallrekonstruktion und Simulation					32
33	Ziffer	1968	112	5.2	F					x	33
34	Ziffer	1968	112	5.2	O					x	34
35	Hanson	1966	140	5.3	T	Aortarisse bei Hunden (Beagles) bei Stoß				z	35
36	Krell u.a.	1986	198	5.3	T	Schweine, Stoßkörper, Herzruptur bei 15 % Eindrückung					36
37	Lou u.a.	1986	212	5.3	O	Viskositätskrit.(VC) <sub>max</sub> = 1,0m/s für AIS $\geq$ 4 (25 % Häufigk.)					37
38	Robbins u.a.	1976	317	5.3	T	Schlitten mit Lenksäulen, Affen, AIS 1-5				x	38
39	Zehnder	1969	435	5.3	L	absteigende Aorta, m (Herz) = 0,4kg				z	39
40	Cavanaugh u.a.	1986	49	5.4	L	Stoßkörper (32/64kg), Steifigkeit 20 kN/m					40
41	Cavanaugh u.a.	1986	49	5.4	L	Stoßkörper (32/64kg), Steifigkeit 70 kN/m				x	41
42	Fozekos u.a.	1971	101	5.4	LT	Kompression der Leber zwischen Platten, Bersten:					42
43	Fazekos u.a.	1971	101	5.4	LT	Kompression der Leber zwischen Platten, multiple Rupturen					43
44	Gogler u.a.	A 1977	114	5.4	T	Miniaturschweine, Aufprall an Heck-Spoiler, Verletzungen					44
45	Kallieris u.a.	1984	176	5.4	L	Pkw-Insassen rechts gestoßen, Leberrisse ab:					45
46	Kallieris u.a.	1984	176	5.4	L	Pkw-Insassen links gestoßen, Leberrisse vermutlich ab:					46
47	Klaus u.a.	A 1983	193	5.4	L	Bauchverletzungen bei Pkw-Seitenaufprall				y	47
48	Lou u.a.	1986	212	5.4	O	Viskositätskrit.(VC) <sub>max</sub> = 1.2m/s für AIC $\geq$ 5 (25 % Häufigk.)					48
49	Leung u.a.	1979	216	5.4	F	statische Belastung mittels Gurt, Steifigkeit 9 N/mm					49
50	Leung u.a.	A 1982	217	5.4	L	Verletzungen bei Beckengurtkraft:				x	50

	s (cm)	$a_{mox}$ (g)	$\bar{a}$ (g)	t (ms)	v (km/h)	E (Nm)	F (N)	
1							6500-8000	1
2					35		8200	2
3		60		<3			5450-8200	3
4							2250	4
5	4,6				16,6		1670	5
6				50-60	25		4500	6
7	2,9				27		3000	7
8	4,3				27		6000	8
9	3,4				27		6400	9
10		10-21			26-56			10
11							400-1000	11
12							100-250	12
13		25/10			45			13
14	2,0-4,2		20					14
15		57						15
16		83		60				16
17	4-7						4000-7650	17
18							7000	18
19							10200	19
20								20
21							9000/2500	21
22	6,5						6500-8000	22
23							12000-14000	23
24								24
25								25
26	1,6-6,2	14-32			11-26		1330-4047	26
27	7,2-12,1	46-106			33-44		5921-7481	27
28								28
29								29
30							8500	30
31		70/3ms						31
32	4,5	40-60		>3			6000-8000	32
33							5400	33
34							25000	34
35		15-20						35
36					108			36
37								37
38		9-30			34-50			38
39		77					88	39
40				36	22	603	3100	40
41				23	37	2543	10200	41
42							1685 $\pm$ 638	42
43							3198 $\pm$ 908	43
44					14-23		450-3750	44
45		75						45
46		150						46
47					50			47
48								48
49								49
50							>3000	50



5 Rumpf Trunk		Blatt Page		11a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels			
.1 Gesamtbereich Entire area		.2 Brustwand Thoracic wall		.3 Brusteingeweide Thoracic organs		.4 Bauch Abdomen		.5 Rücken Rack	
.6		.7		.8		.9 wie angegeben as mentioned		.0 ohne Angabe no comment	
Quelle Source	Qu. Nr. Sou No	Sch. Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks				Richtung Direction	
1 Rouhana u.o.	1986	324	5.4 T	Kaninchen, Nieren-/Leberverl., Viskositätseffekt ab 18km/h				1	
2 Snyder	1972	349	5.4 O	Abdomen, Gurtverletzungen bei Gurtfehlilage ab:				2	
3 Stalnaker u.o.A	1985	355	5.4 T	Extrapolation von Grenzkurven $v=f(s)$ , $F=f(s)$				3	
4 Troflope u.o.	1973	377	5.4 T	Abdomen				x 4	
5 Walfisch u.o. A	1979	408	5.4 L	Submarining ohne Verletzung, $\Delta v$ 49-66km/h, Gurtkraft:				5	
6 Walfisch u.o. A	1980	410	5.4 L	Fallversuche, AIS 3 für 4,5kN und 2,6 daN/cm <sup>2</sup>				y 6	
7 Cheng u.o.	1979	64	5.5 F	Schlittversuche z.T. abgebrochen wegen Nackenschmerzen				7	
8 Fessler	1968	112	5.5 L	Brustwirbelsäule, quasistatisch				z 8	
9 Fessler	1968	112	5.5 L	Lendenwirbelsäule, quasistatisch				z 9	
10 Hakim u.o.	1976	138	5.5 L	Belastungen innerhalb Wirbelsäule, Verletzungen				z 10	
11 Kallieris u.o.	1984	181	5.5 L	Pkw-Insassen, $\dot{\varphi} = 19-58$ rad/s, $\ddot{\varphi} = 613-3588$ rad/s <sup>2</sup>				11	
12 Klaus u.o. A	1983	193	5.5 L	Wirbelsäulenverletzungen bei Pkw-Seitenaufprall				y 12	
13 Myklebust u.o.A	1983	251	5.5 L	vertikale Belastung in gebeugter Sitzhaltung				z 13	
14 Myklebust u.o.A	1983	251	5.5 LT	Wirbelsäule, Stauchung auf halbe Höhe				z 14	
15 Myklebust u.o.A	1983	251	5.5 LT	Wirbelsäule vertikal belastet				z 15	
16 Myklebust u.o.A	1983	251	5.5 LT	verschiedene Bänder unter Zugbelastung				z 16	
17 Myklebust u.o.A	1983	251	5.5 T	Affen, verschiedene Bänder unter Zugbelastung				z 17	
18 Nögel u.o.	1975	252	5.5 L	Unfallsimulation mit Beckengurt, Fraktur D12-L1				x 18	
19 Nögel u.o.	1975	252	5.5 L	Unfallsimulation mit Beckengurt, Fraktur L3-L4				x 19	
20 Schueler u.o.	1983	342	5.5 L	Wirbelsäulenverletzungen nach Kopfaufprall mit Helm				20	
21 Smith	1969	335	5.5 LT	statische Bruchbelastung				z 21	
22 Wyss	1954	431	5.5 LT	quasistatisch				z 22	

5 Rumpf		Blatt 11B		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen				
	s (cm)	$a_{m \cdot x}$ (g)	$\bar{a}$ (g)	t (ms)	v (km/h)	E (Nm)	F (N)	
1					18-54			1
2					16			2
3								3
4							3000-4000	4
5	<35		10-21				<2000	5
6	2,6-7,4						1500-5400	6
7		8						7
8							2100	8
9							4120	9
10							>3000	10
11					49-51			11
12					50			12
13							1110-2750	13
14							1557-7384	14
15							555-5110	15
16							55-600	16
17							12-350	17
18					80		670-831	18
19					80		564-1005	19
20		119-155			32-45			20
21							3175-6350	21
22							4000	22

6 Untere Gliedmaßen Lower extremities		Blatt Page		12a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels			
.1 Gesamtbereich Entire area		.2 Becken, Hüfte Pelvis, hips		.3 Oberschenkel Thigh		.4 Knie region Knee region		.5 Unterschenkel Lower leg	
.6 Fuß Foot		.7		.8		.9 wie angegeben as mentioned		.0 ohne Angabe no comment	
Quelle Source	Qu. Nr.	Sch. Nr.	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks				Richtung Direction	
	Sou No	Cod No							
1 Aldman u.o.	A 1979	10	6.1	LT	Pkw-Stoßfänger, verschiedene Verletzungen				1
2 Aldman u.o.	A 1985	9	6.1	LT	Pkw-Stoßfänger, Knieverletzungen				2
3 Begemann u.o.	1980	26	6.1	F	Kraft infolge Muskelanspannung, dynamisch/statisch				3
4 Brun-Cossan u.o.	1982	38	6.1	L	Gurtträger gegen Kniepuffer, 10 % Verletzungen				x 4
5 Bunketorp u.o.	A 1981	41	6.1	LT	Pkw-Front, Bruchkraft Unterschenkel bei niedrigem Stoßfänger				5
6 Bunketorp u.o.	1982	40	6.1	LT	Oberschenkel und Hüfte, Brüche vermutet				6
7 Bunketorp u.o.	A 1983	42	6.1	LT	2 Pkw-Stoßfänger in 2 Höhen				7
8 Cheng u.o.	A 1984	63	6.1	L	Schlitten mit Gurt und Kniepolster, zum Teil Femurfraktur				x 8
9 Farisse u.o.	1981	96	6.1	L	Pkw-Front und -Seite, Knochenbrüche				9
10 Kroell u.o.	1976	201	6.1	L	Knieaufprall auf Puffer, 25 % Beckenbrüche				x 10
11 Leung u.o.	A 1983	214	6.1	L	Pkw-Insassen mit Gurt				x 11
12 Patrick	1973	288	6.1	O	Beschleunigung im Gesäß				z 12
13 Schiechel	1965	333	6.1	L	Beschleunigung Gesäß				z 13
14 Stalnaker u.o.	A 1976	357	6.1	L	Knieaufprall mit Stoßkolben, ohne Bruch				x 14
15 Bierman	1947	28	6.2	L	Spina iliaca				z 15
16 Cesari u.o.	A 1980	59	6.2	L	Stoßkörperversuche, Impuls 100 Ns				y 16
17 Cesari u.o.	1982	60	6.2	L	Fußgänger auf Pkw, $a_{3ms} = 28-122g$				17
18 Cesari u.o.	A 1982	54	6.2	L	Stoßkörper (17kg), Beckenbruch männliche Leiche				y 18
19 Cesari u.o.	A 1982	54	6.2	L	Stoßkörper (17kg), Beckenbruch weibliche Leiche				y 19
20 Cesari u.o.	1982	56	6.2	L	männlich, Stoßkörper (17,3kg), mehrfach, Kraft/3ms				y 20
21 Cesari u.o.	1982	56	6.2	L	weiblich, Stoßkörper (17,3kg), mehrfach, Kraft/3ms				y 21
22 Ewing u.o.	1977	94	6.2	F	Schlittenversuche zur Messung der Beckenbewegung				x 22
23 Fayon u.o.	A 1977	121	6.2	L	Fallversuche, keine Verletzung für $a/3ms$				y 23
24 Foret-Bruno u.o.	1980	107	6.2	O	50 % Häufigkeit Beckenbruch bei Insasse $\Delta v = 46km/h$				24
25 Grogg u.o.	1970	126	6.2	F	Kräfte je iliac crest				x 25
26 Kelleher u.o.	A 1985	186	6.2	L	Pkw-Front, verschiedene Verletzungen				26
27 Langwieder u.o.	1979	210	6.2	O	kritische Belastung für Pkw-Insassen mit Gurt				x 27
28 Marcus u.o.	A 1983	229	6.2	L	Beckenkraft-Verlauf über Zeit				y 28
29 Melvin u.o.	A 1976	237	6.2	L	seitl. Aufprall in sitzender Position, Verletzungen				y 29
30 Messerer	1980	247	6.2	LT	statische Bruchlast				30
31 Nusholtz u.o.	A 1982	266	6.2	L	Stoßkörper (25/56kg), Verletzungen				x, y 31
32 Patrick	1973	288	6.2	L	Kraft in Knie geleitet				x 32
33 Patrick	1973	288	6.2	O	großflächige Kraft, jeweils ohne Verletzungen ertragen				x 33
34 Patrick u.o.	1965	290	6.2	L	Polsterung 3,5 cm				34
35 Romet u.o.	1979	308	6.2	L	Stoßkörper, Geschwindigkeit gestuft, Brüche ab 35 km/h				y 35
36 Tarriere u.o.	1974	372	6.2	L	gepolstert				y 36
37 Tarriere u.o.	A 1979	367	6.2	L	freier Fall ohne Bruch für $a_{3ms} < 50-90g$				y 37
38 Tarriere u.o.	1980	368	6.2	L	Unfallrekonstruktionen, vermuteter Grenzwert (3ms)				y 38
39 Braun	1969	34	6.3	O					39
40 Ehler u.o.	1970	82	6.3	LT	statische Biegung				y 40
41 Leung u.o.	1983	214	6.3	LT	Biegebruch				41
42 Leung u.o.	1983	214	6.3	LT	Druckbelastung an Proben				42
43 Lister u.o.	1970	223	6.3	O	nach Unfallrekonstruktionsverfahren				x 43
44 Malher	1968	231	6.3	LT	herauspräpariert				y 44
45 Melvin u.o.	1975	239	6.3	L	Krafteinleitung am Knie, Frakturgrenze 180-220 Nm bei				x 45
46 Messerer	1880	247	6.3	LT	statische Bruchlast				46
47 Patrick u.o.		0000	6.3	O					x 47
48 Patrick u.o.	1967	295	6.3	L	Polsterung 3,5cm, Krafteinleitung am Knie				x 48
49 Patrick u.o.	1970	294	6.3	L	Polsterung 3,5cm, Krafteinleitung am Knie				x 49
50 Powell u.o.	1974	302	6.3	O	Krafteinleitung am Knie				x 50



6 Untere Gliedmaßen Lower extremities		Blatt Page 13a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels		
.1 Gesamtbereich Entire area		.2 Becken, Hüfte Pelvis, hips		.3 Oberschenkel Thigh		
.6 Fuß Foot		.7		.4 Knie region Knee region .9 wie angegeben as mentioned		
				.5 Unterschenkel Lower leg .0 ohne Angabe no comment		
Quelle Source	Qu. Nr. Sou Cod No	Sch Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks	Richtung Direction	
1 Powell u.o.	1975	303	6.3	L	Krafteinleitung am Knie	1
2 Ritter u.o.	1973	313	6.3	LT	Elastizitätsmodul 5,5-15,0 kN/mm <sup>2</sup> bei stat. Druck bis 5 kN	2
3 Roberts u.o.	A 1977	319	6.3	LT	Torsionsversuche bis Bruch, Md = 136 Nm, Winkel = 13°	3
4 Sauter u.o.	1980	331	6.3	T	Kaninchen, Femurbelastungen, Gefahr der Fettembolie	4
5 Stcherbatscheff	1973	361	6.3	LT		x 5
6 Viano	1977	387	6.3	O	Femurbruch für T<20 ms: F=23,14-0,71T(kN), T ≥ 20ms:	6
7 Viano	1980	396	6.3	O	Bruchgrenze, zunehmend bei kürzeren Stoßzeiten	7
8 Aldman u.o.	A 1980	4	6.4	LT	Zugversuche an Seitenband, Dehnung 2,5-7,2mm	8
9 Aldman u.o.	1980	4	6.4	LT	Zügversuch an vorderem Kreuzband	9
10 Bunketorp u.o.	1982	40	6.4	LT	bei knienahem Stoß auch Verletzungen	10
11 Kelleher u.o.	A 1985	186	6.4	L	Pkw-Front, verschiedene Verletzungen	11
12 Patrick	1965	287	6.4	O	vermuteter Wert	x 12
13 Patrick u.o.	1965	287	6.4	F		x 13
14 Viano u.o.	A 1978	389	6.4	L	Stoßkörperversuche (56kg, 6m/s) am gebeugten Knie	x 14
15 Viano u.o.	A 1978	389	6.4	LT	mit Bandverletzungen des gebeugten Knies	x 15
16 Viano u.o.	1979	388	6.4	L	Schlittenversuche mit Gurt und Kniepolster, ohne Schoden	16
17 Aldman u.o.	1983	7	6.5	LT	Maximale Stoßkraft bei erwachs. Fußgänger (Vorschlag)	17
18 Asang	1975	16	6.5	O	Biegung, Frakturgrenze 160-250 Nm	18
19 Asang	1975	16	6.5	LT	Biegung, elastische Grenze 120-170 Nm	19
20 Asang	1975	16	6.5	LT	Drehung, Frakturgrenze 50-110 Nm	z 20
21 Asang	1975	16	6.5	LT	Drehung, elastische Grenze 35-60 Nm	z 21
22 Asang u.o.	1966	17	6.5	LT	Biegung	x 22
23 Asang u.o.	1966	17	6.5	O	Drehung	z 23
24 Bunketorp u.o.	1982	40	6.5	LT	bei mittigem Stoß keine schweren (AIS 3) Verletzungen	24
25 Ehler u.o.	1970	81	6.5	LT	statische Biegung	y 25
26 Kaiser u.o.	1973	173	6.5	LT	statische Biegung	x 26
27 Kramer u.o.	1973	196	6.5	O		27
28 Lister u.o.	1970	223	6.5	O	nach Unfallrekonstruktionsverfahren	x 28
29 Nyquist u.o.	A 1985	276	6.5	LT	Tibia-Biegebrüche bei M.b = 280/320 Nm (Frauen/Männer)	29
30 Patschneider	1968	297	6.5	LT	Stoßstangenprofil	x 30
31 Spann u.o.	1974	353	6.5	O	Rechenwert für Biegebruchmoment 100-350 Nm	31
32 Stainaker u.o.	A 1976	357	6.5	L	Stoßkolbenoupprall, Impuls < 178-220 Ns	32
33 Stcherbatscheff	1973	361	6.5	O		x 33
34 Ziffer	1968	112	6.5	LT	Biegung	x 34
35 Arnold	1972	15	6.9	LT	Strecksehnen des Fußes, Schlagzugversuch nach DIN 53 448	35
36 Braun	1969	34	6.9	O	Knochel	z 36
37 Buchartowsky	1972	39	6.9	LT	Mittelfußknochen, Pendelschlagversuch	37
38 Burghel u.o.	1970	43	6.9	LT	Fersenbein, quasistatischer Druck	38
39 Burghel u.o.	1970	43	6.9	LT	Sprungbein, quasistatischer Druck	39
40 Fazekas u.o.	1971	102	6.9	LT	Nerven (N. femoralis bzw. N. ischiadicus)	40
41 Fischer	1971	105	6.9	LT	Kniescheibe, Druck	x 41
42 Fischer	1971	105	6.9	LT	Kniescheibe, Zug an den Sehnen	z 42
43 Koessmann u.o.	1972	171	6.9	LT	Herausreißen einer Kompressionschraube aus Hüftkopf	43
44 Kramer u.o.	1973	196	6.9	O	Kniescheibe	44
45 Kramer u.o.	1973	196	6.9	O	Schienbeinkopf	x,y 45
46 Lippert u.o.	1972	221	6.9	LT	Fußwurzelknochen, statischer Druck, verschied. Richtungen	46
47 Messerer	1880	247	6.9	LT	Schienbeinkopf	x,y 47
48 Ritter u.o.	1973	314	6.9	LT	große Röhrenknochen	48
49 TRRL	1973	378	6.9	O	Hüftgelenksbruch bei Krafteinleitung ins Knie	x 49

6 Untere Gliedmaßen		Blatt 13B		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen				
		$a_{max}$ (g)	$\bar{a}$ (g)	t (ms)	v (km/h)	E (Nm)	F (N)	
1						316-747	7100-12500	1
2								2
3				6,2		17,4		3
4								4
5						42		5
6							8900	6
7				<20			8900 $\pm$ 2000	7
8							830	8
9							1100	9
10					<15			10
11		48-107			40			11
12							6500	12
13							3500-4500	13
14							5150-7020	14
15							2020	15
16			16	90	48		6200	16
17							1000	17
18								18
19								19
20								20
21								21
22						147-355		22
23						32-146		23
24								24
25					<15		2000-3000	25
26							2620	26
27					7,2-8	150-210	2500-4500	27
28							5000	28
29								29
30					12-22			30
31								31
32				1,2-22,1	29-48	645-1756	1779-22241	32
33					20	24		33
34						53-130		34
35	*)						115-270	35
36			6					36
37						0,68-ub. 4,0		37
38							1020-5800	38
39							2500-7500	39
40	**)						364-550	40
41							6000	41
42							1600	42
43							1500-3300	43
44					17-27	80-155	1200-3000	44
45					17-27	80-230	1600-7000	45
46							1900-12500	46
47							7000-10750	47
48								48
49							4000-5000	49

\*) Schlagzugzähigkeit  $a_{zn}$  (0,917) = 4,86 kpcm/mm<sup>2</sup>

\*\*\*) Zerreißspannung 1,3  $\pm$  0,6 kN/cm<sup>2</sup> bzw. 1,1  $\pm$  0,4 kN/cm<sup>2</sup>

7 Gewebetypen Tissues		Blatt Page		14a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels	
.1 Haut .6 Skin	.2 Knochen .7 Bones	.3 Sehnen .8 Tendons	.4 Nerven Nerves	.5	.9 wie angegeben as mentioned	.0 ohne Angabe no comment	
Quelle Source	Qu. Nr. Sou No	Sch Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks	Richtung Direction		
1 Coreless u.a.	1982	47	7.1	LT	Schnitttiefe als Funktion der Scherbeanspruchung (bis 280MPa)		1
2 Leung u.a.	1977	215	7.1	LT	Verletz.widerstand 270 bzw. 360 N/mm <sup>2</sup> längs bzw. quer		2
3 Evans u.a.	1963	89	7.2	LT	einbalsamierte Knorpelscheiben, Elastizitätsgrenze	z	3
4 Fabricius u.a.	1969	95	7.2	LT	Rippe, quasistatische Biegung	x	4
5 Leung u.a.	1983	214	7.2	LT	Druckbelastung an Femur-Abschnitten		5
6 Lippert u.a.	1974	219	7.2	LT	Schädeldach-Proben 2,5 x 1,0cm, Pendelschlagversuche		6
7 Myklebust u.a.	1983	251	7.2	LT	Wirbelkörper, Stauchung auf halbe Höhe	z	7
8 Schmidt	1973	335	7.2	LT	6./7. Rippe, Bruch bei statischer Biegung, 12-21J.	y	8
9 Schmidt	1973	335	7.2	LT	6./7. Rippe, Bruch bei statischer Biegung, 60-72J.	y	9
10 Wyss u.a.	1954	431	7.2	LT	Wirbelkörper	z	10
11 Wyss u.a.	1954	431	7.2	LT	Bandscheibe	z	11
12 Ziffer u.a.	1968	112	7.2	LT	Wirbelkörper/Bandscheibe, Druck	z	12
13 Aldman u.a.	1980	4	7.3	LT	Zug an Seitenband des Knies, Dehnung 2,5-7,2mm		13
14 Aldman u.a.	1980	4	7.3	LT	Zug an vorderem Kreuzband des Knies		14
15 Arnold	1972	15	7.3	LT	Fußstrecksehnen, Schlagzugfähigkeit *)		15
16 Myklebust u.a.	1983	251	7.3	T	Affen, verschiedene Bänder unter Zugbelastung	z	16
17 Myklebust u.a.	1983	251	7.3	LT	verschiedene Bänder unter Zugbelastung	z	17
18 Fozekas u.a.	1971	102	7.4	LT	Nervus femoralis, Zerreißspannung 1293 <sup>±</sup> 550 N/cm <sup>2</sup>		18
19 Fozekas u.a.	1971	102	7.4	LT	Nervus ischiadicus, Zerreißspannung 1103 <sup>±</sup> 391 N/cm <sup>2</sup>		19

\*)  $\sigma_{zn} (0.917) = 4,86 \text{ kpcn/mm}^2$

		$a_{max}$ (g)	$\bar{a}$ (g)	t (ms)	v (km/h)	E (Nm)	F (N)
1					2,7		
2						32-56	1565-4540
3							100
4							1800-5675
5						0,04-0,57*)	
6							1557-7384
7							400-1000
8							100-250
9							4100
10							2500-6000
11							4000-6000
12							830
13							1100
14							12-350
15							55-600
16							115-270
17							364-550
18							
19							

\*) Medianwerte



B Richtwerte Standard values		Blatt Page 15a		Zusammenstellung von Belastungsgrenzen Listing of Tolerance Levels		
1 Gesamtorganismus Total organism	.2 Kopf Head	.3 Hals Neck	.4 Obere Gliedmaßen Upper extremities	.5 Rumpf Trunk	.6 Untere Gliedmaßen Lower extremities	
.7	.8	.9 wie angegeben as mentioned	.0 ohne Angabe no comment			
Quelle Source	Qu. Nr. Sou No	Sch Nr. Cod No	Art Typ	Bedingungen, Bemerkungen Conditions, Remarks	Richtung Direction	
1 Lowne u.a.	A 1976	226	8.1	0	Schutzkriterien an OPAT-Puppe für Gurtträger	
2 Brit. Standards	1968	112	8.2	0	Schädel, m = 4,5kg	x,y
3 Fayon u.a.	1976	100	8.2	0	Fallversuche z.T. mit Helm, HIC 1500 für Hybrid II	
4 Gadd	1966	116	8.2	0	Schädel-Hirn-Trauma, SI *), 50 % überleben SI = 1000	
5 Goegauf u.a.	1986	117	8.2	0	Richtwert für Pkw-Frontstruktur, Kopf:	
6 Langwieder u.a.	1979	210	8.2	0	aus Unfallanalyse (Gurtträger) kritische Belastung: HIC 1600	
7 Oskar Humanus	1970	429	8.2	0	Schädel, statisch	y
8 Oskar Humanus	1970	429	8.2	0	Schädel, statisch	x
9 Oskar Humanus	1970	429	8.2	0	Unterkiefer, statisch	y
10 Oskar Humanus	1970	429	8.2	0	Jochbein, statische Biegung	x
11 Patrick	1970	288	8.2	0	Schädel-Hirn-Trauma, HIC = 1000	
12 Petty u.a.	1985	299	8.2	0	Gesichtaufprall mit Kopfform (6,8kg), für 3ms	
13 SAE	1968	112	8.2	0	Schädel, m = 9kg, gemessen am Stoßgegenpol	x,y
14 SAE	1968	112	8.2	0	Schädel	x,y
15 SAE	1968	112	8.2	0	Schädel	x,y
16 SAE	1968	112	8.2	0	Gesicht, m = 9kg	x
17 VDA-ESV	1973	25	8.2	0	Schädel	x,y
18 VDA-ESV	1973	25	8.2	0	Gehirn, allgemeine Erträglichkeit	
19 Oskar Humanus	1970	429	8.4	0	Schlüsselbein, statischer Bruch	x
20 Oskar Humanus	1970	429	8.4	0	Schlüsselbein	y
21 Oskar Humanus	1970	429	8.4	0	Oberarm, statische Biegung	x,y
22 Oskar Humanus	1970	429	8.4	0	Speiche, statischer Druck	x
23 Oskar Humanus	1970	429	8.4	0	Speiche, statische Biegung	y,x
24 Oskar Humanus	1970	429	8.4	0	Elle, statische Biegung	y,x
25 Oskar Humanus	1970	429	8.4	0	Elle, statischer Druck	x
26 Oskar Humanus	1970	429	8.4	0	Oberarm, statischer Druck	z
27 Cesari u.a.	1982	54	8.5	0	Beckenbelastung über 3ms für 50 % - (bzw. 5 %) Puppe:	
28 Goegauf u.a.	1986	117	8.5	0	Richtwert für Pkw-Frontstruktur, Brust:	
29 Goegauf u.a.	1986	117	8.5	0	Richtwert für Pkw-Frontstruktur, Becken:	
30 Langwieder u.a.	1979	210	8.5	0	aus Unfallanalyse (Gurtträger) kritische Belastung: SI 1000	
31 Langwieder u.a.	1979	210	8.5	0	aus Unfallanalyse (Gurtträger) kritische Belastung: Becken:	
32 Leung u.a.	1982	217	8.5	0	Bauchbelastung bei besonderem Kraftaufnehmer	
33 NHSB	1970	35	8.5	0	Brustkorb, statische Biegung	x
34 NHSB	1970	35	8.5	0	Becken	x
35 SAE	1968	112	8.5	0	Brustkorb	x
36 VDA-ESV	1973	25	8.5	0	Brustkorb, m = 40kg, Messung über Sternum	x
37 VDA-ESV	1973	25	8.5	0	Becken	x
38 Walffisch u.a.	1985	407	8.5	0	Brustbeschleunigung für Hybrid II, für 3ms	
39 Goegauf u.a.	1986	117	8.6	0	Richtwert für Pkw-Frontstruktur, Unterschenkel:	
40 Oskar Humanus	1970	429	8.6	0	Oberschenkel, statischer Druck	x
41 Oskar Humanus	1970	429	8.6	0	Oberschenkel, statische Biegung	y
42 Oskar Humanus	1970	429	8.6	0	Kniescheibe, statischer Druck	x
43 Oskar Humanus	1970	429	8.6	0	Schienbein, statischer Druck	z
44 Oskar Humanus	1970	429	8.6	0	Schienbein, statische Biegung	x,y
45 Oskar Humanus	1970	429	8.6	0	Wadenbein, statischer Druck	z
46 Oskar Humanus	1970	429	8.6	0	Wadenbein, statische Biegung	x,y
47 SAE	1968	112	8.6	0	m = 23kg	x
48 Viano	1980	396	8.6	0	Oberschenkel-Bruchgrenze (steigend für kürzere Zeiten)	
49 VW-RA	1970	104	8.6	0	Oberschenkel	x

\*)  $SI = \int_0^t a^2 \cdot dt$



#### 4 Assessment of Recorded Tolerance Levels

Although it seems impossible to appreciate the data in the preceding tables properly and individually, we shall attempt to employ examples to indicate developments and a few studies will be mentioned.

Over the past decade, growing interest has been devoted to lateral impacts, once studied less frequently than frontal impacts. This is the case in the programme of the National Highway Traffic Safety Administration in the USA [442] as well as in a number of studies, e.g. those by Kallieris [178], Nahum [255] and Tarrière [372]. It is also apparent from the efforts to produce standards defining the requirements for test dummies in the case of lateral impact (ISO/TCC22/SC12). The European Communities in particular have produced extensive studies in this area.

The data on the tolerance levels of children were and still are regarded as inadequate. Stürtz [364] has supplied a summary of known values, and Wissmans [424] a report on one of the rare cadaver tests.

Studies from Pritz [305], Walsh [415] and Wagner [404] are available which compare the behaviour of cadavers and test dummies as well as volunteers and test dummies; Verriest [385] has studied corresponding differences of living and dead animals (pigs).

There are numerous reports on test dummies. A selection is mentioned here for the sake of completeness (report on: by):

AATD	:	Melvin	[236]
EUROSID	:	Neilson	[263]
HYBRID	:	Backaitis	[19]
		Foster	[108]
		Hubbard	[165]
		Seemann	[343]
OPAT	:	Lowne	[226]
SID	:	Morgan	[249]

The search for a relationship between measured values from dummy tests and injuries in road accidents leads to the term "transfer function". The idea was presented by Patrick and Andersson [448] in 1974 and prompted similar statements from a number of authors, e.g. Cesari [57], Hartemann [141], Kahane [172], Langwieder [210] and Lowne [226]. The implementation of such concepts presumes not only a comprehensive knowledge of tolerance levels but also a more accurate examination of the accident events on a broad base.

#### 4 Würdigung erfaßter Belastungsgrenzen

Wenngleich es unmöglich erscheint, die in den voranstehenden Tabellen gelieferten Angaben im Einzelnen zu würdigen, wird der Versuch unternommen, anhand von Beispielen auf Entwicklungen hinzuweisen und einige Arbeiten zu erwähnen.

Der ehemals im Vergleich zum Frontalaufprall seltener untersuchte Seitenaufprall hat in dem vergangenen Jahrzehnt ein zunehmendes Interesse gefunden. Das kommt ebenso zum Ausdruck in dem Programm der amerikanischen Verkehrssicherheitsbehörde [442] wie auch in einer Reihe von Untersuchungen, u.a. von Kallieris [178], Nahum [255], Tarrière [372] und in den Bemühungen, die Anforderungen an Versuchspuppen beim Seitenaufprall in Normen festzulegen (ISO/TC22/SC12). Umfangreiche Arbeiten auf diesem Gebiet sind insbesondere von den Europäischen Gemeinschaften geleistet worden.

Für die als unzureichend empfundenen Angaben über Belastungsgrenzen von Kindern bleibt die Situation unverändert. Stürzt [364] liefert eine Zusammenfassung bekannter Werte und Wis-mans [424] berichtet über einen der seltenen Leichenversuche.

Zum Vergleich des Verhaltens von Leichen und Versuchspuppen (dummies) sowie von Freiwilligen und Versuchspuppen gibt es Untersuchungen von Pritz [305], Walsh [415] sowie von Wagner [404]; entsprechende Unterschiede an lebenden und toten Tieren (Schweinen) untersucht Verriest [385].

Die Berichte über Versuchspuppen sind zahlreich; eine Auswahl davon wird hier der Vollständigkeit halber erwähnt, es berichten betreffend

AATD	:	Melvin	[236],
EUROSID	:	Neilson	[263],
HYBRID	:	Backaitis	[19],
		Foster	[108],
		Hubbard	[165],
		Seemann	[343].
OPAT	:	Lowne	[226],
SID	:	Morgan	[249].

Die Suche nach einer Verknüpfung von Meßwerten aus Dummy-Versuchen mit Verletzungen aus dem Unfallgeschehen führt auf den Begriff der Übertragungsfunktion. Der Gedanke war 1974 von Patrick und Andersson [448] vorgetragen worden und veranlaßte eine Reihe von Autoren zu ähnlichen Äußerungen, u.a. Cesari [57], Hartemann [141], Kahane [172], Langwieder [210], Lowne [226]. Eine Verwirklichung solcher Vorstellungen setzt nicht nur umfassendes Wissen über Belastungsgrenzen sondern auch eine genauere Betrachtung des Unfallgeschehens auf breiter Basis voraus.

#### 4.1 Total Organism

The examination of the organism as a whole stems Stapp [359] and his deceleration tests 30 years ago. More recently, the view of the totality has been pushed into the background in favour of a specific observation of endangered body regions. However, Jones et al. [170] find advantages in a combined criterion based on head loading (HIC) and chest deceleration when evaluating dummy tests of the NCAP<sup>1</sup>.

The total organism is occasionally examined in relation to restraint systems for vehicle occupants. Where the effects of force over a broad area is concerned, deceleration from 50 to 60 g is regarded as tolerable, even in the case of deceleration over a protracted period.

Studies have been conducted with different test specimens, for example:

- with volunteers:
  - Eiband [83]
  - Mertz [243]
  - Danner et al. [75]
- with cadavers:
  - Kallieris [183]
  - Schmidt et al. [339]
  - Cesari et al. [58]
- with animals:
  - Sonntage [352]
  - Mertz et al. [242]
- and as accident reconstructions:
  - DeHaven [76]
  - Snyder [350]
  - Gotzen et al. [123]

Compared to the drop tests of an artist as reported by Mertz, the impact tests with vehicles as described by Danner et al. closely approach reality, although the selected accident situation - rear impact at 50 km/h - keeps the amount of acceleration to a tolerable level. Tests of this type are still the exception.

---

<sup>1</sup> New Car Assessment Program of the American National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)

#### 4.1 Gesamtorganismus

Die Betrachtung des Gesamtorganismus geht zurück auf Stapp [359] und seine Verzögerungsversuche vor 30 Jahren. In neuerer Zeit tritt die gesamtheitliche Betrachtungsweise zugunsten einer gezielten Beobachtung von gefährdeten Körperregionen in den Hintergrund. Allerdings sehen Jones u.a. [170] Vorteile in einem kombinierten Kriterium aus Kopfbelastung (HIC) und Brustverzögerung bei der Auswertung von Dummy-Versuchen des NCAP<sup>1</sup>.

Der Gesamtorganismus wird gelegentlich im Zusammenhang mit Rückhaltevorrichtungen für Fahrzeuginsassen betrachtet. Bei großflächiger Krafteinwirkung gilt eine Verzögerung von 50 bis 60 g als ertragbar, auch bei längerer Verzögerungsdauer.

Untersuchungen mit verschiedenen Versuchsobjekten sind durchgeführt worden, so zum Beispiel:

- mit Freiwilligen:  
Eiband [83],  
Mertz [243],  
Danner u.a. [75],
- mit Leichen:  
Kallieris [183],  
Schmidt u.a. [339],  
Cesari u.a. [58],
- mit Tieren:  
Sonntag [352],  
Mertz u.a. [242],
- und als Unfallrekonstruktionen:  
DeHaven [76],  
Snyder [350],  
Gotzen u.a. [123].

Im Vergleich zu den von Mertz berichteten Fallversuchen eines Artisten kommen die von Danner u.a. beschriebenen Aufprallversuche mit Fahrzeugen der Realität recht nahe; wengleich die gewählte Unfallsituation - Heckaufprall mit 50 km/h - die Höhe der Beschleunigung auf einem ertragbaren Niveau hält. Versuche dieser Art bleiben die Ausnahme.

---

<sup>1</sup>New Car Assessment Program der amerikanischen Verkehrssicherheitsbehörde (NHTSA)

#### 4.2 Head

Aldman [6] provides a summarial survey of the biomechanics of head and neck injuries. He notes that the effects on the central nervous system due to deformations and relative movements of this body region during accidents have not as yet been fully clarified. Regarded as desirable is the use of shock-absorbing materials to prevent local deformation of the head. In addition, the resistance to shearing forces should be low where angular impact is involved, to avoid high angular acceleration (rotation) of the head (cf. Browne [37]).

Viano [397] furnishes a further survey of research work on head injuries. Nusholtz et al. [447] deal with the kinematics and the comparability of different test specimens.

Braun [34] finds that the skin over skull and face provides good protection and Swearingen [365] regards it as possible to avoid injury to bones in the head if the car interior is adequately padded.

Where vehicle occupants are in restraint systems, Tarrière [369] finds head injuries to be very uncommon as long as the occupants do not actually crack their heads. It is generally believed - as reported in the third issue of the USS series - that there is no basic relationship between skull fracture and brain concussion. Haynes [143] proves that fatal head injuries are possible even without fracturing the skull.

In comparative pedestrian tests, Cesari [53] notes fatal head injury at an HIC<sup>2</sup> of 1880 to 2550. Tarrière finds no skull-brain injuries up to an HIC of 1980. According to Chamouard et al. [61], no injury with a severity of AIS<sup>3</sup>  $\geq 3$  up occurs during drop tests on the lateral cranium with padding for HIC < 1223. However, both Newman [446] and Grösch [124] question the suitability of the HIC as a standard for evaluation.

The evaluation of head loading using the HIC and, more generally, according to the WSU<sup>4</sup> tolerance curve described by Patrick [293]

---

<sup>2</sup> Head Injury Criterion

<sup>3</sup> Abbreviated Injury Scale

<sup>4</sup> Wayne State University

## 4.2 Kopf

Zur Biomechanik der Kopf- und Hals-Verletzungen gibt Aldman [6] einen zusammenfassenden Überblick. Er stellt fest, daß die Auswirkungen auf das zentrale Nervensystem infolge von unfallbedingten Verformungen und Relativbewegungen dieser Körperregion noch nicht völlig geklärt sind. Als wünschenswert gilt der Einsatz von stoßabsorbierendem Material zwecks Vermeidung örtlicher Verformungen des Kopfes, gleichzeitig sollte der Widerstand gegen Scherkräfte bei schrägem Stoß gering sein, um hohe Winkelbeschleunigung (Rotation) des Kopfes zu vermeiden (vergleiche hierzu Browne [37]).

Einen weiteren Überblick zu Forschungsarbeiten über Kopfverletzungen liefert Viano [397]. Nusholtz u.a. [447] behandeln die Kinematik und die Vergleichbarkeit verschiedener Versuchsobjekte.

Der den Schädel und das Gesicht überziehenden Haut spricht Braun [34] eine gute Schutzwirkung zu und Swearingen [365] hält die Vermeidung von knöchernen Verletzungen des Kopfes bei einer ausreichenden Polsterung der Karosserieteile für möglich.

Bei Fahrzeuginsassen in Rückhaltevorrückungen findet Tarrière [369] nur sehr selten Kopfverletzungen, solange ein Kopfaufschlag vermieden wird. Nach allgemeiner Auffassung besteht - wie in Heft 3 der Reihe USS berichtet - kein prinzipieller Zusammenhang zwischen Schädelbruch und Gehirnerschütterung. Haynes [143] weist nach, daß tödliche Kopfverletzungen auch ohne Bruch des knöchernen Schädels möglich sind.

An Fußgängern beobachtet Cesari [53] tödliche Kopfverletzungen bei einem  $HIC^2$  von 1880 bis 2550. Keine Schädel-Hirn-Verletzungen findet Tarrière bis zu einem  $HIC$  von 1980. Nach Chamouard u.a. [61] tritt bei Fallversuchen auf das seitliche Schädeldach mit Polsterung für  $HIC < 1223$  keine Verletzungsschwere von  $AIS^3 > 3$  auf. Allerdings wird die Eignung des  $HIC$  als Bewertungsmaßstab von Newman [446] und auch von Grösch [124] in Frage gestellt.

Die Bewertung von Kopfbelastungen mittels des  $HIC$  und allgemeiner nach der  $WSU^4$ -Toleranzkurve, die Patrick

---

<sup>2</sup>Head Injury Criterion

<sup>3</sup>Abbreviated Injury Scale

<sup>4</sup>Wayne State University



has already been critically examined in earlier works by Gurdjian [135] and Hodgson [152]. In more recent tests on apes, Hodgson et al. [150] prove that the duration of unconsciousness may depend on the direction of impact.

Although Ono et al. [284] confirm the WSU tolerance curve at a relatively high acceleration level, such a curve does not identify the acceleration value of  $80 \alpha$  for protracted deceleration as an absolute boundary value for unconsciousness under accident conditions, but merely for the selected test procedure.

As far back as 20 years ago, Ommaya [283] recognized the importance of rotary movements for the load on the brain. The rotational accelerations ascertained are spread over a broad range despite numerous later studies such as Parker [285], Seelie [344], Nusholtz [269, 271], Ewing [93], Alem [13], Ommaya [280], Thibault [374], Stalnaker [358], Gennarelli [118] etc.

The pressure in the skull is being examined less in more recent studies (Ward [419-421]) than was previously the case: Nahum [253, 254], Sellier [112], Lissner [112], Haynes [112, 428], Braun [34]. Nahum et al. [253] note linearity between internal skull pressure and head acceleration during head impact tests.

Where impacts of very brief duration are involved, Kallieris [184] reports tissue damage due to cavitation. In tests with animals, Thibault et al. [374] note a destruction of nerve cells at an angular velocity of 150 rad./s and an angular acceleration of 15000 rad./s<sup>2</sup>.

For the bones of face, differing levels of fracture forces are named: Tarrière et al. [370] based on drop tests, 7700 N; Nyquist et al. [275] on the basis of impact tests, 3000 N. Here an injury to the nasal bone is not taken into account. Viano [392] and Grösch [124, 125, 444] report on a measurement of contact force or surface pressure on test dummies. Current, a boundary value of 150N/cm<sup>2</sup> is used in steering wheel impact tests.

Newman [264] proposes a Generalized Acceleration Model for Brain Injury Threshold (GAMBIT). Ward [418] recommends the method of the finite elements for researching brain injuries; Khalil and Viano [187] view this method critically.

[293] beschrieben hat, ist bereits in früheren Arbeiten von Gurdjian [135] und Hodgson [152] kritisch betrachtet worden. In neueren Versuchen an Affen weisen Hodgson u.a. [150] nach, daß die Dauer der Bewußtlosigkeit von der Stoßrichtung abhängig sein kann.

Wengleich Ono u.a. [284] die WSU-Toleranzkurve auf einem höheren Beschleunigungsniveau bestätigen, kennzeichnet eine solche Kurve den Beschleunigungswert von 80g für längere Verzögerungsdauer nicht als einen Grenzwert für Bewußtlosigkeit unter Unfallbedingungen schlechthin sondern nur für die gewählte Versuchsanordnung.

Bereits vor 20 Jahren erkannte Ommaya [283] die Bedeutung von Drehbewegungen für die Belastung des Gehirns. Trotz zahlreicher weiterer Arbeiten, u.a. Parker [285], Sellier [344], Nusholtz [269, 271], Ewing [93], Alem [13], Ommaya [280], Thibault [374], Stalnaker [358], Gennarelli [118], streuen die ermittelten Rotationsbeschleunigungen über einen weiten Bereich.

Die Beobachtung des Schädelinnendruckes findet in neueren Untersuchungen, Ward [419-421], seltener Beachtung als früher: Nahum [253, 254], Sellier [112], Lissner [112], Haynes [112, 428], Braun [34]. Nahum u.a. [253] stellen bei Stoßkörperversuchen Linearität zwischen Schädelinnendruck und Kopfbeschleunigung fest.

Bei Stößen von sehr kurzer Dauer berichtet Kallieris [184] von Gewebeschäden infolge Kavitation. Eine Zerstörung von Nervenzellen beobachten Thibault u.a. [374] in Tierversuchen bei einer Winkelgeschwindigkeit von 150 rad/s und einer Winkelbeschleunigung von 15000 rad/s<sup>2</sup>.

Für den Bereich des Gesichtsschädels werden Bruchkräfte in unterschiedlicher Höhe genannt: von Tarrière u.a. [370] aus Fallversuchen 7700 N, von Nyquist u.a. [275] aus Stoßkörperversuchen 3000 N, dabei ist eine Verletzung des Nasenbeins nicht in Betracht gezogen. Über eine Messung von Kontaktkraft bzw. Flächendruck an Versuchspuppen wird berichtet von Viano [392] und von Grösch [124, 125, 444]. Zur Zeit wird bei Lenkradaufprallversuchen mit einem Grenzwert von 150 N/cm<sup>2</sup> gearbeitet.

Newman [264] schlägt ein Generalized Acceleration Model für Brain Injury Threshold (GAMBIT) vor. Die Methode der finiten Elemente empfiehlt Ward [418] zur Erforschung von Hirnverletzungen; dieser Weg wird von Khalil und Viano [187] kritisch gesehen.

#### 4.3 Neck

In the literature study published ten years ago (issue 3 of the USS series), the observation was made "that it has not as yet been possible to determine an acceptable specified tolerance because the movements and loads of the neck are manifold by nature". Hodgson [151] goes one step further, questioning whether boundary values should even be defined for neck loading. In summarial form, Nusholtz [270] examines motive behaviour and loads on the cervical vertebral column on the basis of drop tests onto the cranium.

The following angles of tolerable neck flexion (between head and top thoracic spine) were specified at that time:

- forward 60°-70°
- to rear 80°-90°
- lateral 60°-70°

Mertz [241, 244], Marotzky [230] and Foust [110] studied the magnitude and effect of neck muscle strength. Jarosch [168] and Göqler [110] reported different views on the protective effect of muscular tension.

On the basis of studies on the longitudinal load capacity of the cervical vertebral column, Ziffer [436-440] arrived at a tolerance level of 12-14 g. In tensile tests with forces of 600-900 N, Sances [328] discovers injuries and, at 3780 N, a cranial ring fracture. Such mortal injuries were also described by Burow [44] and Tarrière [369] for body decelerations of 66-100 g.

Sled tests with volunteers were performed in various directions of motion by Ewing [91-93], Muzzy III [250] and Wismans [426, 427], where accelerations of up to 15 g were deemed tolerable.

In the animal test, Lenox et al. [213] disclose spinal cord damage at a force of less than 600 N. During a tensile test by Sances [328] on isolated human spinal cord, forces of 167-389 N were developed.

During impact tests with 93 cadavers (as pedestrians) and various passenger cars, Cesari [50] noted neck injuries in the speed range 20-39 km/h. Cheng [65] discovered a broken neck during sled tests

#### 4.3 Hals

Vor einem Jahrzehnt war in der vorangegangenen Literaturstudie (Heft 3 der Reihe USS) festgestellt worden, "daß bisher keine gut anwendbare Toleranzangabe bestimmt werden konnte, weil die Bewegungen und Belastungen des Halses sehr vielfältig sind". Hodgson [151] geht in seiner Aussage noch einen Schritt weiter, indem er die Festlegung von Grenzwerten der Halsbelastung grundsätzlich in Frage stellt. Zusammenfassend betrachtet Nusholtz [270] das Bewegungsverhalten und die Belastungen der Halswirbelsäule anhand von Fallversuchen auf das Schädeldach.

Für die ohne Verletzung ertragbaren Beugungswinkel des Halses (zwischen Kopf und oberem Brustwirbel) waren seinerzeit angegeben worden:

- vorwärts 60-70°
- rückwärts 80-90°
- seitwärts 60-70°.

Größe und Wirkung von Halsmuskelkräften haben Mertz [241, 244], Marotzky [230] und Foust [110] untersucht. Über die Schutzwirkung der Muskelanspannung teilen Jarosch [168] und Gögler [110] unterschiedliche Auffassungen mit.

Aus Untersuchungen der Längsbelastbarkeit der Halswirbelsäule gelangt Ziffer [436-440] zu einer Toleranzgrenze von 12-14g. Sances [328] findet bei Zugversuchen unter Kräften von 600-1900 N Verletzungen und bei 3780 N eine Schädelringfraktur. Solche tödlichen Verletzungen haben auch Burow [44] und Tarrière [369] beschrieben für Körperverzögerungen von 66-100g.

Schlittenversuche mit Freiwilligen werden in verschiedenen Bewegungsrichtungen durchgeführt von Ewing [91-93], Muzzy III [250], Wismans [426,427], dabei gelten Beschleunigungen bis zu 15g als erträglich.

Im Tierversuch zeigen Lenox u.a. [213] eine Schädigung des Rückenmarks bei einer Kraft von weniger als 600N; bei einem Zugversuch von Sances [328] an isoliertem menschlichen Rückenmark ergeben sich Kräfte von 167-389N.

Bei Aufprallversuchen mit 93 Leichen (als Fußgänger) an verschiedenen Pkw beobachtet Cesari [50] Halsverletzungen im Geschwindigkeitsbereich von 20-39 km/h. Einen Genickbruch findet Cheng [65] bei Schlittenversuchen nach

according to the FMVSS<sup>5</sup>, with chest and knee padding.

Wismans et al. [425] regard as two-jointed substitute system to be suitable for describing the head and neck movements observed on volunteers during impact tests from different directions. Bosio et al. [32] reported on the development of a mathematical (head and neck) model.

#### 4.4 Upper Extremities

The literature perused contains very few studies on the tolerance levels of the upper extremities, although a century lies between the studies by Messerer [247] on the static longitudinal fracture strength of the clavicle and the determination by Marcus et al. [229] of the shoulder force curve. Obviously, the injuries in this body region play a minor role in road accidents.

#### 4.5 Trunk

The study of injuries to bones in the thorax occupies a broad scope in the research of biomechanical tolerance levels. In the previous study of the literature it was already noted that "the scatter of tolerance values involved in injury of the thorax is especially broad due to the complexity of the system".

During tests on sleds and with impactors, Patrick [288, 290] and Burow [45] employ different impact areas to arrive at boundary fracture loads of 4500 N. In the process, dependencies were observed relating to the build of the cadavers, age, the impact point and the conditions of impact. Where the impact point is low (below the sixth rib), organ injuries are noted; at relatively high speeds, secondary injuries occurred due to broken ribs.

Under loading due to belt or steering wheel, the tolerance levels named are:

- by Tarrière [369] and TRRL [378], the compression of 45 to 60 mm,

---

<sup>5</sup> Federal Motor Vehicle Safety Standard

FMVSS<sup>5</sup> 208 mit Brust- und Kniepolster.

Wismans u.a. [425] halten ein Zwei-Gelenk-Ersatzsystem für geeignet zur Beschreibung der an Freiwilligen bei Aufprallversuchen verschiedener Richtung beobachteten Kopf-Hals-Bewegungen. Über die Entwicklung eines mathematischen (Kopf-Hals-) Modells berichten Bosio u.a. [32].

#### 4.4 Obere Gliedmaßen

Die durchgesehene Literatur enthält nur wenige Arbeiten zu Belastungsgrenzen der oberen Gliedmaßen, obwohl zwischen den Untersuchungen von Messerer [247] zur statischen Längsbruchkraft des Schlüsselbeins und der Ermittlung des Schulterkraftverlaufs durch Marcus u.a. [229] ein Jahrhundert liegt. Offensichtlich spielen die Verletzungen dieser Körperregion im Unfallgeschehen auf der Straße eine untergeordnete Rolle.

#### 4.5 Rumpf

Die Untersuchung von Verletzungen des knöchernen Brustkorbs nimmt bei der Erforschung biomechanischer Belastungsgrenzen breiten Raum ein; schon bei der vorangegangenen Literaturstudie war aufgefallen, daß "die Streubreite der Toleranzwerte bei Schädigung des Brustkorbs wegen der Komplexität des Systems besonders hoch" sei.

Bei Versuchen auf Schlitten und mit Stoßkörpern unter Verwendung unterschiedlicher Aufprallflächen finden Patrick [288,290] und Burow [45] Grenzbruchlasten von 4500N. Dabei ergeben sich Abhängigkeiten vom Körperbau der Leichen, vom Alter, von der Aufprallstelle und den Stoßbedingungen. Bei niedriger Aufprallstelle (unterhalb der sechsten Rippe) werden Organverletzungen beobachtet; bei höheren Geschwindigkeiten entstehen Folgeverletzungen durch gebrochene Rippen.

Unter Belastung durch Gurt oder Lenkrad werden als Toleranzgrenzen genannt:

- von Tarrière [369] und TRRL [378] die Eindrückung von 45 bis 60 mm,

<sup>5</sup>Federal Motor Vehicle Safety Standard

- by Grattan [129] and Patrick [290], the horizontal force of 5800 to 8500 N,
- by Patrick [294] and Wall [413], the thorax acceleration of 40 to 60 g/3 ms.

In a large number of cadaver tests conducted at the University of Heidelberg, Schmidt [334-340] and Kallieris [175-184] again clarified the affect of age on the tolerance levels. French studies such as those of Sacreste [327] and Tarrière [367-372] also emphasize the importance of age-dependent bone condition.

According to Morgan [249], the application of the Thorax Trauma Index (TTI) to the Heidelberg data above confirmed its suitability. In determining a risk of injury, the TTI takes into account the age and weight of a test person as well as the acceleration of dorsal and and thoracic spine during a lateral impact.

For both lateral and for frontal compression by belts, Walfisch [406] specifies a limit of 30%. Back in 1978, Viano [395] already specified a max. permissible compression of 32%.

Lau and Viano [212] offer a comprehensive presentation of the viscous criterion (VC), the product of velocity of compression and the actual extent of relative compression. According to their study,  $(V \times C)_{max} = 1$  ms refers to a 25% probability of a severe chest injury of AIS  $\geq 4$  in the event of a blunt frontal impact.

Wall [413] compares the chest loading of test dummies to data during accidents, Backaitis [19] to observations with volunteers. Summarial reports are provided by Eppinger [84-86], Patrick [286], Robbins [318], Verriest [384] and Viano [394].

Roberts [320], Hanson [140] and Nahum [256] have pointed out relative movements of the heart within the thorax as a cause of injury. Tarrière [369] reports ruptures of the aorta in 10% to 20% of fatal thorax injuries. In animal tests at high speeds, Kroell et al. [198] discovered heart ruptures at 15% compression. In connection with lung contusions, Langdon [205] supports the shock wave theory for changes in speed of more than 10 m/s.

Kallieris et al. [176] noted ruptures of the liver in the case of passenger car occupants subjected to impact from the right at an

- von Grattan [129] und Patrick [290] die Horizontalkraft von 5800 bis 8500N,
- von Patrick [294] und Wall [413] die Thoraxbeschleunigung von 40 bis 60g/3 ms.

Bei einer großen Zahl von Leichenversuchen an der Universität Heidelberg verdeutlichen Schmidt [334-340] und Kallieris [175-184] erneut den Alterseinfluß auf die Belastungsgrenzen. Auch französische Untersuchungen, z.B. Sacreste [327], Tarrière [367-372], betonen die Bedeutung der altersabhängigen Knochenkondition.

Nach Morgan [249] hat die Anwendung des Thorax-Trauma-Index (TTI) auf die erwähnten Heidelberger Daten dessen Tauglichkeit bestätigt. Der TTI berücksichtigt zur Ermittlung eines Verletzungsrisikos Alter und Gewicht einer Testperson sowie Rippen- und Brustwirbelsäulen-Beschleunigung bei seitlichem Stoß.

Sowohl für seitliche wie auch für frontale Eindrückung mittels Gurten gibt Walfisch [406] eine Grenze von 30% an. Schon 1978 hat Viano [395] eine höchste zulässige Eindrückung von 32% genannt.

Lau und Viano [212] bieten eine zusammenfassende Darstellung des Viskositäts-Kriteriums (VC), dem Produkt aus Geschwindigkeit (Velocity) der Eindrückung und dem eigentlichen Ausmaß der relativen Eindrückung (Compression). Nach ihren Ausführungen entspricht  $(V \cdot C)_{\max} = 1 \text{ m/s}$  einer 25% Wahrscheinlichkeit einer schweren Brustverletzung von  $\text{AIS} \geq 4$  beim stumpfen Frontalstoß.

Die Brustbelastung von Versuchspuppen vergleichen Wall [413] mit Angaben bei Unfällen und Backaitis [19] mit Beobachtungen an Freiwilligen. Zusammenfassend berichten Eppinger [84-86], Patrick [286], Robbins [318], Verriest [384] und Viano [394].

Auf Relativbewegungen des Herzens innerhalb des Brustkorbes haben Roberts [320], Hanson [140] und Nahum [256] als Verletzungsursache hingewiesen; Tarrière [369] berichtet über Aortarisse bei 10 bis 20% der tödlichen Thoraxverletzungen. Bei hohen Geschwindigkeiten finden Kroell u.a. [198] im Tierversuch Herzrupturen bei 15% Eindrückung. Im Zusammenhang mit Lungenkontusionen wird von Langdon [205] die Stoßwellentheorie vertreten für Geschwindigkeitsänderungen größer als 10 m/s.

Leberrisse beobachten Kallieris u.a. [176] bei rechts gestoßenen Pkw-Insassen ab einer Beschleunigung von 75g, sie vermuten bei links gestoßenen Pkw-Insassen einen



acceleration of 75 g or more; they suspect a value of 150 g in the case of occupants of cars struck from the left. Patrick [288], Stalnaker [356] and Dotzauer [78] also report on tests with safety belts. Kidd [188], Daimotas [74] and Walfisch et al. [407] describe injuries caused by restraint systems.

Leung et al. [217] and Walfisch et al. [408] delve into the problem of submarining. A value of approx. 400 N is specified by Melvin [240] and Fazekas [115] as the tolerance level for the abdomen. Synder [349] and Wall [412, 413] also name lower values, whereas Walfisch [408] discovers no injury on cadavers at belt forces under 2000 N. Stalnaker [357] provides a survey of abdominal injuries. Nusholtz et al. [268] report on injuries caused by striking the steering wheel.

In the back area, Myklebust et al. [251] conduct various studies with longitudinal loading of the spine. Nagel et al. [252] reported on fractures in the lumbar vertebral column during accident simulation with a pelvic belt.

#### 4.6 Lower Extremities

Numerous studies deal with the load capacity of the lower extremities, albeit from the aspect of a multitude of impact directions and different test procedures (pedestrians, bicyclists, vehicle occupants). Viano et al. [389] draw distinctions between three cases of loading on the bent knee alone.

According to Patrick [290], a pelvic fracture load of 7400 N is the applicable tolerance level when force is applied in the knee. Kroell [201] discovers 25% pelvic fractures due to knee impact against buffer in the 5000 - 10000 N range. On the other hand, Stalnaker [357] does not find any fracture under 13000 N when the knee is struck by an impact piston. Foret-Bruno [107] specifies a 50% frequency of pelvic fractures among occupants for a speed difference of 46 km/h.

Where lateral impact on the pelvis is concerned, Tarrière [371] discovered accelerations of up to 80 g with no injuries being incurred; based on accident reconstructions [368], he suspects a boundary value of 100 g. In impact tests, Cesari [54, 56] discovers not only great fluctuations of the fracture forces but sex-related differences as well.

As summarial works, let us name Haffner [137] for the pelvis, Viano [396] for the femur, Viano [389] for the knee and Nyquist [276] for the tibia.

The tolerance levels for the femur are described with an ascending tendency from 6200 to 8370 (max. 11570) in a series of earlier

Wert von 150g. Über Versuche mit Sicherheitsgurten berichten auch Patrick [288], Stalnaker [356] und Dotzauer [78]; Kidd [188], Dalmotas [74] und Walfisch u.a. [407] beschreiben Verletzungen durch Rückhaltesysteme.

Mit der Frage des Submarining beschäftigen sich Leung u.a. [217] und Walfisch u.a. [408]. Als Toleranzgrenze für den Bauch haben Melvin [240] und Fazekas [115] etwa 400N angegeben. Auch Snyder [349] und Wall [412,413] nennen niedrige Werte, hingegen findet Walfisch [408] bei Gurtkräften unter 2000N an Leichen keine Verletzungen. Einen Überblick zu Bauchverletzungen gibt Stalnaker [357]. Über Verletzungen infolge Lenkradaufprall berichten Nusholtz u.a. [268].

Im Rückenbereich führen Myklebust u.a. [251] verschiedene Untersuchungen mit Längsbelastung der Wirbelsäule durch; Nagel u.a. [252] haben über Frakturen im Lendenwirbelsäulen-Bereich bei der Unfallsimulation mit Beckengurt berichtet.

#### 4.6 Untere Gliedmaßen

Zahlreiche Untersuchungen beschäftigen sich mit der Belastbarkeit der unteren Gliedmaßen, wobei allerdings die Vielfalt der Stoßrichtungen und Versuchsanordnungen (Fußgänger, Zweiradfahrer, Fahrzeuginsassen) zu beachten ist. Viano u.a. [389] unterscheiden allein am gebeugten Knie drei Belastungsfälle.

Nach Patrick [290] gilt bei Krafteinleitung im Knie eine Beckenbruchlast von 7400N als Toleranzgrenze. Kroell [201] findet 25% Beckenbrüche infolge Knieaufpralls auf Puffer im Bereich von 5000 - 10000N. Hingegen stellt Stalnaker [357] bei Knieaufprall mittels Stoßkolbens keinen Bruch fest unter 13000N. Eine 50% Häufigkeit des Beckenbruchs bei Insassen gibt Foret-Bruno [107] an für einen Geschwindigkeitsunterschied  $\Delta v$  von 46 km/h.

Bei seitlichem Aufprall des Beckens hat Tarrière [371] Beschleunigungen bis zu 80g ohne Verletzung ermittelt; aufgrund von Unfallrekonstruktionen [368] vermutet er einen Grenzwert von 100g. Cesari [54, 56] stellt bei Stoßkörperversuchen nicht nur beträchtliche Schwankungen der Bruchkräfte sondern auch geschlechtsbezogene Unterschiede fest.

Als zusammenfassende Arbeiten seien genannt für das Becken Haffner [137], für das Bein Viano [396], für das Knie Viano [389] und für die Tibia Nyquist [276].

Die Belastungsgrenzen des Femur werden in einer Reihe von älteren Arbeiten, - Patrick [290], Cornell Aeronau-

studies - Patrick [290], Cornell Aeronautical Laboratory [71], TRRL [378], King [192], Cooke [68] and Powell [302]. Viano [396] points out that the breaking point increases as impact times decrease shorter and he specifies a range of  $8900 \pm 2000$  N. Leung et al. [214] arrive at clearly lower values in the case of pressure loading on test specimens, especially where flex loading is involved. On the basis of animal tests, Sauter et al. [331] reported on the danger of a fat embolism following femur loading.

According to Rybicki et al. [325], clear influences of muscular exertion on the tension relationships are to be anticipated in the case of the femur because of its asymmetrical form.

For the knee region, Viano et al. [388] specify a force of 6200 N which was borne without damage during sled tests with belt and knee padding. On the other hand, forces under 1000 N and speeds under 15 km/h are viewed as damaging by Aldman et al [4] in tensile tests and by Bunketorp et al [40] in case of impact near the knee.

The tolerance level of the lower leg is 4300 N in case of frontal impact according to Kramer [196] as confirmed by Snyder [350], 16000 N in case of lateral impact according to Tarrière [369]. On the other hand, under various impact conditions Stalnaker et al. [357] discover both damage at 1800 N and no damage at 22000 N. Accordingly, the suggestion by Aldman et al. [7] of a maximum impact force of 1000 N for the adult pedestrian appears reasonable for the requirements - especially when the neighbouring knee region is taken into account.

#### 4.7 Tissues

Following an earlier literature study (issue 3 of the USS series), the strength of the epidermis of the human body is determined under the most varied test conditions by Nahum [257, 259] and Patrick [291], without it being possible to derive a meaningful individual value in this manner. There is little change in this situation using the injury resistance defined by Leung et al. [215].

The tests performed on individual bones or bone parts, on tendons and on nerves may be suitable to clarify the basic relationships. When a section is examined in isolation, however, the question

tical Laboratory [71], TRRL [378], King [192], Cooke [68], Powell [302] -, von 6200 bis 8730N (maximal 11570) mit steigender Tendenz beschrieben. Viano [396] verweist auf die mit kürzeren Stoßzeiten ansteigende Bruchgrenze und nennt einen Bereich von 8900 ± 2000N. Bei Druckbelastung an Probestücken und insbesondere bei Biegebelastung gelangen Leung u.a. [214] zu deutlich geringeren Werten. Sauter u.a. [331] berichten aus Tierversuchen über die Gefahr einer Fettembolie nach Femurbelastung.

Nach Rybicki u.a. [325] sind beim Femur aufgrund seiner unsymmetrischen Form durch das Anspannen von Muskeln deutliche Einflüsse auf die Spannungsverhältnisse zu erwarten.

Für die Knieregion geben Viano u.a. [388] eine Kraft von 6200N an, die bei Schlittenversuchen mit Gurt und Kniepolster ohne Schaden ertragen wurde, während Aldman u.a. [4] bei Zugversuchen und Bunketorp u.a. [40] bei knienahem Stoß Kräfte unter 1000N und Geschwindigkeiten unter 15 km/h als schadenverursachend sehen.

Als Belastungsgrenze des Unterschenkels gilt bei frontalem Stoß eine Kraft von 4300N nach Kramer [196] und bestätigt durch Snyder [350], bei seitlichem Stoß werden von Tarrière u.a. [369] 16000N angegeben. Hingegen finden Stalnaker u.a. [357] unter verschiedenen Aufprallbedingungen sowohl Schäden bei 1800N als keine Schäden bei 22000N. Demnach erscheint der Vorschlag von Aldman u.a. [7] mit einer maximalen Stoßkraft von 1000N für den erwachsenen Fußgänger als den Erfordernissen angemessen - insbesondere unter Rücksichtnahme auf die benachbarte Knieregion.

#### 4.7 Gewebeteile

Einer früheren Literaturstudie (Heft 3 der Reihe USS) folgend ist die Festigkeit der Oberhaut des menschlichen Körpers unter den verschiedensten Versuchsbedingungen bestimmt worden von Nahum [257, 259] und Patrick [291], ohne daß sich daraus ein aussagefähiger Einzelwert ableiten läßt. Auch mit dem von Leung u.a. [215] definierten Verletzungswiderstand ändert sich an dieser Situation wenig.

Die an einzelnen Knochen oder Knochenteilen, an Sehnen (Bändern) und an Nerven durchgeführten Versuche können zur Erhellung von grundsätzlichen Zusammenhängen geeignet sein. Bei der isolierten Betrachtung eines Aus-

always arises as to how the part would have behaved in connection with the whole. The examination of bone samples is of particular importance for the determination of load capacity in tests with cadavers which varies as a function of age: Sacreste [327] and Schmidt [335].

## 5 Summary and Conclusions

The nucleus of the publication used as a basis (issue 3 of the USS series) is numerical data of various kinds which appeared suitable for describing biomechanical tolerance levels and were therefore presented in synoptical tables arranged according to individual body regions. Those synoptical tables are also part of the present study, where they are twice the size. First, the corresponding numerical data from the following decade (until 1986) are added. The further data (original tables) from this period are provided in an appendix to be used to confirm or estimate tolerance levels.

The number of sources included increased from 221 to 449. To provide a clear survey despite this, the tables have been reorganized and accommodated to the needs of computerized word processing, without the contents suffering.

The numerical data compiled here illustrate diverse research activities within the scope of numerous studies. However, they did not bring about any obvious breakthrough to new knowledge of biomechanical tolerance levels during the past decade.

Exceptionally numerous factors determine not only the real-life accident but also the scientific studies in which such accidents are simulated. These factors have to be differentiated according to person- or specimen-related factors as well as those resulting from the particular situation. Since persons and situations differ, no generally valid tolerance level can be set at this time.

The perusal of a large number of publications confirms the finding of Aldmann et al. [11] in 1983 that the meaningfulness of many studies suffers from excessive parameter variation accompanied by an inadequate number of tests.

The difficulties to be taken into consideration in connection with scatters and influential factors are of a fundamental nature and in the case of biomechanical tolerance level they mark a critical point of contact between biology and technology. Here, the technician has to accept the fact that different rules apply for

schnittes stellt sich jedoch stets die Frage, wie sich das Teilstück im Verbund mit dem Ganzen verhalten hätte. Von besonderer Bedeutung ist die Untersuchung von Knochenproben zur Bestimmung der altersbedingt schwankenden Belastungsfähigkeit bei Versuchen mit Leichen; Sacreste [327], Schmidt [335].

## 5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Den Kern der zugrundeliegenden Veröffentlichung (Heft 3 der Reihe USS) bildeten Zahlenangaben verschiedener Art, die zur Beschreibung biomechanischer Belastungsgrenzen geeignet erschienen und darum in Übersichtstabellen nach einzelnen Körperregionen geordnet mit Quellenangaben dargestellt wurden. Jene Übersichtstabellen sind auch Bestandteil der vorliegenden Arbeit und erfahren darin eine zweifache Erweiterung, indem zunächst die entsprechenden Zahlenangaben aus dem folgenden Jahrzehnt (bis 1986) ergänzt und zusätzlich in einem Anhang weitere Angaben (Original-Tabellen) aus dieser Zeit aufgeführt werden, die zur Bestätigung oder Abschätzung von Belastungsgrenzen dienen.

Die Anzahl der erfaßten Quellen erhöhte sich von 221 auf 449. Um dennoch eine gute Übersicht zu bieten, wurden die Tabellen neu gegliedert und bei Vermeidung inhaltlicher Einbußen den Bedürfnissen einer maschinellen Textverarbeitung angepaßt.

Die hier zusammengetragenen Zahlenangaben veranschaulichen vielfältige Forschungstätigkeiten im Rahmen zahlreicher Untersuchungen, sie brachten jedoch für den Zeitraum des zurückliegenden Jahrzehnts keinen auffälligen Durchbruch zu neuem Wissen über biomechanische Belastungsgrenzen.

Außerordentlich zahlreiche Einflüsse bestimmen nicht nur das reale Unfallgeschehen sondern auch die wissenschaftlichen Untersuchungen zur Simulation solcher Unfälle. Bei diesen Einflüssen ist zu unterscheiden zwischen personen- oder objektbezogenen und situationsbedingten Einflüssen. Angesichts der Verschiedenartigkeit von Personen und Situationen läßt sich zur Zeit keine allgemein gültige Belastungsgrenze festlegen.

Die Durchsicht einer großen Zahl von Veröffentlichungen bestätigt die im Jahr 1983 von Aldman u.a. [11] getroffene Feststellung, daß die Aussagekraft zahlreicher Untersuchungen an einer zu großen Parametervariation bei zu geringer Versuchsanzahl leidet.

Die hier im Zusammenhang mit Streuungen und Einflußfaktoren zu betrachtenden Schwierigkeiten sind von grundsätzlicher Art, und sie kennzeichnen im Falle der biomechanischen Belastungsgrenze eine kritische Berührungsstelle zwischen Biologie und Technik. Dabei muß der Techniker akzeptieren, daß für

living tissue than for dead materials. Although the use of technical equipment and procedures - such as those in materials testing - may yield exact measurements with biological specimens, the figures ascertained apply primarily for the specific conditions and specimens in question. The transferability of such test results to real-life accident events is limited.

When biomechanical relationships are examined under the conditions of an accident, it must be assumed that no biomechanical tolerance levels can exist in the sense of materials technology, according to which properties of a material can be so described in a standardized test procedure that it is possible to compute strengths of engineering designs.

Against this background and since decisions have to be made on future safety measures, it appears expedient to examine the available test results. In this process, attention is paid both to the data published as tolerance levels and to other test results mentioned which may help clarify a relationship between loads and injuries.

As always, the standardized impact tests with dummies are important for evaluating safety measures in automotive engineering. The necessity of evaluating envisaged engineering solutions in terms of their future usefulness and disadvantages makes it necessary to employ suspected or asserted protection criteria on complicated test dummies as standards and to employ all available findings from tests with volunteers, cadavers, animals and substitute models to substantiate such criteria - for safety's sake and in the hope that the subsequent analysis of the accident events will confirm that the decision reached was correct.

Even though some of the practical studies will eventually be replaced by computer-aided theoretical simulation programs, the biomechanical studies of the type recorded here are indispensable for evaluating such simulations. It is equally imperative that the measures in automotive engineering which have been taken on the basis of biomechanical findings to protect road users be checked against real-life accident data, especially data on the consequences of injuries.

lebendes Gewebe andere Regeln gelten als für tote Werkstoffe. Zwar vermag die Anwendung von technischen Geräten und Verfahren - wie sie die Materialprüfung bietet - auch bei biologischen Prüfmustern exakte Meßergebnisse zu liefern, doch gelten die ermittelten Zahlenwerte vorrangig für die jeweiligen Bedingungen und Objekte. Die Übertragbarkeit derartiger Versuchsergebnisse auf das tatsächliche Unfallgeschehen ist begrenzt.

Bei der Betrachtung biomechanischer Zusammenhänge unter den Bedingungen eines Unfalls muß davon ausgegangen werden, daß es keine biomechanischen Belastungsgrenzen in dem Sinne der Werkstoffkunde geben kann, wonach in einem genormten Prüfverfahren Eigenschaften eines Werkstoffes so beschreibbar werden, daß sich Festigkeiten von technischen Konstruktionen berechnen lassen.

Vor diesem Hintergrund und im Hinblick auf Entscheidungen über zukünftige Sicherheitsmaßnahmen erscheint eine Sichtung der verfügbaren Versuchsergebnisse zweckdienlich. Dabei finden sowohl die als Belastungsgrenzen veröffentlichten Angaben Beachtung als auch andere mitgeteilte Versuchsergebnisse, die zur Klärung eines Zusammenhangs zwischen Belastungen und Verletzungen beitragen können.

Nach wie vor haben für die Bewertung von fahrzeugtechnischen Sicherheitsmaßnahmen die typisierten Aufprallversuche mit Puppen eine große Bedeutung. Die Forderung, geplante technische Lösungen auf ihren zukünftigen Nutzen und Schaden abschätzen zu müssen, zwingt dazu, vermutete oder behauptete Schutzkriterien an komplizierten Versuchspuppen als Maßstäbe einzusetzen und zur Untermauerung solcher Kriterien alle verfügbaren Erkenntnisse aus Versuchen mit Freiwilligen, Leichen, Tieren und Ersatzmodellen heranzuziehen, - zur Absicherung und in der Hoffnung, daß die spätere Analyse des Unfallgeschehens die getroffene Entscheidung als richtig bestätigen wird.

Auch wenn in Zukunft ein Teil der praktischen Untersuchungen durch theoretische Simulationen anhand von Rechnerprogrammen ersetzbar sein wird, bleiben zur Bewertung solcher Simulationen biomechanische Untersuchungen der hier erfaßten Art unentbehrlich. - Ebenso unverzichtbar bleibt eine Überprüfung kraftfahrzeugtechnischer Maßnahmen, die zum Schutz von Verkehrsteilnehmern auf Grund biomechanischer Erkenntnisse getroffen wurden, anhand realer Unfalldaten, insbesondere der Verletzungsfolgen.



6 Bibliography

The bibliography contains 441 publications arranged alphabetically by author. Eight further publications are named in an addendum.

6 Literaturverzeichnis

Das Literaturverzeichnis erfaßt 441 Veröffentlichungen, die nach Verfassern alphabetisch geordnet sind. In einem Nachtrag werden weitere 8 Veröffentlichungen genannt.

- ( 1 ) Abel, J. M., Gennarelli, T. A., Segawa, H.  
Incidence and severity of cerebral concussion in the rhesus monkey following sagittal plane angular acceleration  
Conf. Proc. 22th Stapp, 1978
- ( 2 ) Adomeit, D.  
Evaluation methods for the biomechanical quality of restraint systems during frontal impact  
Conf. Proc. 21st Stapp, 1977
- ( 3 ) Advani, S.H., Powell, W.R., Huston, J., Ojala, S.J.  
Human head impact response  
Conf. Proc. 2nd IRCOBI, 1975
- ( 4 ) Aldman B. et al  
An experimental model system for the study of lower leg and knee injuries in car pedestrian accidents  
8th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Wolfsburg, 1980
- ( 5 ) Aldman, B.  
Synthesis report of the EEC biomechanics programme  
Biomechanics of impacts in road accidents (proceedings), Commission of the European Communities, Luxembourg, 1984
- ( 6 ) Aldman, B.  
An analytical approach to the impact biomechanics of head and neck injury  
Conf. Proc. 30th American Association for Automotive Medicine, 1986
- ( 7 ) Aldman, B., Bunketorp, O.  
Experimental study on human adult pedestrians in frontal impacts  
Biomechanics of impacts in road accidents (proceedings), Commission of the European Communities, Luxembourg, 1984
- ( 8 ) Aldman, B., Kojzer, J., Anderlind, T., Moimqvist, M., Mellander, H., Turbell, T.  
Load transfer from the striking vehicle in side and pedestrian impacts  
10th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 9 ) Aldman, B., Kojzer, J., Bunketorp, O., Eppinger R.  
An experimental study of a modified compliant bumper  
10th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 10 ) Aldman, B., Lundell, B., Thorngren, L., Bunketorp, O., Romanus, B.  
Physical simulation of human leg-bumper impacts  
Conf. Proc. 4 th IRCOBI, 1979, S. 232-242
- ( 11 ) Aldman, B., Mellander, H., Mackay, M.  
The structure of European research into the biomechanics of impacts  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 12 ) Alem, N. M., Bowman, B. M., Melvin, J. W., Benson, J. B.  
Whole-body human surrogate response to three-point harness restraint  
Conf. Proc. 22th Stapp, 1978
- ( 13 ) Alem, N.M., Nusholtz, G.S., Melvin, J.W.  
Head and neck response to axial impacts  
Conf. Proc. 28 th Stapp, 1984, S. 275 ff.

- ( 14 ) Amtmann, E.  
The distribution of breaking strength in the human femur shaft  
J. Biomechanics, 1968, 1, 4, S. 271 - 278
- ( 15 ) Arnold, G.  
Die Strecksehnen des Fußes im Schlagversuch  
Anatomischer Anzeiger, 132, 1972, S. 53-60
- ( 16 ) Asang, E.  
Biomechanik des Beins in der Skitraumatologie  
Monatsschrift Unfallheilkunde 2/78, 1975, S. 58-71
- ( 17 ) Asang, E., Pasch, P., Engelbrecht, R.  
Experimentelle Untersuchungen über die Bruchfestigkeit des menschlichen Schienbeins  
Msch. Unfallheilkunde 8/72, 1969, S. 336-344
- ( 18 ) Ashton, S.J., Mackay, G.M., Gloyns, P.F., Hardy, J.L.G.  
Eye injury in road traffic accidents  
Conf. Proc. 1st IRCOB1 1973
- ( 19 ) Bockaitis, S. H., St.-Laurent, A.  
Chest deflection characteristics of volunteers and hybrid III dummies  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 20 ) Baker, S.P., Spitz, W.V.  
Age effects and autopsy evidence of disease in fatally injured drivers  
JAMA, Nov. 9, 1970, Vol 216, No. 6, S. 1079-1088
- ( 21 ) Barbier, H., Bischitzky, E.  
Über die Unfallverletzungen im Straßenverkehr der Stadt und ihre Folgezustände  
Beiträge zur Orthopädie und Traumatologie 2/16, 1969
- ( 22 ) Barnwell, G.M., Cromack, J.R., Muller, A.F.  
Some international data on traffic accident configuration and their associated injuries  
Conf. Proc. 1st IRCOB1 1973
- ( 23 ) Bartel, M., Steinberg, H.  
Ein klinischer Beitrag zu den Rippenserienfrakturen  
Msch. f. Unfallheilkunde 8/72, 1969, S. 329-335
- ( 24 ) Baumgartl, E., Steiner, H.  
Isolierte abdominelle Organverletzungen durch Sicherheitsgurte  
Msch. f. Unfallheilkunde 71, 1968, S. 264-268
- ( 25 ) Beermann, H.J., Hilbrandt, E.  
Betrachtungen zur Deformation von PKW-Karosserien  
ATZ 75/10, 1973
- ( 26 ) Begeman, P.C., King, A.I., Levine, R.S., Viano, D.C.  
Biodynamic response of the musculoskeletal system to impact acceleration  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980
- ( 27 ) Beier, G., Schuller, E.  
Verletzungsmechanische Anmerkungen zum Schutzhelm  
Kongreßbericht Jahrestagung 1986 der Dt. Ges. f. Verkehrsmedizin, Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr Heft 56, 1986, S. 124-127

- ( 28 ) Biermann, H.R.  
The protection of the human body from impact forces of fatal magnitude  
Milit. Surg. 100/125, 1947
- ( 29 ) Billault, P., Tisseron, C., Dejeannes, M., Biard, R., Cord, P.,  
Jenoc, P.  
Improvement of belt restraint by means of an inflatable diagonal belt  
7th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Paris, 1979
- ( 30 ) Boettcher, I.  
Die Schädel-Hirnverletzungen des Kraftstofffahrers  
Dissertation Universität München, 1965
- ( 31 ) Bohlmann, H.H.  
Correlative pathologic of biomechanics of craniospinal injuries  
Conf. Proc. 1st IRCOB1, 1973
- ( 32 ) Bosio, A. C., Bowman, B. M.  
Simulation of head-neck dynamic response in -Gx and +Gy  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 33 ) Bourret, Gasin, Cavallero  
Etude statistique sur les accidents chez les enfants de 0-14 ans observés à  
l'hôpital de salon-de-provence  
Proceedings of biomechanics of trauma in children, 1974, S. 30-1 - 30-8
- ( 34 ) Braun, F.W.  
Mehrfachfrakturen der knöchernen Körperabschnitte nach Verkehrsunfällen  
Dissertation Universität München, 1969
- ( 35 ) Brenken, G.  
Systemvergleich zwischen Sicherheitsgurt und Luftsock  
Zeitschrift f. Verkehrssicherheit 4/16, 1970
- ( 36 ) Brinn, J., Staffeld, S.E.  
Evaluation of impact test accelerations. A damage index for the head and torso  
SAE 7000902
- ( 37 ) Browne, A. L., Wood, T. L.  
Reducing facial lacerations in head-windshield impacts with windshield lubricants  
Conf. Proc. 29th Stapp, 1985
- ( 38 ) Brun-Cosson, F., Leung, Y.C., Tarriere, C., Fayon, A.,  
Patel, A., Got, C., Hureau, J.  
Determination of knee-femur-pelvis tolerance from the simulation of car frontal  
impacts  
Conf. Proc. 7th IRCOB1, 1982, S. 101-115
- ( 39 ) Buchartowsky, W.D., Lippert, H.  
Schlagbruchfestigkeit und Kompaktastruktur der Mittelfußknochen  
Zeitschrift für Orthopädie, 110, 1972, S. 3
- ( 40 ) Bunkertorp, D., Romanus, B.  
Clinical and experimental studies on leg injuries in car-pedestrian accidents  
9 th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, 1982, S.  
376-387
- ( 41 ) Bunkertorp, O., Romanus, B.  
Clinical studies on leg injuries in car-pedestrian accidents  
Conf. Proc. 6 th IRCOB1, 1981, S. 235-242

- ( 42 ) Bunketorp, O., Romanus, B., Hansson, T., Aldman, B.,  
Thorngren, L., Eppinger, R. H.  
Experimental study of a compliant bumper system  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 43 ) Burgehele, N., Schuller, K.  
Die Festigkeit der Knochen Kalkaneus und Astragalus  
Zeitschrift f. Orthopädie, 107, 1970, S. 447
- ( 44 ) Burow, K.  
Zur Verletzungsmechanik der Halswirbelsäule  
Dissertation TU Berlin, 1974
- ( 45 ) Burow, K., Kramer, M.  
Experimentelle Untersuchungen über die Art und Schwere von Brustkorbverletzungen  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 46 ) Burstein, A.H., Frankel, V.H.  
The viscoelastic properties of some biological materials  
Ann. New-York Acad. Sci. 1968, 146, S. 158-165
- ( 47 ) Careless, C.M., Mackay, G.M.  
Skin tissue cuttability and its relation to laceration severity indices  
Conf. Proc. 7 th IRCOBI, 1982, S. 195-206
- ( 48 ) Carlsson, S., Hansson, P., Lindgreen, S.  
Epidemiology of head injury  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 49 ) Cavanaugh, J. M., Nyquist, G. W., Goldberg, S. J., King, A. I.  
Lower abdominal tolerance and response  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 50 ) Cesari, D., Covallero, C., Billault, P., Berthommier, M.,  
Fariße, J., Bonnoit, J., Seriat-Gautier, B., Castero, B.  
Analysis of pedestrian head kinematics based on car-pedestrian tests results  
Conf. Proc. IRCOBI/AAAM, 1985, S. 139-158
- ( 51 ) Cesari, D., Heger, A., Friedel, B., Mackay, M., Torriere, C.,  
Weissner, R.  
A preliminary report about the work of the joint biomechanical research project  
(KOB)  
7th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Paris, 1979
- ( 52 ) Cesari, D., Ramet, M.  
Etude des lesions des membres inferieurs  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 53 ) Cesari, D., Ramet, M.  
Comparative pedestrian tests with side impact dummies  
Biomechanics of impacts in road accidents (proceedings), Commission of the  
European Communities, Luxembourg, 1984
- ( 54 ) Cesari, D., Ramet, M.  
Pelvic tolerance and protection criteria in side impact  
Conf. Proc. 26th Stapp, 1982
- ( 55 ) Cesari, D., Ramet, M., Bloch, J.  
Influence of arm position on thoracic injuries in side impact  
Conf. Proc. 25th Stapp, 1981

- ( 56 ) Cesari, D., Ramet, M., Bouquet, R.  
Tolerance of human pelvis to fracture and proposed pelvic protection criterion to be measured on side impact dummies  
9 th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, 1982, S. 261-268
- ( 57 ) Cesari, D., Ramet, M., Cavallero, C.  
Influence of intrusion in side impact  
6th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Washinton, 1976
- ( 58 ) Cesari, D., Ramet, M., Cavallero, C., Billaut, P.,  
Gomborelli, J., Guerinel, G., Farisse, J., Seriat-Goutier, B.,  
Bourret, P.  
Experimental study of pedestrian kinematics and injuries  
Conf. Proc. 5th IRCOBI, 1980
- ( 59 ) Cesari, D., Ramet, M., Clair, P.-Y.  
Evaluation of pelvic fracture tolerance in side impact  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980
- ( 60 ) Cesari, D., Ramet, M., Zoc, R.  
Behaviour of side impact dummies used as pedestrians in accident reconstructions  
Conf. Proc. 7 th IRCOBI, 1982, S. 230-240
- ( 61 ) Chamouard, F., Tarriere, C., Got, C., Guillon, F., Patel, A.,  
Hureau, J.  
Relationship between some biomechanical and dimensional characteristics of the skull and the risk of cerebral injuries  
Conf. Proc. 1986 IRCOBI
- ( 62 ) Chapon, A., Verriest, J.P., Trauchessec, R.  
Experimental study of the aggressiveness of parallel sliding doors on the upper limb  
Conf. Proc. 6 th IRCOBI, 1981, S. 256-268
- ( 63 ) Cheng, R., King-Hay, Y., Levine, R.S., King, A.I.  
Dynamic impact loading of the femur under passive restrained condition  
Conf. Proc. 28 th Stapp, 1984, S. 101-118
- ( 64 ) Cheng, R., Mital, N.K., Levine, R.S., King, A.I.  
Biodynamics of a living human spine during -gx impact acceleration  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979
- ( 65 ) Cheng, R., Yang, K.H., Levine, R.S., King, A.I., Morgan, R.  
Injuries to the cervical spine caused by a distributed frontal load to the chest  
Conf. Proc. 26th Stapp, 1982
- ( 66 ) Clemens, H.J.  
Experimentelle Untersuchungen zur Verletzungsmechanik der Halswirbelsäule beim Frontal- und Heckaufprall  
Archiv für Orthopädie und Unfallchirurgie, Jahrg. 74, 1972, S. 116-145
- ( 67 ) Clemens, H.J., Burow, K.  
Experimental investigation on injury mechanisms of cervical spine at frontal and rear front vehicle impacts  
Conf. Proc. 16 th Stapp, 1972, S. 76-104
- ( 68 ) Cooke, F.W., Nagel, D.A.  
Biomechanical analysis of knee impact  
Conf. Proc. 13 th Stapp, 1969, S. 117-133

- ( 69 ) Cooper, G.J., Bexon, R., Pearce, B.P., Stainer, M.C.,  
Maynard, R.L.  
Prediction of chest wall displacement and heart injury from impact  
characteristics of a non-penetrating projectile  
Conf. Proc. 6 th IRCOB1, 1981, S. 297-312
- ( 70 ) Cooper, G.J., Maynard, R.L.  
An experimental investigation of the biokinetic principles governing  
non-penetrating impact to the chest and the influence of the rate of body wall  
distortion upon the severity of lung injury  
Conf. Proc. 1986 IRCOB1
- ( 71 ) Cornell Aeronautical Laboratory Inc.  
Research in impact protection of automobile occupants  
DOT/HS 500319
- ( 72 ) Cotte, J.P.  
Semistatic loading of baboon's torso  
Conf. Proc. 3rd IRCOB1, 1977
- ( 73 ) Cotte, J.P., Payan, M.  
Comparative study of cerebral lesions induced by impact on dead and living  
animals  
Conf. Proc. 4 th IRCOB1, 1979, S. 122-132
- ( 74 ) Daimotas, D. J.  
Mechanisms of injury to vehicle occupants restrained by three-point seat belts  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980
- ( 75 ) Donner, M., Wagner, R.  
A 50 kph vehicle-to-vehicle collision with human test persons  
8th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Wolfsburg, 1980
- ( 76 ) De Haven, H.  
Mechanical analysis of survival in falls from heights  
War Medicine 27, 1942, S. 586-596
- ( 77 ) Dempster, W.T., Liddicoat, R.T.  
Compact bone as a non isotropic material  
Am. J. Anat., 1952, 91, S. 331-362
- ( 78 ) Dotzauer, G., Hinz, P., Lange, W.  
Das Verhalten menschlicher Körper und anthropometrischer Puppen im Sicherheits-  
gurt bei der Simulation von schweren Frontalzusammenstoßen  
Ztschr. Rechtsmedizin 72, 1973, S. 8-21
- ( 79 ) Douglas, I.M., Nahum, A.M., Roberts, S.B.  
Applications of experimental head injury research  
Conf. Proc. 12 th Stapp, 1968, S. 317-337
- ( 80 ) EEEV Ad Hoc Group on Pedestrian Protection  
Pedestrian injury protection by car design  
10th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 81 ) Ehler, E., Losche, H.  
Die menschliche Tibia unter Biegebelastung  
Beitr. orthop. Traumatologie 17, 1970, S. 291



- ( 82 ) Ehler, E., Losche, H.  
Biegeversuche am menschlichen Femur  
Beitr. orthop. Traumatologie 17, 1970, S. 304
- ( 83 ) Eiband, A.  
Human tolerance to rapidly applied acceleration: A summary of the literature  
NASA Memorandum 5-19-59 E, 1959
- ( 84 ) Eppinger, R. H., Augustyn, K., Robbins, D. H.  
Development of a promising universal thoracic trauma prediction methodology  
Conf. Proc. 22th Stapp, 1978
- ( 85 ) Eppinger, R., Marcus, J.  
Production of injury in blunt frontal impact  
10th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 86 ) Eppinger, R.H.  
Prediction of thoracic injury using measurable experimental parameters  
6th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Washington, 1976
- ( 87 ) Eppinger, R.H., Pritz, H.B.  
Development of a simplified vehicle performance requirement for pedestrian injury mitigation  
7th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Paris, 1979
- ( 88 ) Evans, F.G.  
Mechanics of bone fracture  
Conf. Proc. 5 th Stapp, 1961
- ( 89 ) Evans, F.G., Liesner, H.R.  
Studies on the energy absorbing capacity of human lumbar intervertebral discs  
Conf. Proc. 7 th Stapp, 1963, S. 386-482
- ( 90 ) Evans, F.G., Lissner, H.R., Lebow, M.  
The relations of energy, velocity and acceleration to skull deformation and fracture  
Surg. Gyn. Obst., Vol. 107, 1958, S. 593-601
- ( 91 ) Ewing, C.L., Thomas, D.J., Lustick, L., Muzzy III, W.H.,  
Willems, G.C., Majewski, P.  
Effect of initial position on the human head and neck response to +Y impact acceleration  
Conf. Proc. 22th Stapp, 1978
- ( 92 ) Ewing, C.L., Thomas, D.J., Lustick, L., Muzzy III, W.H.,  
Willems, G.C., Majewski, P.  
Dynamic response of the human head and neck to +Gy impact acceleration  
Conf. Proc. 21st Stapp, 1977
- ( 93 ) Ewing, C.L., Thomas, D.J., Lustick, L., Muzzy, W.H. III,  
Willems, G., Majewski, P.L.  
The effect of duration, rate of onset, and peak sled acceleration on the dynamic response of the human head and neck  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976, S. 1-42
- ( 94 ) Ewing, C.L., Thomas, D.J., Majewski, P.L., Black, R.,  
Lustick, L.  
Measurement of head, T1, and pelvic response to -Gx impact acceleration  
Conf. Proc. 21st Stapp, 1977

- ( 95 ) Fabricius, B., Bastini, C.  
Untersuchungen über die Festigkeit menschlicher Rippen  
TU Berlin, Inst. f. Kfz., Forschungsbericht 84, 1969
- ( 96 ) Farisse, J., Seriat-Gautier, B., Dalmas, J., Daou, N.,  
Bourret, P., Cavallero, C., Cesari, D., Romet, M., Billault, P.,  
Berthommier, M.  
Anatomical and biomechanical study of injuries observed during experimental  
pedestrian-car collisions  
Conf. Proc. 6 th IRCOBI, 1981, S. 342-354
- ( 97 ) Fayon, A., Tarriere, C.  
Essai de definition de la tolerance de la tete des jeunes enfants  
Proc. of Biomech. of trauma in children, 1974, S. 252-259
- ( 98 ) Fayon, A., Tarriere, C., Wolfisch, G., Got, C.  
Performance of helmets and contribution to the definition of the tolerances of  
the human head to impact  
Conf. Proc. IRCOBI, 1976, S. 291-300
- ( 99 ) Fayon, A., Tarriere, C., Wolfisch, G., Got, C., Patel, A.  
Thorax of 3-point belt wearers during crash (experiments with cadavers)  
Conf. Proc. 19 th Stapp, 1975, S. 195-223
- ( 100 ) Fayon, A., Tarriere, C., Wolfisch, G., Got, C., Patel, A.  
Contribution to defining a tolerance level for a laterally impacted human head  
6th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Washington, 1976
- ( 101 ) Fazekas, Gy., Kosa, F., Jobba, G., Meszaros, E.  
Die Druckfestigkeit der menschlichen Leber mit besonderer Hinsicht auf die Ver-  
kehrsunfälle  
Z. Rechtsmedizin 68, 1971, S. 207-224
- ( 102 ) Fazekas, Gy., Kosa, F., Szendrenyi, J. u.a.  
Zerreißfestigkeit der proximalen Nervenstrange der unteren Extremitäten  
Zeitschrift für Rechtsmedizin 70, 1972, S. 178-183
- ( 103 ) Fiala, E.  
Abstützkraft von Fahrzeuginsassen bei Auffahrunfällen  
ATZ 71/10, 1969
- ( 104 ) Fiala, E.  
Die Erträglichkeit mechanischer Stöße für den menschlichen Kopf  
ATZ 72/5, 1970
- ( 105 ) Fischer, M.  
Zerrei- und Druckprüfung an der Kniescheibe  
Archiv für Orthopädie und Unfallchirurgie, 70, 1971, S. 261-274
- ( 106 ) Foret-Bruno, J.Y., Hartemann, F., Thomas, C., Fayon, A.,  
Tarriere, C., Got, C., Patel, A.  
Correlation between thoracic lesions and force values measured at the shoulder of  
92 belted occupants involved in real accidents  
Conf. Proc. 22th Stapp, 1978
- ( 107 ) Foret-Bruno, J.Y., Hartemann, F., Thomas, C., Tarriere, C.,  
Loyat, B., Stcherbatcheff, G., Got, C., Patel, A.  
Occupant velocity change in side impact method of calculation - application to a  
sample of real-world crashes  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980

- ( 108 ) Forster, J.King, Kortge, James O., Wolonin, Michael J.  
Hybrid III - a biomechanically-based crash test dummy  
Conf. Proc. 21st Stapp, 1977
- ( 109 ) Foust, D. R., Bowman, B. M., Snyder, R. G.  
Study of human impact tolerance using investigations and simulations of  
free-falls  
Conf. Proc. 21st Stapp, 1977
- ( 110 ) Foust, D.R., Chaffin, D.B., Snyder, R.G., Baum, J.K.  
Cervical range of motion and dynamic response and strength of cervical muscles  
Conf. Proc. 17 th Stapp, 1973, S. 285-308
- ( 111 ) Gögler, E.  
Die Unfallverletzungen bei Kraftfahrzeugunfällen als Hinweis auf den Unfallvor-  
gang  
Technische Überwachung Nr. 9, 7/1066, S. 304-311
- ( 112 ) Gögler, E.  
Chirurgie und Verkehrsmedizin  
Handbuch der Verkehrsmedizin, Springer-Verlag, Berlin, 1968, S. 417-529
- ( 113 ) Gögler, E.  
Unfallopfer im Straßenverkehr  
Documenta Geigy, 1962
- ( 114 ) Gögler, E., Best, A., Braess, H.-H., Burst, H.-E., Laschet, G.  
Biomechanical Experiments with animals on abdominal tolerance levels  
Conf. Proc. 21st Stapp, 1977
- ( 115 ) Gadd, C.W., Culver, C.C., Nahum, A.M.  
A study of responses and tolerances of the neck  
Conf. Proc. 15 th Stapp, 1971, S. 256-268
- ( 116 ) Gadd, Ch.W.  
Use of a weighted-impulse criteria for estimating injury hazard  
Conf. Proc. 10 th Stapp, 1966, S. 164-174
- ( 117 ) Goegauf, M., Kaeser, R., Meyer, E., Reif, G.  
Design of a Pedestrian compatible car front  
Conf Proc. 1986 IRCOBI
- ( 118 ) Gennarelli, T. A., Abel, J. M., Adams, H., Graham, D.  
Differential tolerance of frontal and temporal lobes to contusion induced by  
angular acceleration  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979
- ( 119 ) Gierke, H.E. von  
Biodynamic models and their applications  
Journ. of the Acoustical Society of America, 6/50 Part 1, 1971
- ( 120 ) Gosch, H.K., Gooding, E., Schneider, R.C.  
An experimental study of cervical spine and cord injuries  
J. Trauma, 1972, 12, 7, S. 570-576
- ( 121 ) Got, C., Patel, A., Fayon, A., Tarriere, C., Wolfisch, G.  
Contribution to defining the human tolerance to perpendicular side impact  
Conf. Proc 3rd IRCOBI, 1977

- ( 122 ) Got, C., Patel, A., Fayon, A., Tarriere, C., Walfisch, G.  
Results of experimental head impacts on cadavers - the various data obtained and their relations to some measured physical parameters  
Conf. Proc 22th Stopp, 1978
- ( 123 ) Gotzen, L., Suren, E.G., Behrens, S., Richter, K., Sturtz, G.  
Injury of older persons in pedestrian accidents  
Conf. Proc. IRCOB1, 1976, S. 81-91
- ( 124 ) Grosch, L.  
Injury criteria for combined restraint systems  
10th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 125 ) Grosch, L., Kassing, L., Katz, E., Stecker, J., Zeidler, F.  
Die Beurteilung der Wirksamkeit von Airbag-Systemen mit Hilfe neuer Schutzkriterien  
Automobil-Industrie 2, 1987, S. 171-178
- ( 126 ) Grogg, C.D., Bendixen, C.D., Clarke, T.D., Kopfenstein, H.S.,  
Sprooufske, I.F.  
Evaluation of the lap belt, air bag and air force restraint systems during impact with living human sled subjects  
SAE 700904
- ( 127 ) Grattan, E., Clegg, N.G., Hobbs, J.A.  
Toughened glass windscreen injuries in car occupants  
RRL-Report 282/1969
- ( 128 ) Grattan, E., Clegg, N.G.  
Clinical causes of death in different categories of road user  
Conf. Proc. 1st IRCOB1, 1973
- ( 129 ) Grattan, E., Clegg, N.G., Hobbs, J.A.  
Chest injuries in unrestrained vehicle occupants who survived a road accident  
RRL-Report 320/1970
- ( 130 ) Grattan, E., Hobbs, J.A.  
Injuries to the hip joint in vehicle occupants  
RRL-Report 126/1967
- ( 131 ) Grattan, E., Hobbs, J.A., East, A.  
Mechanisms of injury to motor vehicle occupants  
RRL-Report 109/1967
- ( 132 ) Greenberg, S.W., Gonzales, D., Gurdjian, E.S., Thomas, L.M.  
Changes and physical properties of bone between the in vivo, freshly dead and embalmed cadaver  
Conf. Proc. 12 th Stopp, 1968, S. 271-279
- ( 133 ) Grime, G., Jones, F.S.  
The frequency and severity of injuries to the occupants of cars subjected to different types of impact in accident  
Conf. Proc. 1st IRCOB1, 1973
- ( 134 ) Gurdjian, E.S.  
Studies on skull fracture with particular reference to engineering factors  
Amer. J. of Surgery 78, 1948, S. 736-742

- ( 135 ) Gurdjian, E.S., Lissner, H.R., Patrick, L.M.  
Concussion mechanism and pathology  
Conf. Proc. 7 th Stapp, 1963, S. 470-482
- ( 136 ) Haddon, W.  
Energy damage and the ten countermeasure strategies  
Conf. Proc. 1st IRCOB1, 1973
- ( 137 ) Hoffner, M.  
Synthesis of pelvic fracture criteria for lateral impact loading  
10th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 138 ) Hakim, N.S., King, A.I.  
Static and dynamic articular facet loads  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976 , S. 607-640
- ( 139 ) Halpern-Herla, M.  
Report of a Working group on biomechanics (EEVC)  
6th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Washington, 1976
- ( 140 ) Hanson, P.G.  
Radiographic studies of cardiac displacement during abrupt deceleration  
Conf. Proc. 10 th Stapp, 1966, S. 227-241
- ( 141 ) Hartemann, F., Henry, C., Torriere, C.  
Respective effects of delta v, mean gamma, and intrusion on the severity of in-  
juries suffered by occupants not wearing seatbelts in frontal impact  
6th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Washington, 1976
- ( 142 ) Hartemann, F., Thomas, C., Foret-Bruno, J.Y., Henry, C.,  
Fayon, A., Torriere, C.  
Occupant protection in lateral impacts  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976, S. 189-220
- ( 143 ) Haynes, A.L., Lissner, H.R.  
Experimental head impact studies  
Conf. Proc. 5 th Stapp, 1961
- ( 144 ) Hennsler, H.  
The European Communities' programme for promotion of biomechanic research  
9 th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, 1982, S.  
238-243
- ( 145 ) Higgins, L.S., Schmall, R.A.  
A device for the investigation of head injury effected by non-deforming head  
accelerations  
Conf. Proc. 11 th Stapp, 1967, S. 35-52
- ( 146 ) Hinz, P.  
Die Verletzung der Halswirbelsäule durch Schleuderung und Abknickung  
Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Band 47, 1970
- ( 147 ) Hinz, P., Tamaska, L.  
Die Beweiswerte der sogenannten vitalen Zeichen bei Toten im Straßenverkehr mit  
Halswirbelsäulenverletzungen  
Zeitschrift f. Rechtsmedizin, 68/1971
- ( 148 ) Hobbs, J.A., Allsop, R.E., Starks, H.J.H.  
Injuries produced by motorcar windscreens  
RRL-Report 151/1968

- ( 149 ) Hodgson, G., Voigt, R., Thomas, L.M.  
Comparison of head acceleration injury indices in cadaver skull fracture  
Conf. Proc. 15 th Stapp, 1971
- ( 150 ) Hodgson, V. R., Thomas, L. M., Khalil T. B.  
The role of impact location in reversible cerebral concussion  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 151 ) Hodgson, V. R., Thomas, M. L.  
Mechanisms of cervical spine injury during impact to the protected head  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980
- ( 152 ) Hodgson, V.R.  
Head injury  
SAE P 49, 1973
- ( 153 ) Hodgson, V.R., Brinn, J., Thomas, L.M., Greenberg, S.W.  
Fracture behaviour of the skull frontal bone against cylindrical surfaces  
SAE 700909
- ( 154 ) Hodgson, V.R., Gurdjian, E.S., Thomas, L.M.  
The determination of response characteristics of the head with emphasis on  
mechanical impedance technique  
Conf. Proc. 11 th Stapp, 1967, S. 79-85
- ( 155 ) Hodgson, V.R., Gurdjian, E.S., Thomas, L.M.  
The development of a model for the study of head injury  
Conf. Proc. 11 th Stapp, S. 286-292
- ( 156 ) Hodgson, V.R., Gurdjian, E.S., Thomas, L.M.  
Tolerance of the facial bones to impact  
Am. J. Anat., Vol 120, 1967, S. 113-122
- ( 157 ) Hodgson, V.R., Longe, W.A., Talwalker, R.K.  
Injury of the facial bone  
Conf. Proc. 9 th Stapp, 1965, S. 145-163
- ( 158 ) Hodgson, V.R., Nakamura, G.S., Talwalker, R.K.  
Response of the facial structure to impact  
Conf. Proc. 8 th Stapp, 1964, S. 229-250
- ( 159 ) Hodgson, V.R., Patrick, L.M.  
Dynamic response of the human cadaver head  
Conf. Proc. 12 th Stapp, 1968, S. 280-301
- ( 160 ) Hodgson, V.R., Thomas, L.M.  
Acceleration induced shear strains in an monkey brain hemisection  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979
- ( 161 ) Hodgson, V.R., Thomas, L.M., Prasad, P.  
Testing the validity and limitations of the severity-index  
SAE 700901
- ( 162 ) Horsch, J. D., Schneider, D. C., Kroell, C. K., Roosch, F. D.  
Response of belt restrained subjects in simulated lateral impact  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979
- ( 163 ) Horsch, J.D., Lau, I. V., Viano, D. C., Andrzejak, D. V.  
Mechanism of abdominal injury by steering wheel loading  
Conf. Proc. 29th Stapp, 1985

- ( 164 ) Hu, A. S., Bean, S. P., Zimmermann R. M.  
Response of belted dummy and cadaver to rear impact  
Conf. Proc. 21st Stopp, 1977
- ( 165 ) Hubbard, R. P., McLeod, D. G.  
Geometric, inertial and joint characteristics of two part 572 dummies for  
occupant modeling  
Conf. Proc. 21st Stopp, 1977
- ( 166 ) IRCOBi SEMINAR, 6, 1974  
Biomechanics of human bodies
- ( 167 ) Ivandic, T.  
Verletzungen am Auge durch Autounfälle  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg, 1968
- ( 168 ) Jarosch, K., Hinz, P.  
Hinterhauptlabriß von der Halswirbelsäule  
Mschr. Unfallheilkunde, 8/72, 1969, S. 89-99
- ( 169 ) Jones, H.  
The effect of limb position in seated subjects  
J. Physiol., 1947, 105, S. 332-344
- ( 170 ) Jones, I., Whitfield, R., Carroll, D.  
New car assessment program results and the risk of injury in actual accidents  
10th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 171 ) Koessmann, H.J., Hopf, G., Koch, H. u.a.  
Experimentelle Untersuchungen über die mechanische Belastbarkeit der  
Hüftkopfspongiosa als Voraussetzung für die axiale Druck-Osteosynthese nach  
Schenkelhalsfrakturen  
Archiv f. Orthopädie und Unfall-Chirurgie, 74, 1972
- ( 172 ) Kahane, C. J., Smith, R. A., Thorpe, K.J.  
The national crash severity study  
6th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Washington, 1976
- ( 173 ) Kaiser, G., Jarosch, K.  
Stoßstangenverletzungen bei Fußgängern  
Beiträge zur gerichtlichen Medizin
- ( 174 ) Kallieris, D.  
Hartemessungen an frischen menschlichen Knochen  
Zeitschr. f. Rechtsmedizin, 68/1971
- ( 175 ) Kallieris, D., Borz, J., Schmidt, G., Heess, G., Mattern, R.  
Comparison between child cadavers and child dummy by using child restraint sy-  
stems in simulated collisions  
Conf. Proc. 20 th Stopp, 1976, S. 511-542
- ( 176 ) Kallieris, D., Mattern, R.  
Belastbarkeitsgrenzen und Verletzungsmechanik der angegurtenen Fahrzeuginsassen  
bei Seitenaufprall (I)  
Forschungsvereinigung Automobiltechnik Schriftenreihe Nr. 36, 1984

- ( 177 ) Kallieris, D., Mattern, R., Schmidt, G., Glitsch G.-D.,  
Harres, M., Leis, B.  
Behavior and response of wheel chair, passenger and restraint systems used in buses during impact  
Conf. Proc. 25th Stopp, 1981
- ( 178 ) Kallieris, D., Mattern, R., Hardle, W.  
Belastbarkeitsgrenzen und Verletzungsmechanik des angegurtenen Pkw-Insassen beim Seitenaufprall (II)  
Forschungsvereinigung Automobiltechnik Schriftenreihe, Nr. 60, 1986
- ( 179 ) Kallieris, D., Mattern, R., Schmidt, G., Eppinger, R. H.  
Quantification of side impact responses and injuries  
Conf. Proc. 25th Stopp, 1981
- ( 180 ) Kallieris, D., Mattern, R., Schmidt, G., Klaus, G.  
Comparison of three-point belt-and air bag-knee bolster systems. Injury criteria and injury severity at simulated frontal collisions  
Conf. Proc. 7 th IRCOBI, 1982, S. 166-183
- ( 181 ) Kallieris, D., Mattern, R., Schmidt, G., Worth, D.  
Kinematic and spinal column injuries in active and passive passenger protection. Results of simulated frontal collisions  
Conf. Proc. IRCOBI, 1984, S. 279-296
- ( 182 ) Kallieris, D., Mattern, R.  
Shoulder-belt-forces and thorax injuries  
Proc. of biomech. of trauma in children, 1974, S. 171-184
- ( 183 ) Kallieris, D., Schmidt, G.  
Belastbarkeit gurtgeschützter menschlicher Körper bei simulierten Frontalaufprallen  
Zschr. Rechtsmedizin, 74, 1974, S. 31-34
- ( 184 ) Kallieris, D., Schmidt, G., Housler, E.  
Brain injuries under high speed loadings - a study with models and cadaver heads  
Conf. Proc. 5th IRCOBI, 1980, S. 229-240
- ( 185 ) Kamiyama, S., Kappner, R., Schmidt, G.  
Verletzungskombinationen bei tödlichen Verkehrsunfällen  
Mschr. f. Unfallheilkunde, 74/1971
- ( 186 ) Kelleher, B., Walsh, M., Vergara, R., Herridge, J.,  
Eppinger, R.  
Evaluation of a pedestrian compatible bumper  
10th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 187 ) Khalil, T. B., Viano, D. C.  
Critical issues in finite element modeling of head impact  
Conf. Proc. 26th Stopp, 1982
- ( 188 ) Kidd, E. A., Walsh, M. J.  
Effectiveness of ATD's and Cadavers in Evaluation of Restraint System  
6th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Washington, 1976
- ( 189 ) Kikuchi, A., Ono, K., Nakamura, N.  
Human head tolerance to lateral impact deduced from experimental head injuries using primates  
9 th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, 1982, S. 251-260



- ( 190 ) King-Liu, Y., Rosenberg, D.V. von  
A one dimensional continuum model of direct closed head impacts  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 191 ) King, A.I.  
Biomechanics of the spine and pelvis  
SAE P 49, 1973
- ( 192 ) King, J.J., Fan, W.R.S., Vargovick, R.J.  
Femur load injury criteria - a realistic approach  
Conf. Proc. 17 th Stapp, 1967, S. 509-524
- ( 193 ) Klaus, G., Kallieris, D.  
Side impact - a comparison between HSRI, APROD and HYBRID II dummies and cadavers  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 194 ) Kneuse-Born, M.  
Stumpfe Bauchverletzungen im Rahmen des Kombinationstraumas beim tödlichen  
Straßenverkehrsfall  
Dissertation Universität Köln, 1970
- ( 195 ) Korkusuz, Z., Karaesman, E., Aksan, Z.  
Über Teilverrenkungen im Schlüsselbein-Brustbeingelenk bei Gewichthebern  
Arch. orthop. Unf.-Chir. 74, 1972, S. 224-230
- ( 196 ) Kramer, M., Burow, K., Heger, A.  
Fracture mechanism of lower legs under impact load  
Conf. Proc. 17 th Stapp, 1973, S. 81-100
- ( 197 ) Krieger, K.W., Padgoonkar, A.J., King, A.I.  
Full-scale experimental simulation of pedestrian-vehicle impacts  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976, S. 429-464
- ( 198 ) Kroell, C. K., Allen S. D., Warner, C. Y., Perl, T. R.  
Interrelationship of Velocity and Chest Compression in Blunt Thoracic Impact to  
swine II  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 199 ) Kroell, C. K., Pope, M. E., Viano, D. C., Warner, C. Y.,  
Allen, S. D.  
Interrelationship of velocity and chest compression in blunt thoracic impact to  
swine  
Conf. Proc. 25th Stapp, 1981
- ( 200 ) Kroell, C.H., Schneider, D.C., Nahum, A.M.  
Impact tolerance and response of the human thorax  
Conf. Proc. 15 th Stapp, 1971, S. 84-134
- ( 201 ) Kroell, C.K., Schneider, D.C., Nahum, A.M.  
Comparative knee impact response of part 572 dummy and cadaver subjects  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976, S. 583-606
- ( 202 ) Kurnatowski, H.A. von  
Biomechanische Untersuchungen über Verletzungen durch Sicherheitsgurte  
Dissertation FU Berlin, 1970
- ( 203 ) L'Abbe, R.J., Dainty, D.A., Newman, J.A.  
An experimental analysis of thoracic deflection response to belt loading  
Conf. Proc. 7 th IRCOBI, 1982, S. 184-194

- ( 204 ) Lane, J.C., Pentold, M.F., Eaing, J., Barley, J.B., Tonge, J.I.  
Human tolerance to abrupt deceleration in water  
Conf. Proc. 1st IRCOB1, 1973
- ( 205 ) Langdon, M.G.  
Requirements for minimising thoracic injury in side impact accidents  
Conf Proc. 1986 IRCOB1
- ( 206 ) Lange, W.  
Severe frontal collisions and resulting injuries with and without restraining devices  
Bericht des Max-Planck-Instituts f. Arbeitsphysiologie, Dortmund, 1972
- ( 207 ) Lange, W.  
Facial injury  
SAE P 49, 1973
- ( 208 ) Lange, W.  
Die Reaktion des Systems Kopf-Halswirbelsaule bei stoßartiger Beschleunigung des Torsos  
Hefte zur Unfallkunde, 110, 1972, S. 8-15
- ( 209 ) Lange, W., Hinz, P.  
Auffahrunfälle mit und ohne Kopfsütze  
VDI-Zeitschrift, 112, 1970, S. 1357-1362
- ( 210 ) Langwieder, K., Donner, M., Schmelzing, W., Appel, H.,  
Kramer, F., Hofmann, J.  
Comparison of passenger injuries in frontal car collisions with dummy loadings in equivalent simulations  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979
- ( 211 ) Langwieder, K., Hubner, W., Gubitz, Th.  
Kinderverletzungen im PKW  
Proc. of biomech. of trauma in children, 1974, S. 116-128
- ( 212 ) Lau, I. V., Viano, D. C.  
The viscous criterion - bases and applications of an injury severity index for soft tissues  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 213 ) Lenox, J.B., Huntington, H.W., Carey, K.D., Hoffner, M.P.,  
Ommaya, A.K.  
Development of neck injury tolerance criteria in human surrogates. 1. Static tensile loading in the baboon neck: Preliminary observations  
9 th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, 1982, S. 279-286
- ( 214 ) Leung, Y.C., Hue, B., Fayon, A., Torriere, C., Hamon, H.,  
Got, C., Patel, A., Hureau, J.  
Study of "knee-tigh-hip" protection criterion  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 215 ) Leung, Y.C., Lopat, E., Fayon, A., Torriere, C., Banzet, A.  
Lacerative properties of the human skin during impact  
Conf. Proc. 3rd IRCOB1, 1977

- ( 216 ) Leung, Y.C., Torriere, C., Fayon, A., Mairesse, P., Delmas, A.,  
Banzet, P.  
A comparison between part 572 dummy and human subject in the problem of sub-  
marining  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979
- ( 217 ) Leung, Y.C., Torriere, C., Lestrelin, D., Got, C., Guillon, F.,  
Patel, A., Hureau, J.  
Submarining injuries of 3 pt. belted occupants in frontal collisions - descrip-  
tion, mechanisms and protection  
Conf. Proc. 26th Stapp, 1982
- ( 218 ) Life, S., Pince, B.W.  
Comparative responses of small and medium sized primates, both live and embalmed,  
to impact  
Conf. Proc. 11 th Stapp, 1967, S. 136-152
- ( 219 ) Lippert, H., Hagemann, K.  
Biomechanik des Schädeldachs Teil 1  
Monatsschrift für Unfallheilkunde, 77, 1974, S. 252-265
- ( 220 ) Lippert, H., Kurbjuhn, W.  
Metakarpalia und Grundphalangen im Schlagbruchversuch und Biegeversuch  
Zeitschrift f. Orthopädie, 111, 1973, S. 69-78
- ( 221 ) Lippert, H., Laasko, U.K.  
Druckfestigkeit menschlicher Fußwurzelknochen  
Zeitschrift f. Orthopädie, 110, 1972, S. 556-563
- ( 222 ) Lissner, H.R., Evans, F.G.  
Engineering aspects of fractures  
Clin. Orthopedy 8/1956
- ( 223 ) Lister, R.D., Wall, J.G.  
Determination of injury threshold levels of car occupants involved in road  
accidents  
SAE 700402, 1970
- ( 224 ) Ljung, C.  
Studies of the motion on the brain at a suddenly applied rotation of the skull  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 225 ) Lowenhielm, P.  
On the mechanism of cortical bridging vein rupture  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 226 ) Lowne, R.W., Wall, J.G.  
A procedure for estimating injury tolerance levels for occupants  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976, S. 641-664
- ( 227 ) Mackay, G.M., Fonseka, C.P. de  
Some aspects of traffic injury in urban road accidents  
Conf. Proc. 11 th Stapp, 1967, S. 70-78
- ( 228 ) Maltha, J., Steinacker R.L.  
Development of a dummy abdomen capable of injury detection in side impacts  
Conf. Proc. 25th Stapp, 1981

- ( 229 ) Marcus, J. H., Morgan, R. M., Eppinger R. H., Kallieris, D.,  
Mattern, R., Schmidt, G.  
Human response to and injury from lateral impact  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 230 ) Marotzky, H.J.  
Isometrische Kraftmessungen am Hals-Kopf-System  
Arch. orthop. Unf.-Chir., 74, 1972, S. 42-62
- ( 231 ) Mather, B.S.  
Observations on the effects of static and impact loading on the human femur  
J. of Biomechanics, 1968, Vol. 1, S. 331-335
- ( 232 ) Mattern, R., Barz, J., Schulz, F., Kallieris, D., Schmidt, G.  
Problems arising when using injury scales in the biomechanical investigation with  
special consideration of the age influence  
Conf. Proc. 4 th IRCOBI, 1979, S. 223-231
- ( 233 ) McElhoney, J. H., Pover, J. G., McCrackin, H.J., Maxwell, G. M.  
Cervical spine compression responses  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 234 ) McElhoney, J.H., Fogle, J.L., Byards, E.T., Weaver, G.  
Effect of embalming on the mechanical properties of beef bone  
J. Applied physiol., 1964, 19, 6, S. 1234-1236
- ( 235 ) McElhoney, J.H., Stalnaker, R.L., Roberts, V.L.  
Biomechanical aspects of head injury, human impact response  
Proceedings of the symposium on human impact response held at the GM Research  
Laboratories, Warren, Michigan, 1972
- ( 236 ) Melvin, J.  
Advanced anthropomorphic test device concept definition  
10th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 237 ) Melvin, J.W., Robbins, D.H., Stalnaker, R.L.  
Side impact response and injury  
6th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Washington, 1976
- ( 238 ) Melvin, J.W., Snyder, R.G., Travis, L.N., Olson, N.R.  
Response of the human larynx to blunt loading  
Conf. Proc. 17 th Stapp, 1973, S.101-114
- ( 239 ) Melvin, J.W., Stalnaker, R.L., Alem, N.M., Benson, J.B.,  
Mohan, D.  
Impact response and tolerance of the lower extremities  
Conf. Proc. 19 th Stapp, 1975, S. 543-559
- ( 240 ) Melvin, J.W., Stalnaker, R.L., Roberts, V.L., Trollope, M.L.  
Impact injury mechanisms in abdominal organs  
Conf. Proc. 17 th Stapp, 1973, S. 115-126
- ( 241 ) Mertz, H.J.  
Neck injury  
SAE P 49, 1973

- ( 242 ) Mertz, H.J., Driscoll, G.D., Lenox, J.B., Nyquist, G.W.,  
Weber, D.A.  
Responses of animals exposed to development of various passenger inflatable  
restraint system concepts for a variety of collision severities and animal posi-  
tions  
9 th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, 1982, S.  
352-367
- ( 243 ) Mertz, H.J., Godd, C.W.  
Thoracic tolerance to whole-body deceleration  
Conf. Proc. 15 th Stapp, 1971
- ( 244 ) Mertz, H.J., Patrick, L.M.  
Investigation of the kinematics and kinetics of whiplash  
Conf. Proc. 11 th Stapp, 1967, S. 175-206
- ( 245 ) Mertz, H.J., Patrick, L.M.  
Strength and response of the human neck  
Conf. Proc. 15 th Stapp, 1971
- ( 246 ) Mertz, H.J., Weber, D.A.  
Interpretations of the impact responses of a three-year-old child dummy relative  
to child injury potential  
9 th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, 1982, S.  
368-375
- ( 247 ) Messerer, O.  
Elasticity and strength of human bones  
Verlag d.j.G. Gott'schow. Buchhandlung Stuttgart, 1880
- ( 248 ) Morfey, C.L.  
Head acceleration tolerance derived from falls into water  
Conf Proc. 1986 IRCOB
- ( 249 ) Morgan, R. M., Marcus, J. H., Eppinger, R. H.  
Side impact - the biofidelity of NHTSA's proposed ATD and efficacy of TTI  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 250 ) Muzzy, W.H III, Lustick, L.  
Comparison of kinematic parameters between hybrid II head and neck system with  
human volunteers for -Gx acceleration profiles  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976, S. 43-74
- ( 251 ) Myklebust, J., Sances Jr, A., Maiman D., Pintar, F.,  
Chilbert, M., Rauschnig, W., Lorson, S., Cusick, J., Ewing, C.,  
Thomas, D., Saltzberg, B.  
Experimental spinal trauma studies in the human and monkey cadaver  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 252 ) Nagel, D.A., Perkash, I., Piziali, R.L., Hayes, W.C.  
Mechanics of dorsal-lumbar spine injury: a preliminary report  
Conf. Proc. 19 th American Association for Automotive Medicine, 1975, S. 124-135
- ( 253 ) Nahum, A. M., Smith, R., Ward, C. C.  
Intracranial pressure dynamics during head impact  
Conf. Proc 21st Stapp, 1977
- ( 254 ) Nahum, A. M., Ward, C., Smith, R., Roasch, F.  
Intracranial pressure relationship in the protected and unprotected head  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979

- ( 255 ) Nahum, A., Ward, C., Schneider, D., Roasch, F., Adams, S.  
A study of impacts to the lateral protected and unprotected head  
Conf. Proc. 25th Stapp, 1981
- ( 256 ) Nahum, A.M.  
Chest trauma  
SAE P 49, 1973
- ( 257 ) Nahum, A.M., Gadd, Ch.W., Schneider, D.C., Madeira, R.G.  
Tolerances of superficial soft tissue to injury  
Journal of Trauma, 1973, Vol. 12, S. 1044-1052
- ( 258 ) Nahum, A.M., Gatts, J.D., Gadd, C.W., Danforth, J.  
Impact tolerance of the skull and face  
Conf. Proc. 12 th Stapp, 1968
- ( 259 ) Nahum, A.M., Schneider, D.C.  
Soft tissue injuries and injury tolerance levels  
Conf. Proc. 1st IRCOB1, 1973, S. 411-438
- ( 260 ) Nahum, A.M., Schneider, D.C., Kroell, Ch.K.  
Cadaver skeletal response to blunt thoracic impact  
Conf. Proc. 19 th Stapp, 1975, S. 259-293
- ( 261 ) Nahum, A.M., Smith, R.W.  
An experimental model for closed head impact injury  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976, S. 783 ff.
- ( 262 ) Neathery, R.F., Kroell, Ch.K., Mertz, H.J.  
Prediction of thoracic injury from dummy responses  
Conf. Proc. 19 th Stapp, 1975, S. 295-316
- ( 263 ) Neilson, L., Lowne, R., Tarriere, C., Bendjellal, F.,  
Gillet, D., Maltha, J., Cesari, D., Bouquet, R.  
The eurosid side impact dummy  
10th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 264 ) Newman, J.A.  
A generalized acceleration model for brain injury threshold (gambit)  
Conf. Proc. 1986 IRCOB1
- ( 265 ) Nickerson, J.L.  
A study of internal movements of the body occurring on impact  
Conf. Proc. 11 th Stapp, 1967, S. 202-213
- ( 266 ) Nusholtz, G. S., Alem, N. M., Melvin, J. W.  
Impact response and injury of the pelvis  
Conf. Proc. 26th Stapp, 1982
- ( 267 ) Nusholtz, G. S., Kaiker, P. S., Bosio A. C., Kirsh, M.  
Thoracic response to frontal impact  
Conf. Proc. 29th Stapp, 1985
- ( 268 ) Nusholtz, G. S., Kaiker, P. S., Huelke, D. F., Suggitt, B. R.  
Thoraco-abdominal response to steering wheel impacts  
Conf. Proc. 29th Stapp, 1985
- ( 269 ) Nusholtz, G. S., Kaiker, P. S., Lehman, R. J.  
Critical Limitations on significant factors in head injury research  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986

- ( 270 ) Nusholtz, G.S., Huelke, D.E., Lux, P., Alem, N.M., Montalvo, F.  
Cervical spine injury mechanisms  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 271 ) Nusholtz, G.S., Lux, P., Kaiker, P., Janicki, M.A.  
Head impact response - skull deformation and angular accelerations  
Conf. Proc. 28 th Stapp, 1984, S. 41-74
- ( 272 ) Nusholtz, G.S., Melvin, J.W., Huelke, D.F., Alem, N.M.,  
Blank, J.G.  
Response of the cervical spine to superior-inferior head impact  
Conf. Proc. 25th Stapp, 1981
- ( 273 ) Nusholtz, G.S., Melvin, J.W., Mueller, G., Mackenzie, J.R.,  
Burney, R.  
Thoraco-abdominal response and injury  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980
- ( 274 ) Nusholtz, Guy S., Melvin, John W., Lux Paulo  
The influence of impact energy and direction on thoracic response  
Conf Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 275 ) Nyquist, G. W., Cavanaugh, J. M., Goldberg, S. J., King, A. I.  
Facial impact tolerance and response  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 276 ) Nyquist, G. W., Cheng R., El-Bohy, A. R., King A.I.  
Tibia bending: Strength and response  
Conf.Proc. 29th Stapp, 1985
- ( 277 ) Cestern, H.-J., Tscherne, H., Sturm, J., Nerlich, M.  
Klassifizierung der Verletzungsschwere  
Unfallchirurg 88, 1985, S. 465-472
- ( 278 ) Oh, S., Ruedi, M.  
Depressed skull fracture in skiing and its prevention - an experimental study  
Conf. Proc. 7 th IRCOBI, 1982, S. 116-121
- ( 279 ) Ommaya, A.K.  
Comparative tolerances for cerebral concussion by head impact and whiplash injury  
in primates  
SAE-paper 700401, 1970
- ( 280 ) Ommaya, A.K., Digges, K.  
A study of head and neck injury mechanisms by reconstruction of automobile  
accidents  
Conf. Proc. IRCOBI/AAAM, 1985, S. 253-268
- ( 281 ) Ommaya, A.K., Hirsch, A.E., Martinez, J.L.  
The role of whiplash in cerebral concussion  
Conf. Proc. 10 th Stapp, 1966, S. 314-324
- ( 282 ) Ommaya, A.K., Thibault, L.  
Head and spinal injury tolerances with no direct head impact  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 283 ) Ommaya, A.K., Yarnell, P., Hirsch, A.E., Harris, E.H.  
Scaling of experimental data on cerebral concussion in sub-human primates to  
concussion threshold for men  
Conf. Proc. 11 th Stapp, 1967, S. 73-80

- ( 284 ) Ono, K., Kikuchi, A., Nakamura, M., Kobayashi, H., Nakamura, N.  
Human head tolerance to sagittal impact reliable estimation deduced from experimen-  
tal head injury using subhuman primates and human cadaver skulls  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980
- ( 285 ) Parker, A.J.  
Angular accelerations of the head  
The Hymatic Engineering Company Limited Redditch, Worcestershire, PTM 163, 1965
- ( 286 ) Patrick, L. M.  
Impact force-deflection of the human thorax  
Conf. Proc. 25th Stapp, 1981
- ( 287 ) Patrick, L.M.  
Human tolerance to impact  
SAE 650 171, 1965
- ( 288 ) Patrick, L.M.  
Human tolerance to impact-basis for safety design  
SAE 700155, 1970
- ( 289 ) Patrick, L.M.  
Injuries to the vertebrae  
Conf. Proc. 5 th Stapp, 1961
- ( 290 ) Patrick, L.M., Kroell, Ch.K., Mertz, H.J.  
Forces on the human body in simulated crashes  
Conf. Proc. 9 th Stapp, 1965, S. 237-259
- ( 291 ) Patrick, L.M., Lange, W.A., Hodgson, V.R.  
Facial injuries - causes and prevention  
Conf. Proc. 7 th Stapp, 1963, S. 541-568
- ( 292 ) Patrick, L.M., Levine, R.S.  
Injury to unembalmed belted cadavers in simulated collisions  
Conf. Proc. 19 th Stapp, 1975, S. 79-115
- ( 293 ) Patrick, L.M., Lissner, H.R., Gurdjian, E.S.  
Survival by design - head protection  
Conf. Proc. 7 th Stapp, 1963, S. 483-499
- ( 294 ) Patrick, L.M., Mertz, H.J.  
Human tolerances to impact: Human anatomy, impact injuries, and human tolerances  
SAE P 29, SAE 700195, S. 90-103
- ( 295 ) Patrick, L.M., Mertz, H.J., Kroell, C.K.  
Cadaver knee, chest, and head impact loads  
Conf. Proc. 11 th Stapp, 1967, S. 106-117
- ( 296 ) Patrick, L.M., Reidelbach, W., Wilfert, K.  
Bericht über das Kolloquium über innere Sicherheit im PKW  
Zbl. Verkehrsmedizin, 12/164, 1965
- ( 297 ) Patscheider, H., Unterdorfer, H.  
Verletzungsbefunde bei tödlich verunglückten Radfahrern  
Beiträge zur gerichtlichen Medizin 24/1968, S. 52-56
- ( 298 ) Persicke, G., Child, J.R.  
A practical approach to rear underride protection  
7th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Paris 1979



- ( 299 ) Petty S.  
A modified steering wheel to reduce facial injuries and associated test procedures  
10th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 300 ) Phillips, L., Khodilkar, A., Egbert, T. P., Cohen, S. H.,  
Morgan, R. M.  
Subcompact vehicle energy-absorbing steering assembly evaluation  
Conf. Proc. 22th Stapp, 1978
- ( 301 ) Pope, M. E., Kroell, C. K., Viano, D. C., Warner, C. Y.,  
Allen, Stanley D.  
Postural influences on thoracic impact  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979
- ( 302 ) Powell, W.R., Advani, S.H., Clark, R.N., Ojala, S.J.,  
Holt, D.J.  
Investigation of femur response to longitudinal impact  
Conf. Proc. 18 th Stapp, 1974, S. 539-556
- ( 303 ) Powell, W.R., Ojala, S.J., Advani, S.H., Martin, R.B.  
Cadaver femur responses to longitudinal impacts  
Conf. Proc. 19 th Stapp, 1975, S. 561-579
- ( 304 ) Prasad, P., Daniel, R.P.  
A biomechanical analysis of head, neck, and torso injuries to child surrogates  
due to sudden torso acceleration  
Conf. Proc. 28 th Stapp, 1984, S. 25-40
- ( 305 ) Pritz, H. B.  
Comparison of the dynamic responses of anthropomorphic test devices and human  
anatomic specimens in experimental pedestrian impacts  
Conf. Proc. 22th Stapp, 1978
- ( 306 ) Ramet, M., Cesari, D.  
Etat de la question sur les tolerances du segment thoracique  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 307 ) Ramet, M., Cesari, D.  
Behaviour of restrained dummies and cadavers in frontal impacts  
Conf. Proc. 4 th IRCOBI, 1979, S. 210-222
- ( 308 ) Ramet, M., Cesari, D.  
Experimental study of pelvis tolerance in lateral impact  
Conf. Proc. 4 th IRCOBI, 1979, S. 243-249
- ( 309 ) Reader, D.C.  
Head acceleration and psychomotor performance  
Proc. of 3 rd International Meeting on the Simulation and Reconstruction of Im-  
pacts in Collisions, 1978, S. 110-117
- ( 310 ) Reidelbach, W.  
Die Sicherheit von Insassen von Personenkraftwagen  
Technische Überwachung Nr. 9, 7/1966, S. 297-303
- ( 311 ) Rether, R., Kalbe, P., Otte, D.  
Eignung von Verletzungsschwere-Skalen zur Beurteilung der Erstversorgung und der  
Langzeit-Verletzungsfolgen  
Konkreßbericht Jahrestagung 1986 der Dt. Ges. für Verkehrsmedizin, Unfall- und  
Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 56, 1986, S. 74-81

- ( 312 ) Ripperger, E.A., Unterharnscheidt, F.J.  
Prototypes of head injuries: Application to animal experiments  
Conf. Proc. 1st IRCOB1, 1973
- ( 313 ) Ritter, G. u.a.  
Experimentelle Untersuchungen über die elastische Druckverformung des  
Knochenschafftes  
Zeitschrift für Orthopädie, 111, 1973, S. 791-795
- ( 314 ) Ritter, G., Grünert, A.  
Experimentelle Untersuchungen zu den mechanischen Eigenschaften des Knochens im  
Hinblick auf die Druckosteosynthese  
Archiv für Orthopädie und Unfall-Chirurgie, 75, 1973, S. 302-316
- ( 315 ) Road Research Laboratory (RRL)  
Human tolerance to impact  
RRL-Leaflet 158/1970
- ( 316 ) Robbins, D.H.  
Three dimensional simulation of advanced automotive restraint systems  
SAE 700421, 1970
- ( 317 ) Robbins, D.H., Melvin, J.W., Stalnaker, R.L.  
The prediction of thoracic impact injuries  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976, S. 697-730
- ( 318 ) Robbins, D.H., Melvin, J.W., Stalnaker, R.L., Eppinger, R.H.  
Prediction of lateral thoracic impact injuries  
Conf. Proc. 3rd IRCOB1, 1977
- ( 319 ) Roberts, S.B., Pathak, S.K.  
Torsional behaviour of the human femur  
Conf. Proc. 3rd IRCOB1, 1977
- ( 320 ) Roberts, V.L., Jackson, F.R., Berkas, E.M.  
Heart trauma due to blunt trauma to the thorax  
Conf. Proc. 10 th Stapp, 1966, S. 242-248
- ( 321 ) Roberts, V.L., Lissner, H.R.  
A correlation between cadaver and in vivo results  
Conf. Proc. 8 th Stapp, 1964, S. 134-146
- ( 322 ) Roberts, V.L., McElhoney, J.H.  
Review of head injury tolerance to direct impact  
Conf. Proc. 1st IRCOB1, 1973
- ( 323 ) Romanus, B., Nordstrom, G., Sundstrom, E., Seeman, T.  
The effect of thoracic compression on cardiopulmonary function in pigs  
Conf. Proc. 4th IRCOB1, 1979, Addendum
- ( 324 ) Rouhana, S. W., Ridella, S. A., Viano, D. C.  
The Effect of limiting impact force on abdominal injury: a preliminary study  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 325 ) Rybicki, E.F., Simonen, F.A., Weis, E.B.  
On the mathematical analysis of stress in the human femur  
Journal of Biomechanics, 5, 1972, S. 203-215

- ( 326 ) Ruter, G., Hontschik, H.  
Determination of injury threshold levels by reconstruction of real road accidents  
Conf. Proc. 2nd IRCOBI, 1975
- ( 327 ) Sacreste, J., Brun-Cassan, F., Foyon, A., Tarriere, C., Got, C.,  
Patel, A.  
Proposal for a thorax tolerance level in side impacts based on 62 tests performed  
with cadavers having known bone condition  
Conf. Proc. 26th Stapp, 1982
- ( 328 ) Sances jr, A., Myklebust, J., Cusick, J.F., Weber, R.,  
Houterman, C., Larson, S.J., Walsh, P., Chilbert, M.,  
Prieto, T., Zyvoloski, M., Ewing, C., Thomas, D., Saltzberg, B.  
Experimental studies of brain and neck injury  
Conf. Proc. 25th Stapp, 1981
- ( 329 ) Sances, A., Myklebust, J., Kostreva, D., Cusick, J.F.,  
Weber, R., Houterman, C., Larson, S.J., Maiman, D., Walsh, P.,  
Chilbert, M., Unterharnscheidt, F., Ewing, C., Thomas, D.,  
Siegesmund, K., Ho, K., Saltzberg, B.  
Pathophysiology of cervical injuries  
Conf. Proc. 26th Stapp, 1982
- ( 330 ) Sances, A., Weber R., Myklebust, J., Cusick, J., Larson, S.,  
Walsh, P., Christoffel, T., Houterman, C., Ewing, C.,  
Thomas, D., Saltzberg, B.  
The evoked potential: An experimental method for biomechanical analysis of brain  
and spinal injury  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980
- ( 331 ) Sauter, A.J.M., Klopper, P.J., van Faassen, F., Keeman J.N.  
Fat embolism after static and dynamic load, an experimental investigation  
Conf. Proc. 5th IRCOBI, 1980
- ( 332 ) Scharf, J.H.  
Bau und Funktion des Knochens  
Zbl. Chirurgie, 5/1960
- ( 333 ) Schiechel, F.A.  
Das Pendel- oder Schleudertrauma  
Ztschr. d. Verkehrsmedizin, 11, 1965, S. 13-18
- ( 334 ) Schmidt, G.  
Die Belastbarkeit des Halses und der Schädelbasis bei indirektem Trauma  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 335 ) Schmidt, G.  
Versuchsdaten als Grundlage einer gerichtsmedizinischen Rekonstruktion von Ver-  
kehrsunfällen  
Beiträge zur gerichtlichen Medizin, 32, 1974
- ( 336 ) Schmidt, G.  
The eye as a factor influencing soft tissue injuries  
Conf. Proc. 4 th IRCOBI, 1979, S. 143-150
- ( 337 ) Schmidt, G., Kallieris, D.  
Rekonstruktion des Unfallherganges bei Halsverletzungen  
Zeitschrift für Rechtsmedizin, 72, 1973, S. 1-7

- ( 338 ) Schmidt, G., Kallieris, D., Barz, J., Mattern, R., Klaiber, J.  
Neck and thorax tolerance levels of belt-protected occupants in head-on collisions  
Conf. Proc. 19 th Stapp, 1975, S. 225-258
- ( 339 ) Schmidt, G., Kallieris, D., Barz, J., Mattern, R., Schulz, F.  
Belastbarkeitsgrenze und Verletzungsmechanik der angegurtenen Fahrzeuginsassen  
Forschungsvereinigung Automobiltechnik Schriftenreihe, Nr. 6, 1978
- ( 340 ) Schmidt, G., Kallieris, D., Barz, J., Mattern, R., Schulz, F.,  
Schuler, F.  
Belastbarkeitsgrenzen des angegurtenen Fahrzeuginsassen bei Frontalkollision  
Forschungsvereinigung Automobiltechnik Schriftenreihe, Nr. 15, 1980
- ( 341 ) Schneider, D.C., Nohum, A.M.  
Impact studies of facial bones and skull  
Conf. Proc. 16 th Stapp, 1972, S. 186-203
- ( 342 ) Schueler, F., Mattern, R., Schmidt G.  
Dynamic fronto-occipital head loading of helmet-protected cadavers  
Biomechanics of impacts in road accidents (proceedings), Commission of the  
European Communities, Luxembourg, 1984
- ( 343 ) Seemann, M. R., Huzzy III, W. H., Lustick, L. S.  
Comparison of human and hybrid III head and neck dynamic response  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 344 ) Sellier, K.  
Das Schödel-Hirn-Trauma  
Ztschr. Rechtsmedizin, 68, 1971, S. 239-252
- ( 345 ) Simons, C.F., Herting, D.N.  
Strength of human neck  
North American Aviation Inc., Space and Inf. Sept. Division, Accession Nr.  
09233-65, SID 65-1180, 1965
- ( 346 ) Slattenschek, A., Tauffkirchen, W.  
Kritische Betrachtung der Bewertungsverfahren von Stößen gegen den menschlichen  
Kopf  
SAE 700426, 1970
- ( 347 ) Smith, F.P.  
Experimental biomechanics of intervertebral disc rupture through a vertebral body  
J. Neurosurgery, Vol 30, 1969
- ( 348 ) Smith, R. W.  
The response of unembalmed cadaveric and living cerebral vessels to graded injury  
- a pilot study  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979
- ( 349 ) Snyder, D.J.  
Bowel injuries from automobile seat belts  
The American J. of Surgery, Vol. 123, III, 1972, S. 312-316
- ( 350 ) Snyder, R.G.  
Human impact tolerance  
SAE 700398, 1970

- ( 351 ) Snyder, R.G.  
Impact injury tolerances of infants and children in free fall  
Conf. Proc. 13 th AAAM 10, 1969, S. 131-164
- ( 352 ) Sonntag, R.W., Newson, W.A., Leverett, S.D., Kirtland, V.E.  
Use of contoured restraint systems in exposure of large primates to 150 g impact  
Conf. Proc. 12 th Stapp, 1968, S. 201-206
- ( 353 ) Spann, W., Beier, G.  
Zur Entstehung und Deutung der Unterschenkelfraktur  
Hefte zur Unfallheilkunde, 117, 1974
- ( 354 ) Stalhammar, D.  
Experimental brain damage from fluid pressure due to impact acceleration  
Conf. Proc. 2nd IRCOBI, 1975
- ( 355 ) Stalnaker, R. L., Ulman, M. S.  
Abdominal trauma - review, response, and criteria  
Conf. Proc. 29th Stapp, 1985
- ( 356 ) Stalnaker, R.L., McElhoney, J.H., Roberts, V.L.  
Human torso response to blunt trauma  
Proc. of the Symposium on Human Impact Response held at the GM Research  
Laboratories, Warren, Michigan, 1972
- ( 357 ) Stalnaker, R.L., Melvin, J.W.  
Human tolerance to lower extremities impacts  
Conf. Proc. IRCOBI, 1976, S. 362-374
- ( 358 ) Stalnaker, R.L., Melvin, J.W., Nusholtz, G.S., Alem, N.M.,  
Benson, J.B.  
Head impact response  
Conf. Proc. 21st Stapp, 1977
- ( 359 ) Stapp, J.P.  
Human tolerance to deceleration  
The Am. Journ. of Surg. 93/1957
- ( 360 ) States, J.D., Miller, S.R., Seiffert, U.W.  
Volkswagen's passive seat belt/knee bolster restraint, VWRA: a preliminary field  
performance evaluation  
Conf. Proc. 21st Stapp, 1977
- ( 361 ) Stcherbatcheff, F., Fayon, A., Torriere, C.  
Simulation biomechanique des membres inferieurs  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 362 ) Stürtz, G.  
Correlation of dummy-loadings with real injuries of children by repetition tests  
Conf. Proc. 5th IRCOBI, 1980, S. 194-208
- ( 363 ) Stürtz, G.  
Repetition of real child pedestrian accidents using a high instrumented dummy  
Proc. of 3 rd International Meeting on the Simulation and Reconstruction of Im-  
pacts in Collisions, 1978, S. 234-247
- ( 364 ) Stürtz, G.  
Biomechanical data of children  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980

- ( 365 ) Swearingen, J.J.  
Tolerances of the human face to crash impact  
Federal Aviation Agency, Office of Aviation Medicine AM 65-20, 1965
- ( 366 ) Tomaska, K., Hinz, P.  
Kehlkopfverletzungen bei Schleudertrauma der Halswirbelsäule  
Ztschr. für Verkehrsmedizin, 15, 1969, S.98-104
- ( 367 ) Tarriere, C.  
Synthesis of human tolerances obtained from lateral impact simulations  
7th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Paris, 1979
- ( 368 ) Tarriere, C. et al  
Reconstruction of side collisions  
8th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Wolfsburg 1980
- ( 369 ) Tarriere, C., Foyon, A., Wolfisch, G.  
Human tolerances to impact and protection measures  
CCMC Report 7-74
- ( 370 ) Tarriere, C., Leung, Y.C., Foyon, A., Got, C., Patel, A.,  
Banzet, P.  
Field facial injuries and study of their simulation with dummy  
Conf. Proc. 25th Stapp, 1981
- ( 371 ) Tarriere, C., Sticherbatheff, G., Duclos, P., Foyon, A.  
The influence of the shape of the vehicle on the severeness of pedestrian in-  
juries  
3rd Int. Congress of Automotive Safety 1974, Kap. 25
- ( 372 ) Tarriere, C.H.E.  
Re-pressurized cadaver head impacts - some findings  
Wayne State University symposium on head injury prevention, December 4, 1985
- ( 373 ) Tertsch, D.  
Gedeckte Schädel-Hirn-Traumen durch Aufprallverletzungen  
Mschr. Unfallheilkunde, 1968, S. 22-25
- ( 374 ) Thibault, L.E., Gennarelli, T.A.  
Biomechanics of diffuse brain injuries  
10th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 375 ) Thomas, C., Foret-Bruno, J.Y., Hartemann, F., Tarriere, C.,  
Got, C., Patel, A.  
Influence of age and restraint force value on the seriousness of thoracic in-  
juries sustained by belted occupants in real accidents  
Conf. Proc. 4th IRCOBI, 1979, S. 49-62
- ( 376 ) Thomas, L.M., Sezgin, Y., Hodgson, V.R., Cheng, L.K.,  
Gurdjian, E.S.  
Static deformation and volume changes in the human skull  
Conf. Proc. 12 th Stapp, 1968, S. 260-270
- ( 377 ) Trollope, M.L., Stalnaker, R.L., McElhoney, J.H., Frey, C.  
Injury tolerance levels in blunt abdominal trauma  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 378 ) TRRL  
Human tolerances to impact  
Leaflet LF 311, issue 2

- ( 379 ) U.S. Federal Register 26688, Vol. 51 No. 143, July 25, 1986 (Docket 74-14, Notice
  
- ( 380 ) Unterharnscheidt, F.J.  
Die traumatischen Hirnschaden, Mechanogenese, Pathomorphologie und Klinik  
Zeitschr. für Rechtsmedizin, 71, 1972, S. 153-221
  
- ( 381 ) Verdan, C.  
Les points de vue du traumatologue  
In: "Schädigungen der Wirbelsäule, verursacht durch Fahrzeuge" , 11. Vortragstagung des ACS, Lausanne, März 1967
  
- ( 382 ) Verriest, J.P.  
Etude du comportement dynamique du système tête-cou lors de l'application de forces sinusoïdale de faible amplitude chez l'enfant age 9 a 11 ans  
Proc. of Biomech. of trauma in children, 1974
  
- ( 383 ) Verriest, J.P., Chapon, A.  
Experimental study of thorax tolerance to seat belt loads  
Biomechanics of impacts in road accidents (proceedings), Commission of the European Communities, Luxembourg, 1984
  
- ( 384 ) Verriest, J.P., Chapon, A.  
Validity of thoracic injury criteria based on the number of rib fractures  
10th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
  
- ( 385 ) Verriest, J.P., Chapon, A., Trauchessec, R.  
Cinephotogrammetrical study of porcine thoracic response to belt applied load in frontal impact - comparison between living and dead subjects  
Conf. Proc. 25th Stapp, 1981
  
- ( 386 ) Versace, J.  
Safety test performance levels  
6th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Washington, 1976
  
- ( 387 ) Viano, D. C.  
Considerations for a femur injury criterion  
Conf. Proc. 21st Stapp, 1977
  
- ( 388 ) Viano, D. C., Culver, C. C.  
Performance of a shoulder belt and knee restraint in barrier crash simulations  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979
  
- ( 389 ) Viano, D. C., Culver, C. C., Haut, R. C., Melvin, J. W.,  
Bender, M., Culver, R. H., Levine, R. S.  
Bolster impacts to the knee and tibia of human cadavers and an anthropomorphic dummy  
Conf. Proc. 22th Stapp, 1978
  
- ( 390 ) Viano, D. C., Culver, C. C., Prisk, B. C.  
Influence of initial length of lap-shoulder belt on occupant dynamics - a comparison of sled testing and MVMA - 2D modeling  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980
  
- ( 391 ) Viano, D. C., Kroell, C. K., Warner, C. Y.  
Comparative thoracic impact response of living and sacrificed porcine siblings  
Conf. Proc. 21st Stapp, 1977

- ( 392 ) Viano, D. C., Melvin, J. W., McCleary, J. D., Madeira, R. G.,  
Shee, T. R., Horsch, J. D.  
Measurement of head dynamics and facial contact forces in the hybrid III dummy  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 393 ) Viano, D. C., Warner, C. Y., Hoopes, K., Mortenson, C.,  
White, R., Artinian, C. G.  
Sensitivity of porcine thoracic responses and injuries to various frontal and a  
lateral impact site  
Conf. Proc. 22th Stapp, 1978
- ( 394 ) Viano, D., Lou, I.  
Thoracic impact: A viscous tolerance criterion  
10th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 395 ) Viano, D.C.  
Thoracic injury potential  
Proc. of 3 rd International Meeting on the Simulation and Reconstruction of Im-  
pacts in Collisions, 1978, S. 142-156
- ( 396 ) Viano, D.C.  
Femoral impact response and fracture  
Conf. Proc. 5th IRCOB1, 1980
- ( 397 ) Viano, D.C.  
Perspectives on head injury research  
Conf. Proc. IRCOB1, 1985, S. 159-176
- ( 398 ) Viano, D.C., Gadd, C.W.  
Significance of rate of onset in impact injury evaluation  
Conf. Proc. 19th Stapp, 1975, S. 807-819
- ( 399 ) Viano, D.C., States, J.D.  
Dive impact tests and medical aspects of a 70 year old stunt diver  
Conf. Proc. 19th American Association for Automotive Medicine, 1975, S. 101-115
- ( 400 ) Viano, D.C., Warner, C.Y.  
Thoracic impact response of five porcine subjects  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976, S. 731-766
- ( 401 ) Vinz, H.  
Die festigkeitsmechanischen Grundlagen der typischen Frakturformen des Kindesal-  
ters  
Zentralblatt für Chirurgie #5/1969, S. 1509-1514
- ( 402 ) Vogt, L.H., Kruse, H.E., Hohlweck, H., May, E.  
Mechanical impedance of supine humans under sustained acceleration  
Aerospace Medicine, Vol. 44, Nr. 2, 1973
- ( 403 ) Voigt, G.E.  
Die Biomechanik stumpfer Brustverletzungen, besonders von Thorax, Aorta und Herz  
Hefte zur Unfallheilkunde, 96/1968, S. 146-152
- ( 404 ) Wagner, R.  
A 30 mph front/rear crash with human test persons  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979



- ( 405 ) Wolfisch, G., Chamouard, F., Fayon, A., Tarriere, C., Got, C.,  
Guillon, F., Patel, A., Hureau, J.  
Facial protection of motorized two-wheeler riders. New features of a specifica-  
tion for "full face" helmet  
Conf. Proc. IRCOBI, 1984, S. 193-212
- ( 406 ) Wolfisch, G., Chamouard, F., Lestrelin, D., Fayon, A.,  
Tarriere, C., Got, C., Guillon, F., Patel, A., Hureau, J.  
Tolerance limits and mechanical characteristics of the human thorax in frontal  
and side impact and transposition of these characteristics into protection  
criteria  
Conf. Proc. 7 th IRCOBI, 1982, S. 122-139
- ( 407 ) Wolfisch, G., Chamouard, F., Lestrelin, D., Tarriere, C.,  
Brun-Cassan, F., Mack, P., Got, C., Guillon, F., Patel, A.,  
Hureau, J.  
Predictive functions for thoracic injuries to belt wearers in frontal collisions  
and their conversion into protection criteria  
Conf. Proc. 29th Stapp, 1985
- ( 408 ) Wolfisch, G., Fayon, A., Leung, Y.C., Tarriere, C., Got, C.,  
Patel, A.  
Synthesis of abdominal injuries in frontal collisions with belt-wearing cadavers  
compared with injuries sustained by real-life accident victims. Problems of simu-  
lation with dummies and protection criteria  
Conf. Proc. 4 th IRCOBI, 1979, S. 151-164
- ( 409 ) Wolfisch, G., Fayon, A., Tarriere, C., Chamouard, F.,  
Guillon, F., Got, C., Patel, A., Hureau, J.  
Human head tolerance to impact: Influence of the jerk (rate of onset of linear  
acceleration) on the occurrence of brain injuries  
Conf. Proc. 6 th IRCOBI, 1981, S. 286-296
- ( 410 ) Wolfisch, G., Fayon, A., Tarriere, C., Rosey, J.P., Guillon, F.,  
Got, C., Patel, A., Stalnakar, R.L.  
Designing of a dummy's abdomen for detecting injuries in side impact collisions  
Conf. Proc. 5th IRCOBI, 1980, S. 149-164
- ( 411 ) Wall, J., Lowne, R.W., Harris, J.  
The determination of tolerable loadings for car occupants in impacts  
6th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Washington, 1976
- ( 412 ) Wall, J.C., Hutton, W.C., Cyron, B.M.  
The effects of age and strain rate on the mechanical properties of bone  
Proc. of Biomech. of trauma in children, 1974, S. 185-193
- ( 413 ) Wall, J.G., Lowne, R.W.  
Human injury tolerance level determination from accident data using the  
Opat-dummy  
5 th Int. Techn. Conf. on Exp. Safety Vehicles, London, 1974
- ( 414 ) Wallfeld, S.W. von  
Augenverletzungen durch den Bruch von Windschutzscheiben  
Dissertation Universitat Hamburg, 1968
- ( 415 ) Walsh, M. J., Kelleher, B. J.  
Evaluation of air cushion and belt restraint systems in identical crash situa-  
tions using dummies and cadavera  
Conf. Proc. 22th Stapp, 1978

- ( 416 ) Walsh, M., Kelleher, B.  
Head and neck injuries in human cadavers from lateral impacts  
10th Int.Techn.Conf. on Exp. Safety Vehicles, Oxford, 1985
- ( 417 ) Walsh, M.J., Romeo, D.J.  
Results of cadaver and anthropomorphic dummy tests in identical crash situations  
Conf. Proc. 20 th Stapp, 1976, S. 107-132
- ( 418 ) Ward, C. C.  
Finite element models of the head and their use in brain injury research  
Conf. Proc. 26th Stapp, 1982
- ( 419 ) Ward, C., Chan, M., Nahum, A.  
Intracranial pressure - a brain injury criterion  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980
- ( 420 ) Ward, C., Nahum, A.  
Correlation between brain injury and intracranial pressures in experimental head impacts  
Conf. Proc. 4 th IRCOBI, 1979, S. 133-142
- ( 421 ) Ward, C.C.  
Dynamic biofidelity of the part 572 and hybrid III anthropomorphic test dummy heads  
Conf. Proc. IRCOBI/AAAM, 1985, S. 177-190
- ( 422 ) Wilfert, K.  
Sicherheitsprobleme bei der Entwicklung von Personenwagen  
ATZ 69/2, 1967, S. 48-53
- ( 423 ) Willich, J.H.  
Computer-Verfahren zur Nachahmung einer Unfallperson beim Frontalzusammenstoß  
ATZ, 71/3, 1969
- ( 424 ) Wisnans, J., Maltha, J., Melvin, J.W., Stalnaker, R.L.  
Child restraint evaluation by experimental and mathematical simulation  
Conf. Proc. 23th Stapp, 1979
- ( 425 ) Wisnans, J., Oorschot van, H., Woltring, J.H.  
Omni-directional human head-neck response  
Conf. Proc. 30th Stapp, 1986
- ( 426 ) Wisnans, J., Spenny, C.H.  
Head-neck response in frontal flexion  
Conf. Proc. 28 th Stapp, 1984, S. 161-172
- ( 427 ) Wisnans, J., Spenny, C.H.  
Performance requirements for mechanical necks in lateral flexion  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983
- ( 428 ) Wissner, W., Leroy, J., Baudel, J.  
Human impact tolerance: State of the art  
SAE 700399, 1970
- ( 429 ) Wolf, M.L.  
Neue Hilfsmittel für die Sicherheitsforschung im Automobilbau  
ATZ 72/5, 1970

- ( 430 ) Wuermeling, H.B., Struck, G.  
Hirnstammrisse bei Verkehrsunfällen  
Beiträge zur gerichtlichen Medizin 23/1965, S. 297-301
- ( 431 ) Wyss, T., Ulrich, S.P.  
Festigkeitsuntersuchungen und gezielte Extensionsbehandlung der Lendenwirbelsäule unter Berücksichtigung des Bandscheibenzerfalles  
Vj. schr. Naturforsch. Ges., Zurich, 3-4/1954
- ( 432 ) Young, J.W., Chanler, R.F., Fisher, R.G.  
Experimental trauma of occipital impacts  
Conf. Proc. 1st IRCOBI, 1973
- ( 433 ) Zaborowski, A.V.  
Human tolerance to lateral impact with lap belt only  
Conf. Proc. 8 th Stapp, 1964, S.34-71
- ( 434 ) Zaborowski, A.V.  
Lap belt, shoulder harness investigations  
Conf. Proc. 9 th Stapp, 1965, S. 93-127
- ( 435 ) Zehnder, M.A.  
Unfallmechanismus und Unfalltechnik der Aortenruptur im geschlossenen Thoraxtrauma  
Thoraxchirurgie 8/47, 1960, S. 47-65
- ( 436 ) Ziffer, D.  
Beitrag zur Biomechanik des Aufpralls auf Windschutzscheiben  
ATZ, 71/3, 1969, S. 90 ff.
- ( 437 ) Ziffer, D.  
Biomechanische Fragestellungen in Bezug auf Schutzhelme, Sicherheitsgurtzeuge (für Automobilisten) und Windschutzscheiben im Automobilbau  
CID1TVA Bulletin 22 und 23, 1965, Brussel
- ( 438 ) Ziffer, D.  
Das Verhalten der Halswirbelsäule in Verbindung mit der Schädelbasis und der oberen Brustwirbelsäule bei schlagartiger Druck- und bei schlagartiger Zugbeanspruchung  
Zbl. Verkehrsmed. 13, 1967, S. 193-217
- ( 439 ) Ziffer, D.  
Das Verhalten der Halswirbelsäule in Verbindung mit der Schädelbasis und der oberen Brustwirbelsäule bei Stürzen auf Sicherheitsglas für Automobil-Frontscheiben  
Zbl. Verkehrsmed. 13, 1967, S. 218-224
- ( 440 ) Ziffer, D.  
Schadenslinie (Vulnerabilitätsgrenze) für menschliche Halswirbelsäulen aus Stoßversuchen bestimmt  
Zbl. Verkehrsmed, 14, 1968, S. 241-245
- ( 441 ) Zink, P.  
Mechanische Eigenschaften lebensfrischer und totenstarrer menschlicher Skelettmuskelfasern und ganzer Muskeln  
Ztschr. Rechtsmedizin, 70, 1972, S. 163-177

- ( 442 ) Burgett, A., Hackney, J.R.  
Status of the National Highway Traffic Safety Administration's  
research and rulemaking activities for upgrading side  
impact protection  
7th Int. Tech. Conf. on Exp. Safety Vehicles, Paris, 1979
- ( 443 ) Farisse, J. et al.  
A detailed injury severity scale for lower limbs  
based on analysis of injuries sustained by pedestrians  
Conf. Proc. 27th Stapp, 1983, S. 329 - 350
- ( 444 ) Grösch, L.  
Örtliche Messung der Flächenpressung mittels  
Druckmeßfolie beim Crash-Test  
VDI-Berichte Nr. 632, 1987, S. 365 - 378
- ( 445 ) Mattern, R., Kallieris, D.  
Meß- und versuchstechnische Möglichkeiten der Prädiktion  
von Insassenverletzungen als biomechanische Grundgrößen  
bei der Entwicklung der inneren Fahrzeugsicherheit  
VDI-Berichte Nr. 632, 1987, S. 317 - 332
- ( 446 ) Newman, J.A.  
Head injury criteria in automotive crash testing  
Conf. Proc. 24th Stapp, 1980, S. 701 - 747
- ( 447 ) Nusholtz, G.S., Melvin, J.W., Alem, N.M.  
Head impact response comparisons of human surrogates  
Conf. Proc. 23rd Stapp, 1979, S. 497 - 542
- ( 448 ) Patrick, C.M., Andersson, A.  
Three-point harness accident and laboratory  
data comparison  
Conf. Proc. 18th Stapp, 1974, S. 201 - 282
- ( 449 ) Searle, J.A., Bethell, J., Baggaley, G.  
The variation of human tolerance to impact and its effect  
on the design and testing of automotive testing performance  
Conf. Proc. 22nd Stapp, 1978, S. 1 - 32

7 Appendix

Composition of appendix:

The elements of the appendix are arranged following to the climbing number of reference; for the reason that not every reference does include tables, the resulting sequence from 1 to 427 shows some blanks.

For example the expression "9 S.1037, 1038" means, that the tables presented here will be found in reference no. 9 on pages 1037 and 1038.

## 7 Anhang

Zum Aufbau des Anhangs:

Die einzelnen Teile des Anhangs sind nach aufsteigenden Quellen-Nummern geordnet; da nicht jede Quelle auch Tabellen enthält, ergibt sich eine lückenhafte Reihe von 1 bis 427.

Beispielsweise bedeutet die Angabe "9 S.1037,1038", daß sich die dargestellten Tabellen in der Quelle Nr. 9 auf den Seiten 1037 und 1038 befinden.



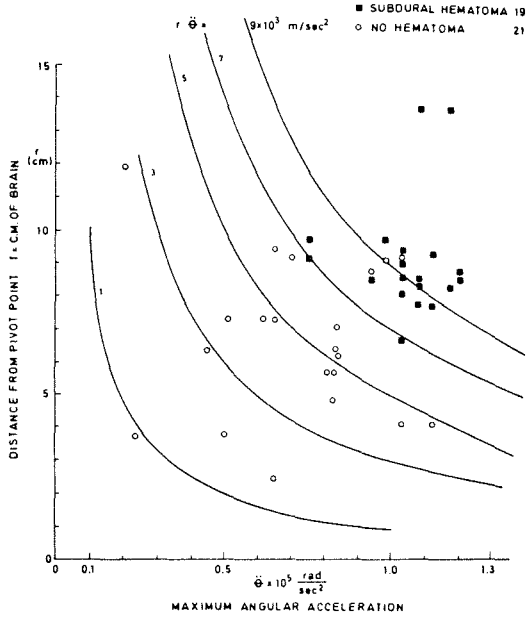


Fig. 8 - Incidence of subdural hematoma as functions of  $r, \dot{\theta}$



Table 1. Medial collateral ligament; tensile test.

Test no	Elongation mm	Time s	Strain rate mm/s	Stiffness kN/mm	Comments
1	7.2	1	7	.06	Knee intact
2	5.3	.07	76	.13	Knee intact
3	2.6	.02	130	.17	Knee intact
4	6.4	1	6	.07	Cruciate ligaments cut
5	2.7	.02	140	.15	Cruciate ligaments cut
6	2.5	.02	125	.34	Tensile strength .83 kN

Table 1. Specimen data

Test Conditions	Test No.	Age/Sex	Weight kg	Specimen Tibia Length mm	Condyle Width mm	Constitution
A: loaded = 32km/h	1	83M	6.0	370	80	Ordinary
	2	71M	7.0	360	78	Ordinary
	3	91F	5.5	330	73	Ordinary
	4	67M	6.0	360	81	Sturdy
	5	78M	6.0	340	80	Ordinary
B: unloaded = 32km/h	6	74M	8.0	350	85	Sturdy
	7	84F	7.0	360	75	Ordinary
	8	75M	8.0	380	81	Sturdy
	9	63M	6.0	360	80	Ordinary
	10	84F	7.0	330	73	Ordinary
C: unloaded = 20km/h	11	67F	6.5	330	74	Ordinary
	12	75F	9.0	380	86	Sturdy
	13	81M	8.5	360	88	Ordinary
	14	86M	7.5	360	86	Ordinary
	15	70F	6.5	350	77	Ordinary

Table 2. Kinetic data

Test Conditions	Test No.	Peak Impact Force		Peak Acceleration		
		Bonnet Edge	Bumper	Ankle Joint	Impact Level	Knee Joint
		kN	kN	g	g	g
A: loaded = 32km/h	1	0.9	2.6	45	78	72
	2	0.8	2.8	40	65	70
	3	2.0	2.6	35	67	65
	4	1.2	2.5	40	65	65
	5	1.2	2.6	27	63	68
B: unloaded = 32km/h	6	0.8	3.1	50	78	54
	7	1.5	2.5	40	74	65
	8	1.3	2.7	30	62	66
	9	1.4	2.5	38	62	68
	10	3.0	3.1	20	98*	102*
C: unloaded = 20km/h	11	1.4	1.7	30	50	46
	12	0.8	2.4	40	44	34
	13	0.8	2.4	36	43	35
	14	1.0	2.0	26	60	34
	15	0.7	2.0	28	42	43

\* Some injury was noted at the accelerometer mounting

**Table 3. Nonminor damage (ADS = 2) and knee instability parameters**

Test Conditions	Test No.	Fracture of the Tibia Condyle (ADS)	Rupture of the Knee Ligaments <sup>1</sup> and Capsule (ADS)				Instability Parameters <sup>2</sup>					Maximum ADS
			M	A	P	C	e deg	v deg	r deg	KAI deg	s cm	
A: loaded V = 32km/h	1	3	3	0	0	3	11	24	20	55	0.7	3
	2	0	3	0	3	3	3	29	41	73	0.3	3
	3	0	3	3	3	3	28	34	68	130	2.1	3
	4	3	3	3	0	0	7	33	32	72	0.6	3
B: unloaded V = 32km/h	5	0	3	3	3	3	18	30	44	92	0.7	3
	6	0	3	0	0	3	0	13	14	27	0.3	3
	7	0	3	3	3	3	8	22	27	57	0.7	3
	8	0	3	3	0	3	14	11	26	41	0.2	3
C: unloaded V = 20km/h	9	0	2	0	0	0	2	6	15	23	0.2	2
	10	0	3	3	3	3	13	22	33	68	0.8	3
	11	0	3	0	0	2	0	13	13	26	0.3	3
	12	0	2	0	0	0	4	5	5	14	0.2	2
	13	0	2	2	0	0	1	1	0	2	0.1	2
	14	0	2	0	0	2	1	6	11	18	0.0	2
	15	0	3	3	3	2	2	32	41	75	0.5	3

<sup>1</sup> M = the medial collateral ligament, A = the anterior cruciate ligament, P = the posterior cruciate ligament, C = the capsule of the knee (A behind the ADS number indicates that there was slightly less severe damage than the number itself defines)

<sup>2</sup> e = hyperextension increment, v = [vargus+] valgus bending increment (20° flexion), r = inward + outward lower leg rotation increment (20° flexion), s = sagittal translation increment (20° flexion), KAI = e+r+s = the total Knee Angular Instability increment

Table III. Experimental test data.

Exp. No.	Age and sex	Body weight (kg)	Bumper type and level (cm)	Impact angle (°)	Velocity (km/h)	Acceleration impact level (g)	Acceleration ankle level (g)	Bumper Force (kN)	Ground friction force (kN)	Injury	AIS
1	62 m	70	1 25	+ 80	16	115	75	1.9	.4	Undisplaced bimalleolar fracture	2
2	15 m (80)	4/	1 45	+ 25	16	75	60	3.3	.8	Femoral epiphyseal fracture	3
3	56 m	75	1 45	+ 85	17	160	40	2.5	.4	Rupture of the medial ligament of the knee	3
4	60 m	60	1 45	+ 85	17	160	15	3.1	.6	Partial rupture of the medial ligament of the knee	2
5	40 m	80	1 45	+ 85	17	190	30	3.7	.8	Femoral fr. at the mass connexion	-
6	57 m	70	1 45	+ 30	17	200	60	2.7	< .1	Knee ligament sprain	2
7	15 f	50	1 25	+ 85	16	120	80	.9	.3	Rupt. of the anterior part of the deltoid ligament	2
8	50 m	80	1 25	+ 80	17	70	90	1.1	.5	Rupt. of the anterior part of the deltoid ligament	2
9	72 f	50	1 25	+ 85	24	190	110	.9	.2	Fr. of tibia and fibula at impact level	3
10	78 m	50	1 25	+ 85	23	160	160	1.4	.5	Undisplaced bimalleolar fract.	2
11	81 f	45	1 25	+ 80	17	90	110	.6	.2	Fr. of the medial malleolus + fr. of fibula at impact level	2
12	58 m	75	1 45	+ 85	23	170	40	3.6	.3	Femoral fr. at the mass connexion	-
13	79 m	75	1 45	+ 80	24	160	50	3.3	< .1	Femoral fr. at the mass connexion + rupt. of the medial ligament of the knee	(2)
14	61 m	75	1 25	- 75	24	170	140	1.7	.7	Rupt. of the anterior talofibul. ligam.	3
15	42 m	80	1 45	- 75	24	110	110	1.7	< .1	Rupt. of the lateral ligament of the knee	3
16	75 m	55	1 45	- 80	23	160	95	1.3	< .1	Undisplaced patellar fr. + rupt. of the posterior cruciate ligament	3
17	- f (55)	4/	11 45	- 80	23	> 80	60	1.3	.2	Compression fr. of the medial tibial condyle	3
18	16 m (65)	4/	11 45	+ 75	23	120	130	1.5	< .1	Undisplaced tibial epiphyseal fracture	2 1/
19	- m (75)	4/	11 25	+ 80	23	190	160	1.1	< .1	No injury	0
20	- f (55)	4/	11 25	+ 80	24	150	180	1.0	.2	Fr. of the medial malleolus + fr. of fibula at impact level	2
21	78 f (12)	4/	11 45	+ 75	24	145	30	.8	< .1	Fr. of femur at the mass connexion + small fr. of the lateral tibial plateau	(2) 2/
22	56 m	70	11 45	- 80	24	175	150	1.8	.2	Knee ligament sprain	2
23	72 f	55	11 45	+ 75	23	175	55	.8	.1	Comminuted fr. of the femoral condyle	3
24	53 f (60)	4/	11 45	+ 75	23	175	105	.8	< .1	Avulsion fr. of the medial ligament of the knee	3 3/
25	91 f	60	11 45	- 75	23	210	90	1.9	.2	Fr. of the tibial plateau + fr. of the fibular head	3
26	72 f	60	11 45	- 75	24	> 110	55	1.1	.4	Rupture of the lateral ligament of the knee	3 3/
27	65 f (60)	4/	11 45	- 75	23	> 155	75	1.7	.2	Rupture of the lateral ligament of the knee	3 3/
28	69 f	45	11 45	+ 80	17	155	75	.7	< .1	Part-rupt. of the medial ligam. of the knee + rupt. of the talofibular ligament	3 3/
29	33 f	55	11 25	- 75	23	175	> 150	1.0	.3	Fr. of tibia at impact level + fr. of fibula at the ankle	3
30	76 m	55	11 25	- 80	17	110	150	.8	.7	No primary injury	3/
31	70 m	70	11 25	+ 75	24	160	160	1.2	.3	Fr. of tibia and fibula at imp. lev.	3/3
32	92 m	75	11120-45	+ 75	23	70	95	.7	.4	Undisplaced fr. of the medial malleolus	2 3/
33	72 m	80	11120-45	+ 80	23	70	140	.7	.5	Undisplaced fr. of the medial malleol.	2
34	71 m	75	11 25	+ 80	24	175	160	1.3	.3	No injury	0
35	82 f (55)	4/	11 25	- 75	24	170	160	.5	.3	Fr. of tibia and fibula at imp. lev.	3
36	92 f (55)	4/	11120-45	- 75	24	90	160	.7	.2	Undisplaced bimalleolar fr. + fr. of the fibular head	2

1/ The leg was tilted 5° in the direction of impact.

2/ A reduced "body mass" (12 kg) was used.

3/ A "late" femoral fracture occurred at the mass connexion.

4/ The number in brackets denotes the actual load used.

Table 2 - Comparison of mid-severity tests chest results

TEST DATE	RUN ID	LOW	MID	HIGH	SEVERITY	CADAVER ID & NO	WGT cm	HGT kg	AGE yrs	CAUSE OF DEATH
03-21-74	A-720	...	...	...	...	WBR-1				[ Trial run to check out system]
05-09-74	A-725	A-726	...	...	...	WBR-2 (#19942)	167.3	47.7	78	coronary pulmonary
04-11-75	A-865	A-866	...	...	...	WBR-3 (#20150)	173.7	57.3	59	ruptured aortic aneurism in abdomen
06-03-75	A-869	...	...	...	...	WBR-4 (#20194)	165.5	61.5	82	pneumonia
06-17-75	A-870	A-874	...	...	...	WBR-5 (#20208)	170.6	83.9	49	cardiac arrest
07-01-75	A-875	A-881	A-882	...	...	WBR-6 (#20218)	169.7	88.0	60	adeno carcinoma of pancreas
10-03-75	A-925	A-926	...	...	...	WBR-7 (#20261)	178.5	71.9	82	cancer
11-20-75	A-934	A-936	...	...	...	WBR-8 (#20287)	172.6	60.1	85	cardiac arrest (embalmed)
12-16-75	A-938	...	...	...	...	WBR-9 (#20336)	172.7	62.3	50	natural cirrhosis chronic thrombosis
02-03-76	...	...	...	...	...	WBR-10 (#20372)	174.4	62.8	57	lung cancer (embalmed)
02-03-76	...	...	...	...	...	WBR-11 (#20418)	170.6	73.9	88	septicemia
04-28-76	...	...	...	...	...	WBR-12 (#20447)	168.3	61.9	47	cancer of colon, hepatic metastasis
06-09-76	...	...	...	...	...	WBR-13 (#20483)	175.5	75.3	73	cancer of prostate
07-06-76	...	...	...	...	...	WBR-14 (#20500)	168.3	75.8	57	lung cancer
07-13-76	...	...	...	...	...	WBR-15 (#20508)	169.3	84.1	72	(unlisted)

Table 3 - Whole-Body Response tests and cadavers record

TEST NO.	SEV. RITY	LUNGS PRESS?	OTHER CONDITIONS AND INJURY RECORD
WBR-9	H	yes	Fractured ribs #2, 3 and 4 on left side; ribs #4 and 5 on right side.
WBR-10	H	no	(embalmed specimen) Fractured ribs #2 and 3 on left side; ribs #3, 4, 5, 6 and 7 on right side. Sternum fractured in one place.
WBR-11	H	yes	Fractured ribs #3 and 4 on left side; ribs #3, 4, 5, 6 and 7 on right side.
WBR-12	H	yes	Fractured ribs #2 and 3 on right side. Sternum fractured in three places.
WBR-13	H	yes	Fractured ribs #1, 2, 3 and 4 on left side; ribs #1 through #7 on right side. Sternum fractured in one place. Left clavicle dislocated.
WBR-14	H	yes	(cadaver in very good condition prior to sled test) Fractured ribs #3, 4 and 5 on left side; ribs #3, 5, 6, 7 and 8 on right side. Sternum fractured in one place.
WBR-15	H	yes	(also, brain vascular system pressurized and brain vas. pressure measured.) Fractured ribs #1 through #7 on left side; ribs #1 through #9 on right side. Sternum fractured two places. Complete separation of ribs at fractures. Extensive pericardium hemorrhage.

Table 3 - Whole-Body Response tests and cadavers record (continued)

TEST NO.	SEV. RITY	LUNGS PRESS?	OTHER CONDITIONS AND INJURY RECORD
WBR-7	M,H	no	Fractured ribs #2, 4, 5 and 6 on left side; #1, 3, 4, 5, 6 and 7 on right side. Sternum fractured in three places. Pneumothorax on both sides.
WBR-4	M,H	yes	Fractured ribs #2, 3, 4(two places) and 5 on left side; #2, 3 and 4 on right. Sternum fractured in one place. Left clavicle was fractured.
WBR-5	M,H	no	Fractured ribs #1 and 6 on left side; #3, 4, 5 and 6 on right side. Sternum was fractured in one place. The acromial articular surface was dislocated, as was the head of the humerus.
WBR-6	L,M	yes	Fractured ribs #2(four places), 3(two places) and 4(two places) on left side; ribs #2(two places), 3(two places), 4, 5, 6(two places), 7 and 8 on right side. Pneumothorax. Blood was found inside the pericardium.
WBR-7	...	yes	Fractured ribs #2 through #7 on left side; ribs #1 through #7 on right side. Sternum fractured in three places. Pneumothorax on left side.
WBR-8	M,H,H	no	(embalmed specimen) Fractured ribs #1, 2, 3 and 4 on left side; ribs #1 through #7 on right side. Sternum fractured in one place. Clavicle broken.

TABLE 1 - DESCRIPTION OF TEST SUBJECTS

Test No.	Subject			Head Dimensions (cm)			
	Age	Wt. (kg)	Ht. (cm)	Lch. (A-P)	Wth. (L-R)	Ht. (S-I)	Circum.
79H201				19.8	17.7	24.2	57.8
79H202				19.7	14.7	22.6	56.5
79H203				18.5	15.0	23.3	54.7
79H204				19.5	15.4	22.8	55.8
79H205				21.2	15.4	23.7	59.2
81H401	59	74.9	170	20.1	13.5	23.8	56.7
81H402	41	52.3	171	20.7	14.3	24.1	56.9
81H403	64	44.7	172	18.4	14.7	25.0	54.0
81H404	65	62.9	184	20.4	15.5	18.9	75.2
81H405	49	85.8	182	19.7	16.0	23.7	57.5
81H406	72	64.7	166	19.4	15.5	21.4	56.5
81H407	63	55.9	169	17.9	14.5	23.4	53.0
81H408	63	69.9	175	20.3	15.0	23.6	57.0
81H410	66	81.5	177	20.0	15.6	23.1	58.1
81H411	63	50.5	171	20.4	15.9	23.7	54.0
81H412	66	54.5	178	20.3	15.0	22.9	58.5

TABLE 2 - TEST CONDITIONS

Test No.	Neck Angle	Head Angle	10-kg Impactor	
			Velocity (m/s)	Padding (cm)
H201	--	--	8.0	5.1
H202	--	--	8.0	5.1
H203	--	--	8.0	5.1
H204	--	--	8.0	5.1
H205	--	--	8.0	5.1
H401	30°	--	8.4	5.1
H402	20°	--	10.9	5.1
H403	25°	100°	10.9	5.1
H404	25°	95°	7.8	5.1
H405	5°	80°	7.7	5.1
H406	5°	80°	8.0	5.1
H407	5°	--	9.2	5.1
H408	10°	100°	9.7	5.1
H409	5°	--	10.4	0.0
H410	30°	--	9.0	5.1
H411	--	--	7.2	5.1
H412	10°	--	7.1	5.1
H413	0°	--	9.0	0.5
H414	--	--	6.9	0.5

TABLE 3 - RESULTS OF AUTOPSIES

Test	Injuries
H402	Bilateral fracture T2 lamina at base of spinous process. Anterior body of T2 extremely compressed.
H403	Ruptured C2-C3 and C3-C4 discs, with anterior longitudinal ligament torn between C3-C4. Anterior-inferior chip fracture of C2 body. Vertical fracture of posterior C2 body. C3/C4 spinous process tip fractures. T1-T2 disc rupture with wedge fracture of T2 body. Rupture of posterior longitudinal T1-T2 ligament producing complete bilateral dislocation between T1 and T2. Fracture of T2 left transverse process. Partial separation of anterior longitudinal ligament at upper body of T2. All inter-spinal ligaments torn between T1-T2. Left first rib fractured adjacent to T1.
H404	Nearly complete tear of anterior longitudinal ligament at disc between C3-C4.
H406	Bilateral fracture of posterior C1 arch. Fracture of C2 dens. Fracture of spinous process of C3 and C4. Fracture of right lamina of C7. Fracture of anterior-superior T1 body.
H407	Rupture of anterior longitudinal ligament and disc between C5 and C6.
H408	Tear of anterior longitudinal ligament between C3 and C4. Tear of anterior longitudinal ligament between C4-C5 disc. Bilateral fracture of C1 posterior arch. Anterior inferior C2 body fracture extending through C2-C3 disc. Compression fracture of upper body of T2. Compression fracture of lower body of T3.
H409	Circular depressed fracture at apex of skull under impactor.
H410	Anterior longitudinal ligament torn, discs C3-C4 and C4-C5. Rupture of discs C3-C4 and C4-C5. Rupture of central portion of discs C5-C6 and C6-C7. Fracture of anterior of C4 body.
H412	Teardrop fracture of lip of C5 with complete anterior longitudinal ligament tear. Bilateral tears of anterior longitudinal ligament at C4. Rupture of disc at C4 and C5.
H413	Basilar skull fracture, from the foramen magnum area to the the bilateral areas.

TABLE 4 - IMPACT FORCE PARAMETERS

Test No.	Contact Force of 10-kg impactor			
	Peak (N)	Length (ms)	Impulse (N.s)	Energy (J)
H201	5100	15	---	---
H202	5210	12	---	---
H203	4400	14	---	---
H204	3930	17	---	---
H205	4800	16	---	---
H401	4200	15	34	61
H402	11000	9	49	122
H403	10500	6	40	82
H404	4000	14	36	65
H405	4100	15	35	61
H406	4000	22	48	115
H407	4500	13	40	82
H408	6000	16	49	118
H409	15000	3	36	66
H410	5200	20	42	88
H411	4100	19	35	61
H412	3000	20	35	61
H413	17000	3	26	33
H414	16000	3	24	29

TABLE 5 - HEAD KINEMATIC RESPONSE

Test No.	HIC	Peak Acceleration		Peak Velocity	
		Linear (G)	Angular (rad/s <sup>2</sup> )	Linear (m/s)	Angular (rad/s)
H201	325	67	4880	5.1	20
H202	286	63	5590	4.7	31
H203	333	80	2310	5.6	15
H204	249	72	2610	4.7	15
H205	167	64	2910	4.4	15
H401	--	130	7500	8.4	41
H403	1031	160	8100	8.1	41
H405	145	48	4000	3.7	39
H406	288	70	4200	5.8	29
H407	503	99	3690	6.9	25
H408	316	85	5080	5.9	28
H410	238	72	2200	5.0	16
H411	76	48	1150	3.5	7
H412	61	45	1400	3.5	12

NOTE: Tests M409 and M413 had skull fractures. No head 3-D analysis was done.

TABLE 6 - PEAK SPINAL RESPONSE

Test No.	Acceleration (G)			Velocity (m/s)		
	T1	T6	T12	T1	T6	T12
H201	68	---	31	2.1	---	2.7
H202	226	---	119	3.4	---	6.7
H203	60	---	111	2.4	---	2.1
H204	96	---	32	2.2	---	2.1
H205	78	---	30	2.7	---	2.1
H401	49	44	22	1.6	2.7	1.3
H403	130	91	27	2.4	3.0	1.6
H404	180	64	24	3.5	3.5	1.3
H405	46	41	12	1.7	2.0	1.0
H406	70	54	15	2.4	2.5	1.0
H408	59	88	20	2.2	1.7	1.1
H410	48	17	7	---	---	---
H411	12	15	7	---	---	---

TABLE 7 - NECK REACTIONS AT CONDYLES

Test No.	Peak Forces (N)			Peak Moments (N.m)		
	A-P	L-R	S-I	A-P	L-R	S-I
H201	1652	693	3491	61	91	43
H202	1268	432	2836	127	65	48
H203	1018	381	2945	75	85	16
H204	1343	491	2527	64	47	32
H205	1578	509	3163	170	107	68

TABLE 8 - ESTIMATES OF HEAD PARAMETERS

Test No.	Mass (kg)	Moments of Inertia, (kg.m <sup>2</sup> )		
		Ixx	Iyy	Izz
H201	4.23	0.0234	0.0228	0.0245
H202	3.85	0.0162	0.0186	0.0169
H203	3.32	0.0124	0.0145	0.0134
H204	3.64	0.0156	0.0174	0.0163
H205	4.64	0.0246	0.0274	0.0253
H401	3.91	0.0163	0.0206	0.0173
H402	3.96	0.0184	0.0224	0.0192
H403	3.11	0.0114	0.0142	0.0126
H404	4.05	0.0168	0.0168	0.0164
H405	4.14	0.0201	0.0216	0.0212
H406	3.85	0.0162	0.0172	0.0167
H407	2.81	0.0086	0.0110	0.0095
H408	3.99	0.0186	0.0215	0.0195
H410	4.32	0.0208	0.0226	0.0217
H411	3.11	0.0138	0.0159	0.0145
H412	4.44	0.0211	0.0237	0.0218

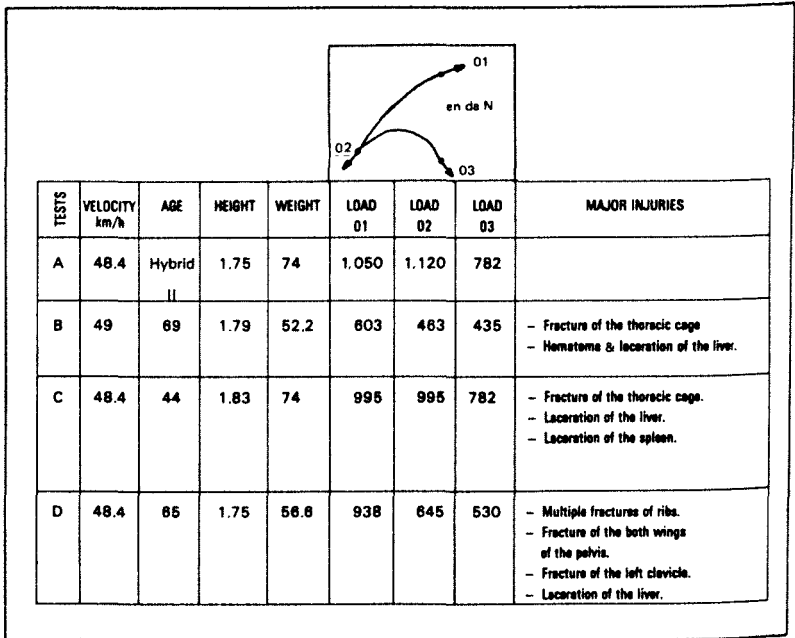


Figure 4. Results of tests performed by CALSPAN (Contract DOT NS-5-01017).



TABLE I TEST CONDITIONS

Exp. No.	Spec. No.	Age, sex	Weight, kg	Specimen		Bone mineral content (BMC) g/cm	Simul. body weight, kg	Impact angle (°)	Bonnet edge height, cm	Bumper Lead angle, deg	Level, cm	Tyre	Velocity, km/h
				Tibia length, cm	Condyle width, mm								
1	40	68m	5.6	38	88	11.7	23	70	71	85	42	R	20
2	41	87m	6.0	37	88	16.7	23	80	71	85	42	R	25
3	42	75m	5.5	37	81	15.1	23	70	71	85	42	R	25
4	43	79f	5.5	37	80	9.4	71	70	71	85	42	R	27
5	44	61m	6.5	39	96	15.1	71	70	71	85	42	R	28
6	49	81f	4.5	33	76	10.8	26	70	71	60/75	42	D	26
7	53	79m	6.7	38	88	15.7	26	70	71	60/75	42	D	25
8	54	77m	6.3	39	84	15.4	45	70	71	60/75	42	D	25
9	57	78m	4.5	35	79	12.5	45	70	71	75/90	23	D	26
10	58	90m	6.5	42	88	17.0	45	70	71	75/90	23	D	26
11	55	75m	5.6	37	84	13.0	45	70	52	60/75	23	D	26
12	56	89f	5.0	35	76	10.9	45	70	52	60/75	23	D	26
13	59	92f	5.3	36	86	18.3	45	70	82	45/50	23	D	26
14	60	47m	5.7	34	82	11.8	45	70	82	45/50	23	D	26
15	45	36m	5.5	37	87	9.6	71 <sup>1)</sup>	70	-	-	23	D <sup>3)</sup>	27
16	46	77f	6.2	39	81	10.9	71	70	-	-	23	D <sup>3)</sup>	26
17	47	69m	5.5	32	84	14.3	71	70	-	-	23	D	26
18	48	82m	5.5	39	97	12.3	71	70	-	-	23	D	26
19	50	84f <sup>6)</sup>	4.5	37	82	13.1	26 <sup>2)</sup>	9	71	60/75	42	D	25
20	51	86m	5.5	37	87	9.6	26 <sup>2)</sup>	9	71	60/75	42	D	25
21	52	66m	5.5	32	84	14.3	26 <sup>2)</sup>	9	71	60/75	42	D	25
22	61	92f	5.3	36	86	18.3	45	70	71	60/75	42	D	26
23	62	75m	5.6	37	84	13.0	45	70	71	60/75	42	D	26
24	63	47m	5.7	34	82	11.8	45	70	71	60/75	42	D	26

1) Load on platform: 45 kg  
 2) Load on platform: 5-10 kg, knee flexed 45 degrees  
 3) In experiments no. 6-24: values with the aluminium tube intact and compressed

4) Rigid metal bumper,  
 D deformable bumper  
 5) Without padding  
 6) Knee contraction

Table 2

Kinetic data

Exp No	Spec No	Impact force		Leg rotation		Acceleration			Body mass (g)
		Bonnet edge (KN)	Bumper (KN)	Velocity at 200 ms (deg/s)	Max angle (deg)	Lower leg (g)	Femur (g)		
1	40	1.2	1.1	275	150	55	110	-	
2	41	1.9	2.9	350	-	105	115	30	
3	42	1.9	2.6	300	110	95	112	15	
4	43	-	-	325	160	-	-	-	
5	44	2.2	2.9	225	170	115	125	35	
6	49	1.6	1.2	210	170	80	45	15	
7	53	0.9	1.5	370	130	80	-	10	
8	54	2.9	1.1	480	170	110	-	10	
9	57	7.3	1.1	210	170	100	95	-	
10	58	5.0	1.4	-	120	80	75	-	
11	55	3.4	1.6	400	-	120	-	20	
12	56	3.1	1.4	325	140	100	-	20	
13	59	6.4	1.5	275	140	90	-	45	
14	60	4.0	1.1	275	120	90	-	5	
15	45	-	0.9	175	120	165	70	45	
16	46	-	1.0	140	130	95	70	20	
17	47	-	1.2	250	90	105	105	10	
18	48	-	1.3	250	90	100	40	15	
19	50	-	1.0	250	170	60	90	15	
20	51	0.9	0.5	-	-	55	-	20	
21	52	1.7	0.6	380	170	25	-	25	
22	61	2.8	1.1	650	170	-	55	10	
23	62	3.8	1.3	525	170	-	65	10	
24	63	3.9	1.4	-	-	-	70	30	

Table 3 Injuries (AIS)

Exp No	Spec No	Knee						Lower leg		Ankle joint		Knee instability (KI)	Knee injury per	Knee injury cause	Comments
		Fracture cond	Tib cond	Me dia	Lu tra	Ant cruc	Post cruc	Fracture Tib	Fracture Fib	Fracture	Lig inj				
1	40	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	-	+	+	
2	41	0	0	3	0	3	3	0	0	0	0	-	+	+	
3	42	0	0	3	0	3	2	0	0	0	0	5.0	+	+	
4	43	0	0	3	0	3	3	0	2	2	0	10	+	+	
5	44	0	3	3	7	0	0	0	0	0	0	3.9	+	+	
6	49	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	-	+	+	?
7	53	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	+	+	?
8	54	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	1.4	+	+	?
9	57	0	0	2	3	0	2	0	0	2	2	-	-	+	
10	58	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2.3	-	+	
11	55	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0.4	-	+	
12	56	0	0	3	3	0	3	0	0	0	0	2.2	-	+	
13	59	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	<0.1	-	-	
14	60	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	<0.1	-	-	
15	45	0	0	-	-	-	-	0	0	2	0	0.2	+	-	
16	46	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	<0.1	+	-	
17	47	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	<0.1	-	-	
18	48	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	-	+	+	
19	50	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	-	+	-	
20	51	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	-	-	=15
21	52	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0.8	+	-	=17
22	61	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0.2	+	-	=13
23	62	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3.0	+	-	=11
24	63	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0.2	+	+	=14

Table 2 Car front configurations

Configuration	Bumper level cm	Bumper type
I	45.0	rigid
II	45.0	compliant
III	32.5	rigid
IV	32.5	compliant

Table 3 Knee instability parameters

e =	Hyperextension increment	(deg)
v =	Varus + valgus bending increment (20° flexion)	(deg)
r =	Inward + outward lower leg rotation increment (20° flexion)	(deg)
s =	Sagittal translation increment (20° flexion)	(mm)

Table 4 Test conditions and specimen data

Front con- figu- ration	Test	Spec	Specimen					
	No	No	Age/ sex	Weight kg	Tibia length cm	Condyle width mm	Bone mineral content (BMC) g/cm	Constitution
I = high/ rigid	1	68	61 m	5,3	40	83	18,9	Ordinary
	2	69	80 m	6,0	35	87	16,8	Ordinary
	3	77	77 m	4,7	35	90	9,4	Slender
	4	78	81 f	6,0	36	85	13,1	Sturdy
	5	79	77 m	6,0	38	89	12,3	Ordinary
II = high/ compliant	6	64	71 m	5,2	39	86	16,7	Ordinary
	7	65	76 f	5,7	35	82	21,7	Ordinary
	8	74	65 m	6,0	37	98	13,0	Sturdy
	9	75	72 m	6,5	38	87	14,7	Sturdy
	10	76	54 m	6,5	42	106	15,7	Sturdy
III = low/ rigid	11	67	73 f	5,7	38	83	7,7	Ordinary
	12	71	73 f	6,0	37	82	12,5	Ordinary
	13	72	75 m	5,0	35	84	9,1	Ordinary
	14	80	86 m	6,3	39	85	12,2	Ordinary
	15	81	-	6,2	37	91	15,1	Ordinary
IV = low/ compliant	16	66	74 f	5,3	35	78	13,7	Ordinary
	17	70	75 f	5,0	34	74	12,2	Ordinary
	18	73	83 f	4,0	35	80	14,3	Slender
	19	82	76 m	5,3	38	88	9,2	Ordinary
	20	83	69 m	8,0	40	97	15,0	Sturdy

Table 5 Kinetic data.

Front configuration	Test No	Spec No	Velocity km/h	Peak impact force		Leg angular velocity, sec <sup>-1</sup>	Peak acceleration		Knee joint g
				Bonnet force kN	Bumper force kN		Ankle joint g	Impact level g	
I = high/rigid	1	66	31.0	1.6	6.9	10.9	50	230	85
	2	65	31.0	1.7	7.5	11.8	60	260	80
	3	77	31.0	2.6	7.0	22.6	50	285	75
	4	78	31.0	1.7	7.9	23.6	60	295	75
	5	79	31.0	0.6	7.8	23.6	50	245	75
II = high/compliant	6	64	31.6	1.5	2.3	-	30	95	60
	7	65	31.6	2.7	2.4	-	20	85	85
	8	74	31.0	2.0	2.7	23.0	30	70	20
	9	75	31.0	1.8	2.6	22.1	45	85	75
	10	76	31.0	0.6	2.6	16.9	45	160	30
III = low/rigid	11	67	31.0	0.8	3.7	8.0	-	225	85
	12	71	31.0	1.6	4.7	-	55	275	60
	13	72	31.0	1.1	4.9	21.3	80	200	75
	14	80	31.0	0.6	4.8	20.9	75	270	40
	15	81	31.0	0.8	5.3	19.7	85	280	60
IV = low/compliant	16	66	31.6	0.9	2.3	12.9	70	70	60
	17	70	31.0	1.6	2.4	13.2	60	80	50
	18	73	31.0	0.7	1.9	15.0	80	115	25
	19	82	31.0	0.8	2.1	20.1	50	120	20
	20	83	31.0	1.3	2.3	20.9	60	80	30

Table 6 Non-minor injuries (AIS ≥2) and knee instability parameters. (e + v + r = KAI; s; see Table 3). ML indicates the medial collateral ligament, AC the anterior cruciate ligament, and PC the posterior cruciate ligament of the knee. Minor injuries (AIS < 2) are indicated with 0.

Front configuration	Test No	Spec No	Knee joint										Lower leg			Ankle joint	AIS max		
			Fracture			Ligament injuries							s mm	Tib. fr.	Fib. fr.			Fr.	Lig. inj.
			Fem. con	Tib. con	ML	AC	PC	e deg	v deg	r deg	KAI deg								
I = high/rigid	1	68	0	3-	3	0	0	3	19	28	50	0.3	0	0	0	0	2	3	
	2	69	0	0	3	3	0	5	21	47	73	0.7	0	0	0	0	0	3	
	3	77	0	3-	3	3	0	7	19	18	44	1.0	0	2	0	0	2	3	
	4	78	0	0	3	3-	3	6	21	29	56	0.9	0	0	0	0	0	3	
	5	79	0	0	3	3-	0	4	10	17	31	0.8	0	0	0	0	0	3	
II = high/compliant	6	64	0	3	0	0	0	-	-	-	-	-	3	2	0	0	0	3	
	7	65	3	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	3	
	8	74	0	0	3	0	2	13	12	34	59	0.8	0	0	0	0	0	3	
	9	75	0	0	2	2	3-	10	6	4	20	0.2	0	0	0	0	0	3-	
	10	76	0	0	2	0	0	0	5	1	6	0.1	0	0	0	0	0	2	
III = low/rigid	11	67	0	3	0	2	2	5	24	23	52	1.0	0	2	2	2	2	3	
	12	71	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	3	2	0	0	0	3	
	13	72	0	3-	0	0	0	4	8	19	31	0.3	0	2	0	0	0	3-	
	14	80	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	3	2	0	0	0	3	
	15	81	0	0	0	0	0	3	2	8	13	0.1	0	2	0	0	0	2	
IV = low/compliant	16	66	0	0	3-	0	0	2	10	21	33	0.3	0	0	0	0	0	3-	
	17	70	0	0	3-	0	0	3	9	19	31	0.1	0	0	0	0	0	3-	
	18	73	0	0	3	0	0	5	12	29	50	0.5	0	2	2	2	0	3	
	19	82	0	0	2	0	0	3	6	12	21	0.1	0	0	0	0	0	2	
	20	83	0	0	2	0	0	0	3	3	6	0.0	0	0	0	0	0	2	

Fig. N°: 20

FOC\*\*INJURIES HEAD & NECK

Number of injuries:FACE										
NUMBER	VEHICLE	SPEED	I1	I2	I3	I4	I5	I6	O.I.	
FOC 9/2	G+VD	10	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC 9/3	G+VD	10	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC 11/1	G+VD	10	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC 14/4	G+VD	20	1	0	0	0	0	0	0	0
FOC 17/4	G+VD	20	1	1	1	2	0	0	0	0
FOC 20/4	G+VD	20	1	1	1	1	0	0	0	0
FOC 22/3	G+VD	20	1	1	1	1	0	0	0	0
FOC 26/1	VISA	20	1	1	1	1	0	0	0	0
FOC 42/1	VISA	20	1	1	1	1	0	0	0	0
FOC 43/4	VISA	20	1	1	1	1	0	0	0	0
FOC 46/3	VISA MOD	20	1	1	1	1	0	0	0	0
FOC 82	VISA MOD	20	1	1	1	1	0	0	0	0
FOC 84	VISA MOD	20	1	1	1	1	0	0	0	0
FOC 27	GSA	20	1	1	1	1	0	0	0	10
FOC 30	GSA	20	1	1	1	1	0	0	0	5
FOC 31	GSA	20	1	1	1	2	0	0	0	2
FOC 13	GSA	20	1	1	1	1	0	0	0	2
FOC 15	GSA	20	1	1	1	4	0	0	0	6
FOC 16	VISA	20	1	1	1	1	0	0	0	6
FOC 18	VISA	20	1	1	1	3	0	0	0	10
FOC 43	VISA	20	1	1	1	1	0	0	0	15
FOC 54	GSA	20	2	2	2	1	0	0	0	6
FOC 61	VISA	20	1	1	1	1	1	0	0	12
FOC 53	X/GS	20	2	2	1	1	1	0	0	9
FOC 66	X/GS	20	1	1	1	1	1	1	0	15
FOC 67	X/GS	20	2	2	1	1	1	1	0	12
FOC 68	X/GS	20	1	2	1	1	1	1	0	7
FOC 69	X/GS	20	1	1	1	1	1	1	0	6
FOC 78	S05	20	1	1	1	1	1	0	0	7
FOC 81	S05	20	1	1	1	1	0	0	0	6
FOC 88	S05	20	2	2	2	1	0	0	0	14
FOC 90	S05	20	1	1	1	1	0	0	0	5
FOC 92	GSA	20	1	1	1	1	0	0	0	2
FOC 100	2CV	20	1	2	1	1	2	0	0	10
FOC 104	2 CV	20	2	2	1	1	0	0	0	7
FOC 105	2 CV	20	2	2	1	1	0	0	0	8
FOC 107	S05 MOD	20	2	2	1	1	0	0	0	14
FOC 108	S05 MOD	20	2	2	1	1	0	0	0	11
FOC 109	S05 MOD	20	1	1	1	1	0	0	0	6
FOC 110	S05 MOD	20	1	1	1	1	0	0	0	9
FOC 96	2 CV	20	4	1	1	1	0	0	0	16
FOC 05	VISA	39	1	1	1	1	0	0	0	5
FOC 07	VISA	39	1	1	1	1	0	0	0	17
FOC 09	GSA	39	1	1	1	2	0	0	0	10
FOC 11	GSA	39	1	1	1	2	0	0	0	14
FOC 50	GSA	39	1	1	1	2	1	1	0	12
FOC 73	VISA	39	1	1	1	1	1	1	0	15
			18	35	11	25	11	2	330	

Legend of the figures N°20 and 21:

FICHER : 1  
 DATE : 24/05/84  
 NOMBRE : 47

I1:Contusions (head and neck)

I2:Wounds (head and neck)

I3:Fractures of the skull

I4:Fractures of the face

I5:Fractures of the cervical spine

I6:Ruptures of ligaments (cervical spine)

O.I.:Injuries of the other segments  
 (Thorax;Pelvis;Upper and lower Extremities)

Fig. N°: 21 FOC\*\*INJURIES HEAD & NECK

Number of injuries :PROFILE										
NUMBER	VEHICLE	SPEED	11	12	13	14	15	16	0.1.	
FOC 97	G+VD	10	0	0	0	0	0	0	0	
FOC 117	G+VD	10	0	0	0	0	0	0	0	
FOC 147	G+VD	20	0	0	0	0	0	0	0	
FOC 177	G+VD	20		1						3
FOC 207	G+VD	20					1			4
FOC 227	G+VD	20	1			1				0
FOC 257	VISA	MO	1							3
FOC 287	VISA	MO	1							2
FOC 407	VISA	MO								4
FOC 437	VISA	MO								4
FOC 35	GSA			1						3
FOC 36	GSA			1						3
FOC 38	GSA			2						0
FOC 14	GSA									11
FOC 17	VISA			1						14
FOC 39	VISA									15
FOC 46	VISA			1	1	3				6
FOC 55	GSA		1	1						22
FOC 56	GSA		1							17
FOC 62	VISA		1							4
FOC 64	X/GS		1							24
FOC 65	X/GS		1							4
FOC 70	X/GS		1		1					9
FOC 71	X/GS									9
FOC 72	X/GS			2						4
FOC 79	50S			1						16
FOC 84	50S			1						4
FOC 87	50S			1						18
FOC 89	50S		2		2					8
FOC 91	GSA									19
FOC 97	2 CV		1							9
FOC 101	2CV			2	1					14
FOC 102	2 CV									15
FOC 103	2 CV									5
FOC 111	50S MOD		2							13
FOC 113	50S MOD									7
FOC 120	50S MOD			1						8
FOC 121	50S MOD						1			6
FOC 06	VISA			1						15
FOC 08	VISA			1						8
FOC 10	GSA			1				1		19
FOC 12	GSA			1		1				6
FOC 41	VISA			1						7
FOC 45	VISA			1			1	1		12
FOC 52	GSA		1		1	1				13
			15	22	10	6	3	2		288

FICHER : 1  
 DATE : 24/05/84  
 NOMBRE : 48

TABLE 1

Test #	AIS	Injuries
44	3	Fracture of the right ilio + ischio pubic rami sacro iliac disjunction non complete fracture of sacrum
83	3	Fracture of the right ischiopubic rami Fracture of the right femoral neck and collapse of the femoral head
64	3	Fracture of the right iliac wing Fracture of the right femoral shaft
92	3	Fracture of the right ilio and ischio pubic rami, fracture of the right femoral neck, sacro iliac disjunction
82	3	Fracture of ilio and ischio pubic rami Sacro iliac joint disjunction
46	2	Right femoral shaft fracture
15	2	Fracture of the right iliac wing
33	3	Fracture of the right ilio and ischio-pubic rami. Pubic symphysis disjunction.
43	2	Fracture of the right iliac wing
N7	3	Fracture of the right iliac wing, Fracture of the right ilio and ischio-pubic rami, Right sacro iliac disjunction.
96	3	Fracture of the right ilio and ischio-pubic rami and right sacro iliac disjunction.
85	2	Fracture of the sacrum
54	3	Collapse of the head of the right femur through the acetabulum, Fracture of the right and left ilio and ischio-pubic rami
72	3	Fracture of the right acetabulum, Fracture of the right ilio and ischio-pubic rami
V2	3	Multiple fracture of the right ilio and ischio pubic rami, Fracture of the right femoral neck.
W2	2	Fracture of the right femoral shaft
X2	3	Fracture of the right and left ilio and ischio pubic rami. Bilateral sacro iliac disjunction.
Y2	2	Fracture of right ilio and ischio pubic rami
Z2	3	Fracture of the right ilio and ischio pubic rami. Right sacro iliac disjunction.

TABLE 4

CADAVER	SEX	AGE	HEIGHT	WEIGHT	LIVI CORRECTED	
			cm	kg	INDEX WEIGHT	
A	F	70	167	58	22.9	39.5
B	F	84	154	70	26.4	62.3
C	M	69	173	78	24.3	75.4
D	F	63	160	52	23.0	53.0
F	F	59	152	55	24.7	52.3
H	M	69	175	86	24.9	81.0
I	M	65	181	63	21.7	68.2
J	M	75	177	63	22.2	66.7
K	M	75	171	55	21.9	59.0
L	M	71	175	85	25.1	74.6
M	M	68	165	62	24.0	60.7
N	M	54	184	86	26.0	86.2
O	M	70	160	79	26.8	69.5
R	M	80	180	82	25.1	86.1
S	M	79	166	64	24.4	61.6
T	F	79	164	64	23.7	63.6
V	M	61	162	50	22.7	51.8
W	M	85	170	68	24.0	66.6
X	F	54	162	56	23.6	55.8
Y	M	74	175	109	26.5	88.6
Z	M	67	167	58	23.2	58.8

TABLE 3

TEST #	SPEED KM/H	FORCE PEAK/MS	ACCEL. PEAK/MS	IMPULSE AIS N.g	
A1	21	4170/3355	-	63	0
A2	25.3	5800/4355	-	122	0
A3	30.0	6860/5220	-	163	0
A4	41.3	11140/8200	-	209	3
B1	21.0	5100/3240	-	71	0
B2	30.0	6260/5575	-	131	2
B3	34.9	8120/6200	-	161	3
C1	25.6	5620/5375	-	113	0
C2	32.0	10120/8070	-	136	0
C3	39.4	10140/9080	-	162	2
C4	47.5	13780/12920	-	232	3
D1	25.0	4410/3330	34	88	0
D2	30.8	5240/4720	45	115	3
E1	25.2	5520/4330	45	88	0
E2	31.1	5320/4440	34	112	3
F1	28.3	5630/4430	33	87	0
F2	31.1	1390/3330	25	43	0
F3	35.0	5610/4430	34	110	0
G1	25.5	4620/5395	27	82	0
G2	30.2	10740/13000	42	99	0
G3	34.0	11130/10640	40	114	0
H4	38.2	12590/10555	40	140	2
I1	25.5	19210/7730	39	77	0
I2	33.2	11040/8920	39	92	3
I3	35.5	11590/8440	49	115	0
I4	39.8	12690/8780	35	134	3
I5	40.1	13240/8435	80	157	2
J1	25.5	7720/5835	34	79	0
J2	30.6	6440/6110	30	124	0
J3	35.5	8270/6945	62	131	3
K1	25.0	9520/4665	34	73	0
K2	30.8	1170/4720	25	85	0
K3	35.0	8280/6720	40	102	0
L1	29.7	9330/8220	60	118	0
L2	35.0	11660/10275	60	130	0
L3	39.5	13330/11330	80	142	0
L4	44.6	15550/12770	120	174	0
M3	22.1	4330/3780	32	79	2
N5	33.0	8610/8390	59	110	0
N6	37.7	10000/9500	52	144	0
N7	41.1	10270/9580	72	163	3
O4	32.9	5695/5580	48	126	0
O5	37.8	6140/5890	51	142	0
O6	42.2	6830/6670	53	131	3
P1	36.5	9440/9280	48	163	0
P2	39.6	10694/10440	74	190	0
P3	43.4	12972/10750	81	168	0
P4	47.1	11806/11540	90	133	0
P5	50.5	12706/12060	95	137	2
Q2	36.1	7083/6640	54	126	0
Q3	40.7	6670/6500	60	137	0
Q4	44.4	7140/6590	65	143	3
R2	34.6	4611/445	33	107	3
R2	27.7	5740/4880	40	75	3
S2	30.0	7490/7165	56	84	2
X1	45.7	-	-	-	0
X2	53.2	7620/7220	52	172	3
Y2	53.9	11130/10750	65	225	2
Z1	45.5	7360/7150	25	158	0
Z2	52.0	9120/8760	79	180	3

Table 2 - Anthropometric data of ONSER cadaver tests

Test	Sex	Age	Height m	Weight kg	Li	Arm involved
TBF K	M	75	1.71	55	22.3	no
TBF M	M	68	1.65	62	24	yes
TBF N	M	54	1.84	86	24	yes
TBF O	M	70	1.60	79	26.8	yes
TBF P	M	65	1.64	60	23.9	yes
TBF R	M	80	1.80	92	25.1	no
TBF S	M	79	1.64	64	24.4	no
TBF T	F	79	1.44	40	23.8	yes

Table 3 - Results of ONSER dynamic tests

Test	Vi	Ti	$\Delta T$	Fmax	$\gamma_c$	NRF	AIS	MAIS	AIS
	km/hr	J	J	N	g		75	75	80
K1	14.7	193		1446		0	0	0	0
K2	22.4	448		1752		8	3	2.09	3
M1	10	89	57	917	14.6	0	0	0	0
M2	17.4	270	150	1945	35.1	7	3	2.01	2
N1	16.4	240	154	2793	10.2	0	0	0	0
N2	20.4	371	247	3592	13.6	0	0	0	0
N3	22.3	443	277	4315	16	5	3	1.87	2
O1	16.2	234	151	2111	13	0	0	0	0
O2	20.9	389	245	3107	18	0	0	0	0
O3	27.1	654	419	4075	27.6	19	4	3.39	4
P1	15.2	206	138	1935	18.6	0	0	0	0
P2	20.1	360	234	2552	16.5	4	3	1.79	2
R6	24.6	539	344	2900	26.9	9	4	2.66	4
S1	20.8	385	257	2219	17.4	14	4	3.02	4
T1	18.6	308	173	1906	8.4	10	4	2.73	4



Table 6 - Comparative results of HSRI and ONSEK tests  
without arm impact

Test nr	Age	Sex	Height	Weight	Impact	Thoracic injuries	AIS	NRF	MAIS	BLUE
year			m	kg	km/hr		%			
76T062*	69	M	1.74	50	15.3	7 left side rib fractures+heart muscle laceration	5	7	0	6.18
76T065*	63	M	1.79	95	15.3	aortic arch small superficial haemorrhage	1	0	0.1	1.78
77T071*	60	M	1.72	81	15.3	small superficial haemorrhage of pericardium and diaphragm	1	0	0.5	3.91
77T074*	60	M	1.77	54	15.3	2 left side rib fractures	2	2	1.2	6.32
77T077*	79	M	1.76	74	21.9	3 left side rib fractures with lung and pericardium contusion	3	3	1.7	6.44
77T080*	64	M	1.70	41	21.9	14 left rib and 2 right rib fractures with haemorrhage of aorta	4	16	3.1	6.31
K1	75	M	1.71	55	14.7		0	0	0	6.42
K2	75	M	1.71	55	22.4	4th to 16th right rib fracture on the middle part of the rib arch+4th left rib fracture associated with lung tears	3	8	2.1	6.79
R6	80	M	1.80	92	24.6	2nd right rib fracture on the anterior part+6th, 7th and 9th right rib fractures on the middle part+8th to 4th right rib fractures on the posterior part of the rib arch	4	9	2.3	5.97
S1	79	M	1.64	64	20.8	5th to 9th right rib fractures on the middle part of the rib arch+2nd to 5th right rib fractures on the anterior part+4th to 9th right rib fractures on the posterior part of the rib arch	4	14	3	6.08

\*HSRI tests

Table 7 - Comparative results of HSRI and ONSEK tests  
with arm impact

Test nr	Age	Sex	Height	Weight	Impact	Thoracic injuries	AIS	NRF	MAIS	BLUE
year			m	kg	km/hr		%			
M1	68	M	1.65	62	10		0	0	0	6.08
M2	68	M	1.65	62	17.4	2nd to 8th right rib fractures on the middle part of the rib arch	3	7	2	6.71
N2	54	M	1.84	86	20.4		0	0	0	6.52
N3	54	M	1.84	86	22.3	3rd to 7th right rib fractures on the middle part of the rib arch	3	5	1.9	6.93
O2	70	M	1.60	79	20.9		0	0	0	6.18
O3	70	M	1.60	79	27.1	2nd to 11th right rib fractures on the middle part of the rib arch+2nd to 10th right rib fractures on posterior arch+fracture on right humerus shaft	4	16	1.4	6.26
P1	65	M	1.64	60	15.2		0	0	0	5
P2	65	M	1.64	60	20.1	2nd to 5th right rib fractures on the middle part of the rib arch	3	4	1.8	6.26
T1	79	F	1.44	40	18.6	3rd to 10th right rib fractures on the middle part of the rib arch+4th and 5th left rib fractures	4	16	2.7	6.17

Test number	Car impact speed Vo (m/s)	Head impact speed Vta (m/s)	Vta/Vo	Cadaver height L (cm)	Contact length l (cm)	L/l
9.3	2.83	3.90	1.38	161	103	0.64
11.1	2.81	4.76	1.69	163	104	0.70
14.4	5.55	6.45	1.16	165	158	1.04
17.4	5.55	6.4	1.15	182	172	0.95
20.4	5.56	6.3	1.13	178	185	1.05
22.3	6.97	7.38	1.06	178	197	1.11
26.1	6.97	8.80	1.26	162	179	1.10
43.1	6.93	9.65	1.39	172	166	0.97
43.4	6.94	8.55	1.23	170	166	0.98
46.3	6.89	10.36	1.50	187	207	1.11
FOC.04	7.14	9.5	1.33	160	152	0.95

Table 3 : Head impact speed and location in facing tests

Test number	Car impact speed Vo (m/s)	Head impact speed Vta (m/s)	Vta/Vo	Cadaver height L (cm)	Contact length l (cm)	L/l
9.1	2.75	3.75	1.36	157	100	0.64
14.5	5.64	6.47	1.15	174	159	0.91
17.5	5.55	5.41	0.97	160	152	0.95
22.4	6.92	5.88	0.85	164	166	1.01
26.2	6.98	6.80	0.97	163	171	1.05
43.2	6.89	6.34	0.93	165	166	1.01
46.5	6.96	8.0	1.15	170	173	1.02
26.3	6.94	6.32	0.91	170	154	0.91
FOC.02	7.08	7	0.99	170	178	1.05
FOC.03	7.08	5.9	0.79	185	215	1.16

Table 4 : Head impact speed and location in profile tests

	Test	Sex	Height cm	Weight kg	OAIS	LESIONS
10 km/h - face	9/3	F	161	80	0	
	11/1	F	163	55	0	
20 km/h - face	14/4	M	165	34	2	right tibial plateau fracture and right patella fracture (AIS 2)
	17/4	M	182	67	2	forehead abrasion with fracture of the nose and of the left mandible (AIS 2) erosions of the knees (ais 1)
	20/4	M	178	74	2	frontal abrasion (AIS 1) knees and legs contusions, internal right knee condyle fracture (AIS 2)
10 km/h - Profile	9/1	F	157	49	0	
	11/2	M	174	46	0	
20 km/h - Profile	14/5	M	175	58	0	
	17/5	F	160	52	4	forehead erosions (AIS 1) liver superficial perforation (AIS 4) knee contusion, right head fibula fracture (AIS 2)
	20/3	F	162	56	4	nose abrasion (AIS 1) fracture of t6 (AIS 3) fractures of the right os pubis rami, internal right knee condyle fracture (AIS 3)

	Test	Sex	Height cm	Weight kg	OAIS	LESIONS
25 km/h - face	22/3	M	178	77	5	nose abrasion with fracture (AIS 2) fracture of C4 and C6 (AIS 5) fractures of right and left 5th and 6th ribs (AIS 3) fractures of internal right tibial plateau, rupture of the right ligamentum collaterale tibiale (AIS 3)
	26/1	F	172	55	1	forehead abrasion (AIS 1)
	43/1	M	172	65	2	forehead abrasion with nose fracture (AIS 2) left 5th and 6th ribs fracture (AIS 2) knees contusion (AIS 1)
	43/4	M	170	45	4	scalp and forehead contusion with right temporal fracture (AIS 4) right fibula fracture (AIS 2)
	46/3	M	187	87	1	forehead abrasion (AIS 1)
	FOC/02	M	170	70	2	forehead contusion with nose fracture (AIS 2) left fibula fracture with rupture of the ligamentum collaterale fibulare (AIS 2)
	FOC/04	F	160	49	2	forehead contusion with nose fracture (AIS 2) right fibula fracture, fracture of the external tibial plateau with rupture of the ligamentum collaterale fibulare (AIS 2)

	Test	Sex	Height cm	Weight kg	OAIS	LESIONS
25 km/h - Profile	22/4	F	164	60	2	forehead abrasion + nose fract. (AIS 2)
	26/2	F	163	58	5	forehead abrasion (AIS 1) fracture of the 6th to the 10th left ribs, spleen rupture, rupture of the ligamentum coronarium hepatis (AIS 4) right fibula fracture with rupture of the ligamentum collaterale tibiale, rupture of the left ligamentum collaterale fibulare (AIS 3)
	26/3	M	170	87	3	frontal abrasion (AIS 1) rupture of the left ligamentum collaterale fibulare and fracture of the left head fibula (AIS 3)
	43/2	F	165	57	2	right scalp and face abrasion (AIS 1) right fibula neck fracture, left fibula fracture (AIS 2)
	46/5	M	170	67	3	open comminuted fracture of the third upper part of the right tibia, fracture of the neck of the right fibula (AIS 3)
	FOC/03	M	185	80	4	right temporal abrasion (AIS 1) fracture of the 4th and the 6th left ribs with lung laceration (AIS 4) fracture of the head of the fibula (AIS 2)

Table 1 - Test results (cadavers A to F)

Test	Sex	Age	Height cm	Weight kg	Speed m/s	Force N	3 ms accel. g	Impulse N.s.	AIS	LESIONS
A1	F	70	167	58	5.83	4170		63	0	
A2					7.22	5800		122	0	
A3					8.33	6960		163	0	
A4					11.39	11140		209	3	fract. of right os pubis rami, sacro iliac disjunction non complete fracture of sacrum
B1	F	84	154	70	5.83	5100		71	0	
B2					8.33	6260		131	2	fract. of the anterior superior iliac spine
B3					9.72	8120		161	3	fract. of right ischio pubic ramus, fract. of femoral neck and collapse of the femoral head
C1	M	69	173	78	7.11	5620		113	0	
C2					8.89	10120		136	0	
C3					10.94	10120		162	2	fract. of the right iliac wing
C4					13.19	13780		232	2	fract. of right femoral shaft
D1	F	63	160	52	6.94	4410	34	88	0	
D2					8.56	5240	45	115	0	
D3					9.92	4530	23	131	3	fract. of right os pubis rami, fract. of right femoral neck, sacro iliac disjunction
E1	F	72	156	60	7.00	5520	45	88	0	
E2					8.64	5520	34	112	3	fract. of right os pubis rami, sacro iliac disjunction
F1	F	59	152	55	7.86	5790	33	89	0	
F2					8.64	3860	24	90	0	
F3					9.72	5520	24	111	0	

Table 2 - Test results (cadavers H to K)

Test	Sex	Age	Height cm	Weight kg	Speed m/s	Force N	3 ms accel. g	Impulse N.s.	AIS	LESIONS
H1	M	69	175	86	7.08	6620	27	82	0	
H2					8.39	10760	42	99	0	
H3					9.61	11040	46	126	0	
H4					10.61	12690	-	140	0	
H5					11.67	9930	-	171	2	right femoral fracture
I1	M	65	181	63	7.08	10210	39	77	0	
I2					8.41	11040	49	97	0	
I3					9.86	11590	49	115	0	
I4					11.05	12690	35	139	0	
I5					12.52	13240	80	157	0	
I6					13.72	11040	36	174	2	fracture of the right iliac wing
J1	M	75	177	63	7.08	7730	34	79	0	
J2					8.50	6070	30	124	0	
J3					9.89	8270	62	131	3	fract. of right os pubis rami, pubis symphysis disjunction
K1	M	75	171	55	6.94	5520	34	73	0	
K2					8.55	7170	35	85	0	
K3					9.81	8280	40	102	0	

TABLE 2  
Autopsy Results

Run No.	Cadaver No.	Age (yr)	Injury
15	172	46	Fx rt clavicle Fx rt 2nd, 3rd, 4th rib Fx lt 4th, 5th, 6th, 8th rib
16	164	60	Fx rt 2nd, 3rd, 4th, 5th rib Fx lt 3rd - 9th
18	170	21	Fx sternum
19	194	65	Fx rt 4th, 5th rib Fx lt 3rd, 4th rib
20	259	29	Fx sternum Fx rt 3rd - 8th rib Fx lt 2nd, 4th, 6th, 8th rib Avulsion of posterior cruciate ligament
21	286	58	Fx rt 4th rib Fx lt 2nd, 3rd, 4th rib
22	312	50	Fx rt 4th, 5th rib
23	362	63	Fx rt clavicle Fx rt 3rd rib Fx lt 3rd - 8th rib
24	371	58	Fx rt 3rd - 7th rib Fx lt 3rd - 10th rib Fx T2 Fx rt femur and both condyles Fx rt patella Fx lt femur and both condyles spleen laceration
25	375	58	Fx C4 Fx rt 2nd, 4th, 5th, 6th rib Fx lt 1st - 10th rib subluxation C1 sacral ligament tear
26	385	63	Fx sternum Fx rt 5th, 6th, 7th rib Fx lt 6th, 7th, 8th, 9th rib

TABLE 3  
Knee Angles

Phase	Run No.	Initial Knee Angle	Knee Angle at Impact
1	15	"	"
	16	104.8	119.4
	18	105.0	107.1
	20	102.2	100.3
2	21	58.1	87.3
	22	77.0	107.4
3	23	54.0	92.9
	24	61.1	84.0
	25	79.9	105.6
	26	71.9	83.4
Low Knee Bolster	19	99.3	101.6

\*Film data not available

TABLE 6

Cadaveric Responses for Phase 3 Run

Run No.	Right Femur Resulant Force (N)	Peak Values				Upper Belt Load (N)	Lower Belt Load (N)	Sind Dacel HIC (g) (s)	Initial Knee Angle (deg)
		Moment (N.m)	Knee Bolster Right (N)	Resultants Left (N)	Resultants Right (N)				
23	7396	MA	11420	8760	9728	4338	34.8	2593	54.0
24	7312	MA	10716	9930	7402	5499	33.4	1936	61.0
25	7845	59	11020	13315	7693	5661	35.3	1754	79.9
26	10432	MA	12317	13323	3652	6942	37.7	2018	71.6
Average	8246		11368	11332	7119	5610	35.3	2075	66.6
S.D.	1278		602	2030	2193	923	1.6	314	9.9

TABLE 1

Run No.	3022	3026	3032	3035	3038	3039
Date	1-13-81	2-27-81	3-20-81	5-1-81	3-26-82	4-29-82*
Cad No.	5018	5002	5074	5108	5316	5337
Age	66	54	36	63	68	67
Sex	male	female	male	male	male	male
Body Mass (Kg)	72.5	50	96	72.5	83	60
Max sled g	32	37	38	36	37.5	39
Injury						
Rib fracture	L - 5, 6, 7, 8	None	L - 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 R - 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	None	L - 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 R - 2, 7, 8	None
AIS	2	0	2	0	2	0
Spine/cord	C1-C2 fracture separation. Partial transection of cord	Ring fracture, Transection of cord, Post. ligament tear C1, C2	T4-T5 & T9-T10 fracture separation	C1, C2 posterior ligament tear	Ring fracture, Transection of cord, Fx of C7, T12	Fx of T12
AIS	6	6	5	2	6	2
Rib test (MPa)	173.7	156.5	182.0	115.8	NA	NA
E(CPa)	12.96	14.13	15.10	8.48	NA	NA
HIC	1487	1936	778	1679	4387	1252
Max steering col. load (kN)	12.0	8.5	12.0	16.0	9.0	9.4
Max air bag pres. (kPa)	117	94	139	117	94	93
Max lung pres. (kPa)	21.7 data saturated	54.3	2.3	152.0	24.3	NA
OAIS	6	6	5	2	6	2
NA = Not available						

TABLE 2  
ESTIMATED CADAVERIC NECK LOADS

Run No.	Cadaver No.	Resultant	NECK LOADS		Moment N-m (ft-lb)	Neck Injury
			Axial	Shear		
3022*	5018	6.35 (1428)	3.49 (784)	5.34 (1200)	-	C1-C2 Separation
3026**	5002	7.22 (1623)	7.20 (1619)	1.48 (333)	329 (743)	Atl-occ. Separation
3032	5074	3.13 (704)	2.42 (544)	3.11 (699)	128 (29)	None
3035	5108	1.77 (398)	0.85 (191)	1.74 (391)	339 (750)	Post. lig tear at C1-C2
3038	5316	6.64 (1493) 6.30 (1416)*	6.52 (1466) 3.00 (674)*	2.72 (611) 5.66 (1272)*	230 (518) 517 (1161)*	Atl-occ Separation
3039	5337	3.22 (724)	3.21 (722)	1.82 (409)	191 (431)	None
3037	HE111	2.35 (528)	2.20 (495)	1.60 (360)	170 (382)	-

\*Due to problems with head acceleration data, head angular acceleration and velocity could not be calculated for this run. The loads shown were computed directly from the measured acceleration.

\*\*The loads for this run were computed after two accelerometer channels were interchanged to yield reasonable angular acceleration and velocity values.

\*Loads computed from a second peak which may be an artifact.

TABLE 2: RANGE of projectile kinetic characteristics, pig weight and response of the lateral thoracic wall to the non-penetrating impact loading

All projectiles had a diameter of 3.7 cm. 'n' is the number of experiments.

PROJECTILE		PIG WEIGHT	LATERAL THORACIC WALL DISTORTION			n
MASS M, kg	VELOCITY V, m/s		ABSOLUTE Pmax, cm	RELATIVE Pmax/LAT	TIME TO PEAK Time-95, ms	
3.0	5.8-12.0	37-59	4.7-12.2	0.223-0.590	15.7-22.0	5
1.0	13.8-24.1	37-54	6.2-10.8	0.295-0.537	9.0-11.1	6
0.38	15.6-38.6	32-53	4.2-7.4	0.200-0.400	3.8-6.8	5
0.14	23.7-65.3	22-74	3.2-6.0	0.168-0.352	2.0-4.0	19
0.12	43.0-69.7	37-54	3.8-6.1	0.188-0.293	1.8-2.9	5
0.069	43.6-81.2	28-52	2.5-4.6	0.119-0.237	1.0-1.6	7

Test person	v	Vehicle deceleration		Head acceleration			Resultant		Force in shoulder belt
		a <sub>max.</sub>	a <sub>av.</sub>	For-ward	Side-ways	Verti-cal	Max.	Av.	
<u>Nr.</u>	<u>(km/h)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(N)</u>
2	24.1	7	4.4	6.0	1.0	3.5	6	2.5	1140
3	24.5	8	3.7	6.5	1.5	2.0	7	2.8	1040
1	24.5	7	4.1	7.0	1.0	3.0	8	3.0	900
2	24.3	9	4.3	7.0	1.0	3.0	7	2.1	900
3	24.5	9	4.0	7.0	3.0	3.0	7	1.9	1300
1	24.5	13	6.7	10.0	2.0	5.0	10	3.5	2210
3	24.5	12	6.6	10.0	3.0	5.0	11	3.4	1950
2	25.6	10	5.5	7.5	2.0	2.0	8	3.0	1140
Dummy	25.7	9	3.7	9.0	2.0	5.0	8	5.0	2100
Dummy	25.9	10	5.6	10.0	4.0	0	13	7.0	4000
Dummy	25.7	15	6.6	15.0	5.0	13.0	18	8.0	5600

Table 1. Results of the sled tests with test persons and Hybrid II dummies.  
 Weight of the test persons No. 1 = 67 kg      Height of the test persons No. 1 = 171 cm  
 No. 2 = 68 kg      No. 2 = 175 cm  
 No. 3 = 75 kg      No. 3 = 173 cm

Table 2. Results of the vehicle-to-vehicle collision tests with test persons and a Hybrid II dummy.  
 Weight of the test persons No. 1 = 67 kg      Height of the test persons No. 1 = 171 cm  
 No. 2 = 68 kg      No. 2 = 175 cm  
 No. 3 = 75 kg      No. 3 = 173 cm

\* One test was run with Test Person 2 on the driver's seat and the dummy on the passenger seat.

Test person	v	Vehicle deceleration		Head acceleration			Resultant		Force in shoulder belt	Support force on steering wheel
		a <sub>max.</sub>	a <sub>av.</sub>	For-ward	Side-ways	Verti-cal	Max.	Av.		
<u>Nr.</u>	<u>(kph)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(g)</u>	<u>(N)</u>	<u>(N)</u>
Dummy	49.6	14.0	5.5	12.0	3.0	9.0	15	8.0	3600	—
1	44.3	10.0	5.4	8.0	2.0	3.0	8	2.9	1300	1200
3	42.3	9.5	4.7	9.5	2.0	6.0	8	3.4	1630	3200
2	50.2	13.8	4.8	8.5	1.5	2.5	9	4.7	—	—
2*	49.7	12.4	5.2	8.0	5.0	4.0	9	4.5	2270	1040
Dummy*	--	--	--	13.0	2.0	11.0	15	7.8	3100	--



Table 3. Injury results and AIS ratings for experimental impacts conducted as part of "pedestrian impacts: baseline and preliminary concepts evaluation."

Experiment No. vehicle velocity	Primary injury description*	Permanent disability percent	AIS
P12 Impala 19.5	Tibia and fibula fractured — extensive comminution; anterior cruciate ligament completely torn.	50	3
P13 Impala 19.1	Anterior and posterior cruciate ligament avulsed; medial collateral ligament avulsed.	20	3
P14 Vega 22.5	Fibula fractured; tibia fractured — comminuted; anterior cruciate ligament — 40 percent torn.	20	3
P15 Vega 26	Lateral femoral condyle fractured; fibula fractured; anterior cruciate ligament avulsed; medial collateral ligament torn; medial meniscus torn.	35	3
P16 Impala 26	Tibia fractured — comminuted; fibula fractured; medial collateral and anterior cruciate ligaments torn; rib fractured.	25	3
P17** Vega 19.2	Multiple ribs fractured; femur fractured — both legs; intervertebral disc separation at C8 — T1.	50-100	4
P18 Vega 26.5	Patella fractured — left; capsule ruptured — left; anterior cruciate ligament torn — both legs; tibia fractured — right; rib fractured; C7 fracture.	50-100	4
P19 Impala 26.4	Superior and inferior pubic rami fractured; tibia fracture — right — open; anterior cruciate ligament avulsed both legs; multiple ribs fractured; right internal thoracic vein hemorrhaged.	50	4
P20 Concept 3A 25.0	Tibia plateau fractured; anterior and posterior cruciate ligaments slightly torn.	20	2
P21 Concept 3A 25.2	Anterior cruciate ligament — 10-20 percent torn; fibula fractured; medial malleolus fractured.	10	2
P22 Concept 3A 25.5	Cruciate ligaments slightly stretched.	0	1

\*Injuries are to left leg unless indicated.

\*\*Frontal tests. All other tests were lateral stance.

Table II Summary of Average and Standard Deviations of Parameters of Interest (All G levels and conditions)

NOMINAL G LEVEL	RUN NUMBERS (IN AVERAGE, L1)	COND	ENTRY -		END STROKE		SLED BURST		PEAK	PEAK	PEAK	PEAK
			PEAK SLED ACCEL M/SEC <sup>2</sup>	SLED ONSET M/SEC <sup>3</sup>	VEL M/SEC	SEC	HEAD ACCEL AT T1 M/SEC <sup>2</sup>	HEAD ANG ACCEL RAD/SEC <sup>2</sup>	HEAD ANG VEL RAD/SEC	HEAD RESULT ACCEL M/SEC <sup>2</sup>		
2	1446, 1619, 1620 1767, 1768	HELD	21.400 .930	1435.800 388.294	3.594 484	.121 .010	48.600 5.941	218.000 58.775	8.580 1.329	33.400 2.770		
3	1572, 1625, 1624 1780, 1781	HELD	50.040 .404	2067.000 319.578	5.550 111	.144 .003	75.200 23.328	397.000 57.619	12.420 1.178	53.800 9.039		
3	1883, 1884, 1885 1886	HELD	29.650 1.237	693.500 81.970	4.682 207	.108 .002	62.250 13.576	302.000 55.066	9.250 .733	45.125 5.977		
4	1579, 1628, 1629 1789, 1790	HELD	39.100 <sup>a</sup> 1.032	2860.000 202.994	6.596 116	.131 .003	87.400 13.993	599.000 67.952	16.220 1.575	73.500 14.891		
4	1454, 1941, 1940 1938, 1939	HELD	40.275 1.948	919.250 183.502	6.392 197	.110 .001	87.125 14.025	490.000 166.535	14.800 3.068	75.750 17.928		
5	1618, 1827, 1633 1824, 1825	HELD	50.780 .722	3735.200 372.513	6.576 186	.100 .002	129.000 20.881	736.000 167.571	19.200 2.619	84.000 9.138		
5	1487, 1946, 1945 1943, 1944	HELD	49.080 .952	1082.400 70.974	6.546 192	.092 .004	117.000 31.281	649.000 115.456	17.860 2.531	96.300 19.084		
5	1674, 1665, 1664 1709, 1708	HELD	49.980 .895	5990.000 840.178	2.038 181	.036 .001	94.500 7.000	553.000 70.498	13.860 1.365	53.200 8.371		
6	1592, 1648, 1639 1912	HELD	60.850 1.240	5815.250 1407.324	6.475 148	.090 .001	161.250 16.520	1095.000 139.104	25.550 2.932	119.250 13.124		
6	1504, 1950, 1949 1948	HELD	59.650 .968	1293.500 45.618	6.430 157	.078 .003	131.250 17.347	768.000 106.970	21.625 1.747	111.500 27.295		
6	1713, 1676, 1677 1711, 1712	HELD	61.800 1.084	7256.800 393.722	2.390 123	.034 .000	148.000 27.386	826.000 121.419	18.680 1.021	67.600 9.496		
7	1594, 1923, 1922 1926, 1924	HELD	69.400 1.298	5957.400 574.945	6.408 186	.080 .001	190.600 16.396	1168.000 231.019	26.900 3.029	143.800 11.367		
7	1510, 1957, 1956 1955	HELD	70.125 1.097	1618.750 64.526	6.415 134	.067 .002	149.000 4.546	1078.750 206.574	25.625 4.382	135.500 15.610		
7	1720, 1680, 1681 1781, 1719	HELD	70.320 0.98	8262.000 722.973	2.600 130	.003 .001	148.000 22.390	905.000 64.031	20.240 1.246	78.700 9.770		
8	1730, 1714, 1715 1728, 1729	HELD	80.960 0.891	10505.400 1029.562	2.864 130	.032 .001	193.000 50.339	1032.000 75.631	22.980 5.97	88.800 16.589		
9	1740, 1724, 1725 1736	HELD	89.275 1.144	14567.500 2336.049	2.985 129	.031 .001	250.500 54.262	1227.500 234.716	25.825 2.486	99.250 20.807		
10	1765, 1752, 1751 1762, 1764	HELD	100.820 1.055	16409.200 1132.995	3.194 129	.029 .001	316.250 43.851	1403.000 86.574	28.380 1.594	109.500 13.883		
11	1849, 1853, 1850 1854, 1855	HELD	108.320 1.902	18826.600	3.274 129	.028 .001	241.000 46.096	1602.000 218.441	32.080 3.467	115.400 21.824		

TABLE 2 - SUMMARY OF CEREBRAL EXAMINATIONS

Test No	Dropping Height	
63	1.83	NO APPARENT LESION IN THE VERTEBRO-BASILAR AREA, ALTHOUGH THE INJECTION WAS NOT PERFECT.
64	"	MINOR LESIONS - AIS 2 PROBABLE FOR A LIVING SUBJECT.
65	"	THE FORMER STATE OF THE BRAIN IS THE CAUSE OF THE MINOR DAMAGE OBSERVED.
66	"	NO LESION.
67	"	PROBABLY NO LESION, BUT THE INJECTION WAS NOT PERFECT IN THE PERIPHERIC CAROTIDIAN AREA.
69	2.50	NO LESION.
70	"	NO LESION.
73	"	NO APPARENT LESION, ALTHOUGH THE INJECTION WAS NOT PERFECT IN THE RIGHT ANTELO-CEREBRAL AREA
74	"	LESIONS OF MINOR EXTENT BY VOLUME, BUT SEVERE DUE TO THEIR LOCATION AT CEREBRAL TRUNK LEVEL (PROBABLE COMA).
68	NO HELMET 1.83 M	MINOR FRACTURE OF THE SKULL (THE FAILURE OF THE INJECTION INTO THE DEEP BRAIN STRUCTURES DOES NOT ALLOW THE DETECTION OF POSSIBLE CEREBRAL LESIONS).
76	NO HELMET 2.50 M	VERY CONSIDERABLE FRACTURE OF THE SKULL AND FACIAL LESIONS (RUPTURE OF THE CALLOSUS CORPUS AND CEREBRAL TRUNK LESION).

SOME SUBJECTS BEING QUITE OLD, ONE MIGHT THINK THAT THEIR CEREBRAL TOLERANCE TO IMPACT HAS DIMINISHED. THOUGH NO OBJECTIVE DATA IS AVAILABLE CONCERNING ARTERIOLARY AND CAPILLARY WEAKNESS CAUSED BY AGE.

TABLE 3 - SUMMARY OF MEASUREMENTS ON HUMAN SUBJECTS

Test No	Height of Fall	Helmet	PEAK ACCELERATIONS (g)										COMPUTED GADD SI. AND HIC.					
			Right Side of Head			Frontal Bone			Occipital Bone		2 frontal components		2 frontal components + AP component from occiput		2 occipital comp. + SI component from frontal bone			
			AP.	SI.	RL.	SI.	RL.	R*	AP.	RL.	GS1.	HIC.	GS1.	HIC.	GS1.	HIC.		
63	1.83	A	50	180	215	-	150	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	
64	-	-	35	190	125	120	176	165	18	150	1050	8+1	1120	926	1750	1543		
65	-	-	88	200	150	125	126	175	28	155	1150	1204	1400	1255	1720	1560		
66	1.83	B	58	240	175	225	170	240	28	200	2450	2122	2500	2133	3000	2547		
67	-	-	90	300	170	165	160	230	20	180	1750	1451	1800	1458	2300	1882		
69	2.50	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
70	-	-	33	160	130	110	120	160	30	132	1400	1207	1450	1239	1460	1224		
73	2.50	B	65	290	240	105	220	240	30	220	2000	1713	2050	1729	2500	2286		
74	-	-	{40}	{370}	{163}	{450}	{275}	{-}	{52}	{155}	{4350}	{2579}	{4467}	{2678}	{4125}	{2322}		
68	1.83	NO			> 500		> 500						> 7000					
76	2.50	NO			> 500		> 500						> 5000					

R\* : Max. Resultant

Table 1. Data on cadavers

Test No.	Age/sex	HEAD			Head and neck mass (kg)	Head mass (kg)
		Circumference (mm)	Breadth (mm)	Length (mm)		
63	78 F	541	150	182	4.020	3.280
64	59 M	548	145	192	4.860	3.920
65	57 M	571	155	194	5.020	4.230
66	82 F	539	145	182	3.560	2.920
67	82 F	554	141	182	4.430	3.340
68	49 F	556	145	184	5.160	3.820
69	71 M	585	156	202	4.700	3.810
70	68 M	548	141	192	4.580	3.560
73	55 F	560	140	175	4.780	3.680
74	74 M	565	135	180	5.220	3.640
76	65 M	550	140	192	4.290	3.450

Table 2. Summary of cerebral examinations

Test No.	Dropping height	Injury
63	1.83	No apparent lesion in the vertebro-basilar area, although the injection was not perfect.
64	1.83	Minor lesions - AIS 2 probable for a living subject.
65	1.83	The former state of the brain is the cause of the minor damage observed.
66	1.83	No lesion.
67	1.83	Probably no lesion, but the injection was not perfect in the peripheric carotidian area.
69	2.50	No lesion with binocular lens examination. Two small "bleedings" of India ink in the brain stem.
70	2.50	No lesion.
73	2.50	No apparent lesion, although the injection was not perfect in the right antero-cerebral area.
74	2.50	Lesions of minor extent by volume, but severe due to their location at cerebral trunk level (probable coma).
68	no helmet) 1.83)	Minor fracture of the skull (the failure of the injection into the deep brain structures does not allow the detection of possible cerebral lesions).
76	no helmet) 2.50)	Very large fracture of the skull and fatal cerebral lesions (rupture of the callus corpus and cerebral trunk lesion).

Note: Some subjects being quite old, one might think that their cerebral tolerance to impact has diminished though no objective data are available concerning arterial and capillary weakness caused by age.

Table 3. Summary of measurements on human subjects

Test No	Height of fall (m)	Helmet	Peak accelerations (g)						Computed SI and HIC								
			Right side of head			Frontal Bone		Occipital Bone		2 frontal components		2 occipital compo + Gx component from occiput		2 occipital compo + Gz component from frontal bone			
			(Gx)	(Gz)	(Gy)	(Gz)	(Gy)	Rt	(Gx)	(Gy)	Gadd	HIC	Gadd	HIC	Gadd	HIC	
63	1.83	A	50	380	215	--	150	--	--	150	--	--	--	--	--	--	--
64	1.83	A	35	190	125	120	136	165	48	150	1050	833	1120	926	1750	1541	
65	1.83	A	88	200	150	125	126	175	28	155	1350	1204	1400	1253	1720	1560	
66	1.83	B	58	240	175	225	170	240	28	200	2450	2122	2500	2133	3000	2547	
67	1.83	B	90	400	170	165	160	210	20	180	1750	1451	1800	1458	2300	1882	
69	2.50	A	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
70	2.50	A	33	160	130	110	120	160	30	132	1400	1207	1450	1239	1400	1224	
73	2.50	B	65	290	240	105	220	240	30	220	2000	1713	2050	1729	2500	2286	
74	2.50	B	40	370	160	450	275	--	52	145	4350	2579	4467	2678	4125	2322	
68	1.83	NO	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
76	2.50	NO	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Rt: Maximum Resultant



Table 1 - Summary of All Tests

Test No.	Spoiler Material	Spoiler Mass [kg]	Mass of Test Subject [kg]	Impact Velocity [km/h]	Maximum Spoiler Acceleration [g]	Maximum Total Force to Spoiler [N]	Maximum Impact Force to Test Subject [N]	Maximum Resulting Acceleration of Test Subject [g]	Typical Impact Forces (Duration)			Point of Impact <sup>+</sup> [mm]	Maximum Horizontal Deformation		Remarks	Injuries
									3 ms [N]	5 ms [N]	20 ms [N]		Test Subject [mm]	Spoiler [mm]		
1	GRP Spoiler	8.5	14	22.6	6.8	1620	1750	-	1550	1500	1400	+ 55	112	79	Tolerance limit just attained, AIS 3, camera 2 failed	Acute shock, shock organs, microscopic spleen rupture, haematoma at the abdominal wall
2	GRP Spoiler	8.5	15	23.2	-	2800	-	-	2750 <sup>□</sup>	2720 <sup>□</sup>	2250 <sup>□</sup>	+ 60	119	68	Tolerance limit exceeded, AIS 4	Acute shock, shock organs, spleen rupture, blood release into the abdominal cavity
3	PUR Spoiler	16.5	12.5	21.7	6.2	1400	2300	19	2100	2100	500	- 30	96	104	No histological examination, animal died prior to test	Animal was already dead when test was carried out
4	PUR Spoiler	16.5	14	22.6	9.0	2440	3750	23	3300	2700	900	+ 10	112	97	Tolerance limit slightly exceeded, AIS 3-4, multiple injuries	Acute shock, shock organs, microscopic rupture of spleen and kidney, haemorrhage of the suprarenal gland capsula
5	Simulated Notch Back	16.1	12.5	22.9	7.5	2300	3500	39	3250	2800	1800	+ 75	86	0	Large-area impact, hindlegs leaning against rear end, AIS 3-4, multiple injuries	Severe acute shock, shock organs, contusion of liver, kidneys and suprarenal glands, blood and fluid agglomeration in the abdominal cavity
6	GRP Spoiler	13.2	11.35	15.6	6.5	1435	1880	36	1580	1360	800	+ 60	No evaluation possible		Tolerance limit just attained, AIS 3; camera 1 and 2 failed, films failed	Acute shock, shock organs, microscopic spleen rupture
7 <sub>1</sub>	GRP Spoiler	13.2	12.55	15.2	6.1	1780	2480	54.5	2300	2160	1240	-	No evaluation possible		Animal fell under spoiler, camera 2 failed	
7 <sub>2</sub>	GRP Spoiler	13.2	12.55	16.3	4.6	1150	1540	29	1220	1060	860	+ 60	125	56	Below tolerance limit, AIS 2-3, camera 2 failed	Subacute to acute shock, shock organs, haematoma at the abdominal wall
8	PUR Spoiler	16.7	13.05	13.5	2.0	760	960	11.7	950	920	610	+ 10	118	76	At tolerance limit, AIS 3, camera 2 failed	Acute shock, shock organs, contusion of the kidneys, perirenal haemorrhage
9	PUR Spoiler	16.7	15.45	14.1	2.0	900	1180	18.4	1080	960	740	+ 20	117	89	At tolerance limit, AIS 3, camera 2 failed	Subacute to acute shock, shock organs, microscopic spleen rupture, kidney contusion, haematoma at the abdominal wall
10	without Spoiler	7.7	13.55	14.4	2.86	230	450	10.7	300	160	160	-	No evaluation possible		Radial acceleration, tolerance limit exceeded, not recorded, AIS 3-4, camera 2 failed	Severe acute shock, shock organs, incomplete rupture of the aorta wall, kidney contusion
11	without Spoiler	7.7	13.95	16.8	4.48	610	960	25.4	820	700	200	-	No evaluation possible		At tolerance limit, AIS 3, camera 2 failed	Acute shock, shock organs, contusion of the suprarenal gland cortex, contusion of the stomach wall (heart contusion?)
12	Simulated Notch Back	19.7	11.65	14.1	2.85	1440	1940	24.5	1700	1440	960	+ 75	79	0	At tolerance limit, AIS 3, camera 2 failed	Acute shock, shock organs, contusion of kidneys, spleen and (heart?)

Remark The impact forces acting upon the test subject were ascertained using the following equation:

$$10 \text{ N} \approx 1.02 \text{ kp}$$

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

<sup>+</sup> Distance at impact between penis attachment point and upper edge of spoiler (Positive: Upper edge of spoiler above penis attachment)

<sup>□</sup> Forces to Spoiler  $F = F_1 + F_2 + F_3$



	Tolerance Criteria		Effective Mass Involved	Contact Area on Car	Example for Front Geometry	Contact Zone Must Deform at	Example: $V_{coll} = 35 \text{ km/h}$	
	For Test Purposes (Accelerations)	For Design Purposes (Forces)					Corresponding Local Impact Velocity	Deflection at Impact Locations
<b>Head</b>	HIC < 1000 60g (> 3 msec)	4 000 N	5 kg	150 cm <sup>2</sup>	-	27 N/cm <sup>2</sup>	11 m/sec *)	8 cm
<b>Thorax</b>	60g (> 3 msec)	10 000 N	17 kg	-	-	-	-	-
<b>Pelvis/ Thigh</b>	60g (> 3 msec)	6 500 N	11 kg	17 cm x H <sub>LE</sub>	H <sub>LE</sub> = 10 cm H <sub>LE</sub> = 15 cm	40 N/cm <sup>2</sup> 25 N/cm <sup>2</sup>	10 m/sec	9 cm
<b>Lower Leg</b>	60g (> 3 msec)	4 000 N	7 kg	10 cm x H <sub>B</sub>	H <sub>B</sub> = 10 cm H <sub>B</sub> = 16 cm	40 N/cm <sup>2</sup> 25 N/cm <sup>2</sup>	10 m/sec	9 cm

Table 4

Tolerance criteria and required deformability

H<sub>LE</sub> = height of contact area at the leading edge of the hood / pelvic impact

H<sub>B</sub> = height of bumper

\*) head impact velocity corresponding to a height of leading edge of about 70 cm

Table 2

GROUP 1  
NO FRONTAL OR TEMPORAL CONTUSION

Animal	Injury Severity (ETS)	Angular Acceleration ( $\times 10^6$ rad/sec <sup>2</sup> )	Radius (cm)	Tangential Acceleration ( $\times 10^2$ m/sec <sup>2</sup> )	Brain Mass (gm)	Tangential Force (newtons)
9517	1	5.06	3.8	19.2	86.9	166.8
4889	2	8.15	5.7	46.5	95.0	441.8
586	2	8.43	7.0	59.0	91.6	540.4
527	3	10.30	8.1	83.4	64.3	536.3
521 *	3	10.30	9.2	94.8	65.0	616.2
R30	3	6.55	9.0	59.0	98.8	582.9
R60	3	7.49	9.0	67.4	63.4	427.4
A1	3	6.55	11.0	72.0	63.0	453.6
807B	4	6.46	9.5	61.4	105.9	650.2
E9	4	12.00	8.7	104.4	67.7	706.8
A4	4	7.49	10.5	78.6	77.0	605.2
6	5	11.70	8.3	97.1	64.8	629.2
593 *	5	9.80	9.2	90.2	75.0	676.5
mean	3.2	8.48	8.3	71.7	73.8	541.0
standard deviation	1.1	2.17	1.9	23.4	15.4	143.6

\* = Linear occipital skull fracture

Table 3

GROUP 2  
FRONTAL BUT NO TEMPORAL CONTUSION

Animal	Injury Severity (ETS)	Angular Acceleration ( $\times 10^6$ rad/sec <sup>2</sup> )	Radius (cm)	Tangential Acceleration ( $\times 10^2$ m/sec <sup>2</sup> )	Brain Mass (gm)	Tangential Force (newtons)	Frontal Contusion	
							Depth	Extent
E10	3	7.00	9.3	65.1	80.5	524.0	1	1
9	3	6.60	7.0	46.2	85.1	393.2	1	1
SP5	4	11.20	7.8	87.4	80.1	700.0	3	1
C26 *	4	10.30	9.5	97.8	57.0	557.5	3	2
473	5	10.80	8.4	90.7	100.1	907.9	1	1
E15	5	7.50	9.8	73.5	105.5	775.4	1	1
A2	5	7.02	10.5	73.7	75.0	552.7	1	1
A6	5	9.36	10.5	98.3	87.8	863.1	2	1
							2	1
mean	4.2	8.72	9.1	79.0	83.8	659.2	1.67	1.08
standard deviation	0.8	1.90	1.2	17.9	15.0	180.9	0.89	0.29

Table 4

GROUP 3  
TEMPORAL CONTUSION PRESENT

Animal	Injury Severity (ETS)	Angular Acceleration ( $\times 10^6$ rad/sec <sup>2</sup> )	Radius (cm)	Tangential Acceleration ( $\times 10^2$ m/sec <sup>2</sup> )	Brain Mass (gm)	Tangential Force (newtons)	Contusion			
							Frontal		Temporal	
							Depth	Extent	Depth	Extent
E11	4	9.46	8.6	86.8	83.0	670.6	2	2	3	2
38	4	10.30	9.1	93.7	79.0	740.2	1	2	3	1
E14 *	4	9.80	9.8	96.0	76.0	729.6	3	1	2	2
639*	4	9.36	11.5	107.6	75.4	811.3	2	2	3	1
A5	4	8.43	10.5	86.5	86.1	762.9	1	1	3	2
E3 *	5	11.20	9.4	105.3	74.9	781.3	2	2	2	2
598 *	5	12.00	8.6	103.2	73.0	753.4	2	2	3	1
F4	5	11.70	13.0	146.0	83.8	931.5	1	1	1	1
E70	4	10.86	8.6	92.9	76.5	710.7	2	2	2	2
mean	4.3	10.28	9.9	101.5	76.3	765.7	1.79	1.33	2.44	1.75
standard deviation	0.5	1.23	1.5	18.7	6.9	74.1	0.8	0.7	0.75	0.55



Table I - Results of rib testing

Subject No	Static bending tests			Static shearing tests		Ca mineral salts %
	energy J	F max daN	deflection mm	2 W J	2 F max daN	
104	0.21	17.6	8	2.8	101	29
105	1.05	17.2	12	1.7	46	27.5
109	0.44	6.6	16	0.8	31	21.5
111	1.49	16.8	16	2.0	64	24
118	1.0	16.5	8.5	2.9	74	30
119	0.55	12	8.5	0.9	39	26
92	-	-	-	-	-	37
100	1.80	22	-	2.1	122	37.5
101	0.71	10.4	12	2	86	26
88	0.23	25.1	-	1.2	55	32
95	-	-	-	-	-	27
96	-	-	-	-	-	27
102	0.91	31.8	4	4.6	120	34
107	0.25	6.4	5.7	1.	47	27.5
108	0.74	13.3	14.5	2.2	59	27
120	0.96	17.	9	2.2	66	26.5
121	1.4	26.	8	3.2	84	32.5
122	0.3	15.4	3	4.9	163	40.5
Averages - from 28 previously tested male subjects						
A	0.8	20	6.5	2.6	75	26.5
Averages - from 5 previously tested female subjects						
B	0.44	17	-	2.5	120	28

Table II - Anthropometric data and results concerning pelvis

Test No	fall height m	Age	Sex	Impact side	Weight Kg	Thorax breadth cm	Thorax depth cm	$\bar{\Delta}R$ peak	$\bar{\Delta}R$ 3ms	AIS	Pelvis injuries
against one continuous rigid surface											
104	1.	70	M	R	59	27	20	55	40	0	
105	1.	47	M	R	54	27	20	153	66	0	
109	1.	68	F	R	49	27	21	90	70	3	f. little displacement, R. ischio and ilio-pubic branches
111	1.	52	M	R	53	28	21	89	47	0	
against two separate rigid surfaces											
118	0.5	46	M	L	49	28	20	62	33	0	
119	0.5	52	M	L	41	25	20	34	30	0	
padding - continuous - e = 8 cm											
92	2.	69	F	L	-	25	19	82	50	2	f. R+L ischio and ilio-pubic branches
100	2.	34	M	R	56	28	18	44	38	0	
101	2.	41	M	R	52	26	20	110	77	0	
88	3.	71	F	L	-	20	17	65	60	0	
95	3.	55	M	L	-	28	23	120	105	3	f. little displacement L ischiopubic branch
96	3.	53	M	L	-	30	20	135	90	0	
two separate molded elements - hard											
102	3.	69	M	R	53	27	21	62	57	3	f. R ilio-pubic, f. R iliac wing, f. + displacement R cotyle
107	3.	55	F	R	42	26	17	77	66	2	f. ischio and ilio-pubic branches
108	3.	64	M	R	50	27	19	74	53	0	
two separate molded elements - soft											
120	2.	51	M	L	70	30	23	37	30	0	
121	2.	57	M	L	75	32	23	22	31	0	
122	2.	42	F	L	45	26	16	34	34	0	f = fracture

Table III - Measurements concerning thorax

Test No	fall height m	$\bar{\Delta}P$ peak g	$\bar{\Delta}R$ 3ms g	Gadd S.I.	Force max. (daN) measured/normalized	deflection %	AIS	arms position
continuous rigid surface								
104	1.	62	55	187	590/690	30	4	displaced
105	1.	56	50	189	700/870	32	3	"
109	1.	34	29	62	-	17.5	4	normal
111	1.	48	44	126	460/580	15	3	"
2 separate rigid surfaces								
118	0.5	34	29	45	250/330	11	0	normal
119	0.5	27	26	33	240/360	20	0	"
continuous padding - e = 8 cm								
92	2.	69	59	324	1090/-	-	4	displaced
100	2.	54	51	209	630/770	-	4	normal
101	2.	42	38	131	800/1020	-	5	"
88	3.	84	65	436	950/-	-	4	normal
95	3.	83	74	410	1240/-	-	4	displaced
96	3.	≥ 78	-	628	1160/-	-	4	"
2 separate molded elements - hard								
102	3.	82	60	345	870/1100	-	5	normal
107	3.	75	70	392	640/940	-	4	"
108	3.	70	62	335	840/1100	-	5	"
2 separate molded elements - soft								
120	2.	40	32	100	890/930	35	3	normal
121	2.	42	37	114	1020/1020	24	3	"
122	2.	44	40	147	560/780	22	0	"

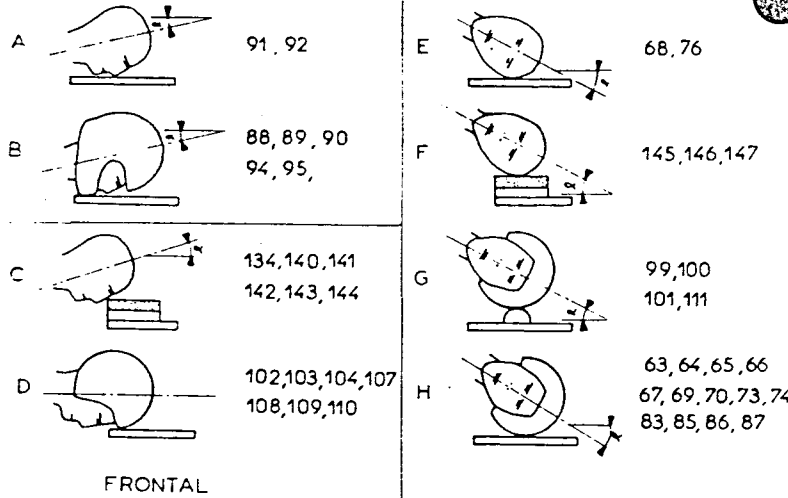


Fig. 2 - Impact configurations

TEST No 110		TEST No 111		TEST No 134																																																																																																																																																																																			
IMPACT CONDITIONS	NECROPSY SYNOPSIS CRANIUM	IMPACT CONDITIONS	NECROPSY SYNOPSIS CRANIUM	IMPACT CONDITIONS	NECROPSY SYNOPSIS CRANIUM																																																																																																																																																																																		
	<p><b>ENCEPHALON</b> Pressurization <i>medium</i> Macroscopically <i>contusions in meningeal layers of frontal side</i> Microscopically <i>frontal contusion</i></p> <p><b>FACE</b></p> <p><b>NECK</b> / C6</p>		<p><b>ENCEPHALON</b> Pressurization <i>Good</i> Macroscopically Microscopically</p> <p><b>FACE</b></p> <p><b>NECK</b></p>		<p><b>ENCEPHALON</b> Pressurization <i>unserviceable</i> Macroscopically Microscopically</p> <p><b>FACE</b></p> <p><b>NECK</b></p>																																																																																																																																																																																		
<p>Height of fall 3.00 Helmet C <math>\alpha</math>(deg) of impact 0° <math>\beta</math> (deg) max 78° Age / Sex 49 M Head circ. .542   breadth .142   length .187 Head+neck weight 6.22   head 4.90   skull 1.20</p>		<p>Height of fall 2.50 Helmet C <math>\alpha</math>(deg) of impact 55° <math>\beta</math> (deg) max 55° Age / Sex 52 M Head circ. .561   breadth .152   length .184 Head+neck weight 4.87   head 3.64   skull .80</p>		<p>Height of fall 3.00 Helmet 30mm polystyrene <math>\alpha</math>(deg) of impact 10° <math>\beta</math> (deg) max 26° Age / Sex 53 M Head circ. .558   breadth .155   length .195 Head+neck weight 5.31   head 2.17   skull+brain 1.57</p>																																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Locations</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th><math>\delta</math></th> <th>r</th> <th><math>\delta_{3ms}</math></th> <th>S.I.</th> <th>HIC</th> <th><math>\theta</math>(HIC)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Frontal</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>R side</td> <td>276</td> <td>58</td> <td>42</td> <td>282</td> <td>110</td> <td>2300</td> <td>1994</td> <td>2.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L side</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Occiput</td> <td>193</td> <td>63</td> <td>208</td> <td>334</td> <td>126</td> <td>2500</td> <td>1961</td> <td>2.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C.G.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>300</td> <td></td> <td></td> <td>1950</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Max. impact force 1350 dN</p>	Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)	Frontal										R side	276	58	42	282	110	2300	1994	2.7		L side										Occiput	193	63	208	334	126	2500	1961	2.5		C.G.				300			1950				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Locations</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th><math>\delta</math></th> <th>r</th> <th><math>\delta_{3ms}</math></th> <th>S.I.</th> <th>HIC</th> <th><math>\theta</math>(HIC)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Frontal</td> <td>44</td> <td>150</td> <td>64</td> <td>153</td> <td>88</td> <td>1100</td> <td>1232</td> <td>9.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>R side</td> <td>72</td> <td>125</td> <td>156</td> <td>186</td> <td>120</td> <td>1380</td> <td>1159</td> <td>8.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L side</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Occiput</td> <td>42</td> <td>120</td> <td>15</td> <td>130</td> <td>126</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C.G.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1150</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Max. impact force 300 dN</p>	Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)	Frontal	44	150	64	153	88	1100	1232	9.1		R side	72	125	156	186	120	1380	1159	8.3		L side										Occiput	42	120	15	130	126					C.G.							1150			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Locations</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th><math>\delta</math></th> <th>r</th> <th><math>\delta_{3ms}</math></th> <th>S.I.</th> <th>HIC</th> <th><math>\theta</math>(HIC)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Frontal</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>R side</td> <td>467</td> <td>55</td> <td>65</td> <td>474</td> <td>145</td> <td>1361</td> <td>1163</td> <td>7.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L side</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Occiput</td> <td>457</td> <td>28</td> <td>65</td> <td>158</td> <td>136</td> <td>1245</td> <td>1022</td> <td>7.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C.G.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Max. impact force 800 dN</p>	Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)	Frontal										R side	467	55	65	474	145	1361	1163	7.7		L side										Occiput	457	28	65	158	136	1245	1022	7.7		C.G.									
Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)																																																																																																																																																																														
Frontal																																																																																																																																																																																							
R side	276	58	42	282	110	2300	1994	2.7																																																																																																																																																																															
L side																																																																																																																																																																																							
Occiput	193	63	208	334	126	2500	1961	2.5																																																																																																																																																																															
C.G.				300			1950																																																																																																																																																																																
Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)																																																																																																																																																																														
Frontal	44	150	64	153	88	1100	1232	9.1																																																																																																																																																																															
R side	72	125	156	186	120	1380	1159	8.3																																																																																																																																																																															
L side																																																																																																																																																																																							
Occiput	42	120	15	130	126																																																																																																																																																																																		
C.G.							1150																																																																																																																																																																																
Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)																																																																																																																																																																														
Frontal																																																																																																																																																																																							
R side	467	55	65	474	145	1361	1163	7.7																																																																																																																																																																															
L side																																																																																																																																																																																							
Occiput	457	28	65	158	136	1245	1022	7.7																																																																																																																																																																															
C.G.																																																																																																																																																																																							
<p><b>CONCLUSIONS</b> AIS 3 <i>Partial frontal contusion</i></p>		<p><b>CONCLUSIONS</b> AIS 0</p>		<p><b>CONCLUSIONS</b> Death due to cerebral lesion prior to the test</p>																																																																																																																																																																																			

Fig. 20 - Summary of the test results

TEST No 140		TEST No 141		TEST No 142																																																																																																																																																																																			
IMPACT CONDITIONS	NECROPSY SYNOPSIS CRANIUM	IMPACT CONDITIONS	NECROPSY SYNOPSIS CRANIUM	IMPACT CONDITIONS	NECROPSY SYNOPSIS CRANIUM																																																																																																																																																																																		
	<p><b>ENCEPHALON</b> Pressurization <i>medium</i> Macroscopically Microscopically</p> <p><b>FACE</b></p> <p><b>NECK</b></p>		<p><b>ENCEPHALON</b> Pressurization <i>unserviceable</i> Macroscopically Microscopically</p> <p><b>FACE</b></p> <p><b>NECK</b></p>		<p><b>ENCEPHALON</b> Pressurization <i>poor</i> Macroscopically Microscopically</p> <p><b>FACE</b></p> <p><b>NECK</b> <i>fracture of the 1st, 2nd, 3rd, 4th, 5th, 6th, 7th, 8th, 9th, 10th, 11th, 12th, 13th, 14th, 15th, 16th, 17th, 18th, 19th, 20th, 21st, 22nd, 23rd, 24th, 25th, 26th, 27th, 28th, 29th, 30th, 31st, 32nd, 33rd, 34th, 35th, 36th, 37th, 38th, 39th, 40th, 41st, 42nd, 43rd, 44th, 45th, 46th, 47th, 48th, 49th, 50th, 51st, 52nd, 53rd, 54th, 55th, 56th, 57th, 58th, 59th, 60th, 61st, 62nd, 63rd, 64th, 65th, 66th, 67th, 68th, 69th, 70th, 71st, 72nd, 73rd, 74th, 75th, 76th, 77th, 78th, 79th, 80th, 81st, 82nd, 83rd, 84th, 85th, 86th, 87th, 88th, 89th, 90th, 91st, 92nd, 93rd, 94th, 95th, 96th, 97th, 98th, 99th, 100th</i></p>																																																																																																																																																																																		
<p>Height of fall 3.00 Helmet 30mm polystyrene <math>\alpha</math>(deg) of impact 13° <math>\beta</math> (deg) max 40° Age / Sex 66 Head circ. .550   breadth .162   length .180 Head+neck weight 4.73   head 3.75   skull+brain 1.37</p>		<p>Height of fall 3.00 Helmet 30mm polystyrene <math>\alpha</math>(deg) of impact 11° <math>\beta</math> (deg) max 82° Age / Sex 70 F Head circ. .547   breadth .158   length .185 Head+neck weight 4.25   head 3.38   skull+brain 1.35</p>		<p>Height of fall 3.00 Helmet 30mm polystyrene <math>\alpha</math>(deg) of impact 2° <math>\beta</math> (deg) max 77° Age / Sex 57 M Head circ. .555   breadth .160   length .190 Head+neck weight 4.82   head 3.71   skull+brain 1.42</p>																																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Locations</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th><math>\delta</math></th> <th>r</th> <th><math>\delta_{3ms}</math></th> <th>S.I.</th> <th>HIC</th> <th><math>\theta</math>(HIC)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Frontal</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>R side</td> <td>472</td> <td>110</td> <td>170</td> <td>480</td> <td>280</td> <td>4500</td> <td>2800</td> <td>2.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L side</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Occiput</td> <td>278</td> <td>105</td> <td>129</td> <td>498</td> <td>320</td> <td>5600</td> <td>3420</td> <td>2.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C.G.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2800</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Max. impact force 600 dN</p>	Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)	Frontal										R side	472	110	170	480	280	4500	2800	2.7		L side										Occiput	278	105	129	498	320	5600	3420	2.5		C.G.							2800				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Locations</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th><math>\delta</math></th> <th>r</th> <th><math>\delta_{3ms}</math></th> <th>S.I.</th> <th>HIC</th> <th><math>\theta</math>(HIC)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Frontal</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>R side</td> <td>424</td> <td>169</td> <td>153</td> <td>460</td> <td>330</td> <td>1700</td> <td>3600</td> <td>2.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L side</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Occiput</td> <td>333</td> <td>45</td> <td>232</td> <td>400</td> <td>280</td> <td>1600</td> <td>3700</td> <td>3.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C.G.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Max. impact force 1200 dN</p>	Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)	Frontal										R side	424	169	153	460	330	1700	3600	2.9		L side										Occiput	333	45	232	400	280	1600	3700	3.3		C.G.										<table border="1"> <thead> <tr> <th>Locations</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th><math>\delta</math></th> <th>r</th> <th><math>\delta_{3ms}</math></th> <th>S.I.</th> <th>HIC</th> <th><math>\theta</math>(HIC)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Frontal</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>R side</td> <td>369</td> <td>250</td> <td>53</td> <td>405</td> <td>280</td> <td>3255</td> <td>2518</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>L side</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Occiput</td> <td>309</td> <td>142</td> <td>321</td> <td>445</td> <td>350</td> <td>5600</td> <td>3870</td> <td>3.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C.G.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Max. impact force 1400 dN</p>	Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)	Frontal										R side	369	250	53	405	280	3255	2518	2		L side										Occiput	309	142	321	445	350	5600	3870	3.2		C.G.									
Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)																																																																																																																																																																														
Frontal																																																																																																																																																																																							
R side	472	110	170	480	280	4500	2800	2.7																																																																																																																																																																															
L side																																																																																																																																																																																							
Occiput	278	105	129	498	320	5600	3420	2.5																																																																																																																																																																															
C.G.							2800																																																																																																																																																																																
Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)																																																																																																																																																																														
Frontal																																																																																																																																																																																							
R side	424	169	153	460	330	1700	3600	2.9																																																																																																																																																																															
L side																																																																																																																																																																																							
Occiput	333	45	232	400	280	1600	3700	3.3																																																																																																																																																																															
C.G.																																																																																																																																																																																							
Locations	X	Y	Z	$\delta$	r	$\delta_{3ms}$	S.I.	HIC	$\theta$ (HIC)																																																																																																																																																																														
Frontal																																																																																																																																																																																							
R side	369	250	53	405	280	3255	2518	2																																																																																																																																																																															
L side																																																																																																																																																																																							
Occiput	309	142	321	445	350	5600	3870	3.2																																																																																																																																																																															
C.G.																																																																																																																																																																																							
<p><b>CONCLUSIONS</b> <i>no lesion in vital brain area</i></p>		<p><b>CONCLUSIONS</b> <i>unserviceable</i></p>		<p><b>CONCLUSIONS</b> <i>At least little hemorrhage, front part of the brain</i></p>																																																																																																																																																																																			

Fig. 21 - Summary of the test results



Table 1  
Summary of Individual Experimental Data

No.	Body Mass kg	Head* Mass kg	Impact location	Peak Force K X10 <sup>3</sup>	Striker vel. ** m/s	Duration ms	Peak Proximal Accel., (g) X Y	Peak Distal Accel., (g) X Y	Time of Unconsciousness - sec -
1	5.9	0.64	F	15.6	19.1	1.1	2100 3090	3060 1890	5
			S	18.4	19.2	1.1	1000 1300	3060 2050	86
			R	13.4	18.8	0.80	2250 2250	2100 950	5
			T	12.9	18.8	0.70	2100 1940	1620 1250	40
2	7.7	0.86	F	17.8	20.3	1.1	2250 ****	1920 2060	15
			S	20.9	19.3	0.80	**** ****	1550 ****	100
			R	13.4	19.5	1.1	2200 2200	1350 1440	17
			T	12.9	18.8	1.3	2000 2120	1600 1130	5
3	6.6	0.77	F	10.2	19.5	****	**** ****	**** ****	0
			S	21.1	20.3	0.80	**** ****	**** ****	48
			R	13.4	19.4	1.8	2350 1800	2100 1880	5
			T	13.1	19.1	1.3	1630 1600	1600 750	40
4	16.4	1.13	F	13.9	20.3	0.86	1150 2600	1400 2180	5
			S	17.8	19.4	1.1	3500 1200	3400 2200	86
			R	12.9	18.7	1.1	2250 2300	2000 1880	30
			T	12.4	19.5	1.9	2100 2380	1140 1400	20
5	5.0	0.54	F	17.8	20.8	1.3	3150 1600	3360 1500	30
			S	15.3	19.3	0.94	2050 1050	2160 2100	108
			R	13.3	19.3	0.70	2250 2060	2120 1860	80
			T	13.1	18.9	0.78	1560 900	1600 430	30
6	7.7	0.86	F	11.3	19.7	1.6	2400 900	2300 2000	15
			S	16.1	19.1	0.94	3050 1000	3100 3100	90
			R	13.3	19.3	1.3	2320 2100	2500 1800	42
			T	12.9	19.5	2.3	1760 2000	900 1400	5

\* Protective cap and accessories mass = 0.64 kg.  
 \*\* Average kinetic energy = 207 ± 0.16 J (155 ± 0.12 ft. lb.)  
 F = Frontal  
 S = Temporoparietal  
 R = Occipital  
 T = Cranial

Table 2  
Average Data of Impact Parameters From All Experiments

Impact Location	Peak Force K X10 <sup>3</sup>	Striker vel.* m/s	Duration ms	Peak Proximal Accel., (g) X Y	Peak Distal Accel., (g) X Y	Time of Unconsciousness - sec -
Frontal	14.4 ± 3.2	20.0 ± 0.6	1.2 ± 0.3	2210 ± 720 2030 ± 950	2410 ± 290 1910 ± 270	13 ± 10
Temporoparietal	18.1 ± 2.4	19.5 ± 0.4	0.95 ± 0.13	1900 ± 610 1160 ± 180	3090 ± 590 2360 ± 496	86 ± 21
Occipital	13.3 ± 0.20	19.2 ± 0.3	0.97 ± 0.23	2270 ± 55 2120 ± 180	2190 ± 260 1640 ± 380	26 ± 22
Cranial	12.9 ± 0.1	19.2 ± 0.9	1.2 ± 0.9	1860 ± 230 1790 ± 540	1110 ± 260 1060 ± 380	23 ± 16

\* Average kinetic energy = 207 ± 0.6 J (155 ± 0.12 ft. lb.)

Table 3  
Measured and Computed Linear Acceleration Indices and Rotational Velocity and Acceleration from Film Analysis

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Monkey Number	Impact Location	Rigid Body Accel (g)	Distal In-line Accel (g)	Normal-ized Accel***	HIC* X10 <sup>3</sup>	S1* 10 <sup>3</sup>	U <sup>2</sup> r/sec	V <sup>3</sup> r/sec <sup>2</sup> X10 <sup>3</sup> **	time to peak 1/8 -m-	Unconscious Duration	Remarks
1	F****	1450	3060	2.07	81.6	107	163	164	1.0	5	** Estimated accuracy of angular measurements per frame: ± 20 min (0.006 rad) ± 23 r/sec ± 93 r/sec <sup>2</sup>
2	F	1380	1970	1.43	54.1	61.4	157	157	1.0	15	
3	F	850	****	****	****	****	140	101	1.5	0	
4	F	893	1400	1.57	15.6	21.0	140	93	1.5	5	
5	F	1820	2360	1.85	108	148	140	140	1.0	30	
6	F	876	2300	2.63	51.9	70.2	209	139	1.5	15	
1	S	1710	3060	1.79	97.6	116	210	167	1.3	84	
2	S	1820	3750	2.32	187	252	220	177	1.3	100	
3	S	1700	****	****	****	****	200	160	1.3	48	
4	S	1140	3400	2.98	127	148	140	112	1.3	86	
5	S	1560	2160	1.39	58.5	65.4	256	205	1.3	108	
6	S	1250	3100	2.48	97.3	134	174	174	1.0	90	
1	R	1250	2100	1.68	28.4	35.1				5	
2	R	1040	1750	1.68	17.4	25.6				12	
3	R	1120	2100	1.88	28.5	31.6				5	
4	R	828	2000	2.42	28.3	42.6				30	
5	R	1360	2120	1.56	36.6	40.7				60	
6	R	1030	2500	2.43	56.0	80.5				42	
1	T	1200	1820	1.35	30.3	41.6				40	
2	T	1000	1000	1.00	7.22	11.4				5	
3	T	1070	1000	0.94	3.76	6.91				40	
4	T	797	1140	1.43	7.84	10.1				20	
5	T	1340	1000	0.75	9.22	13.7				30	
6	T	997	900	0.90	5.68	7.21				5	

\* Computed from distal in-line acceleration  
 \*\*\* Ratio Col. 4 ÷ Col. 3  
 \*\*\*\* F = Frontal  
 S = Temporo-parietal  
 R = Occipital  
 T = Cranial

Table 4  
Calculated Average Kinematic Data at Each Location\*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IMPACT LOCA-TION**	RIGID BODY ACCELERATION (g)	DISTAL IN-LINE ACCELERATION (g)	NORMALIZED ACCELERATION	HIC X10 <sup>3</sup>	S1 X10 <sup>3</sup>	U RAD/SEC	V RAD/SEC <sup>2</sup> X10 <sup>3</sup>	TIME TO PEAK 1/8 ms	UNCONSCIOUS DURATION SEC
F	1210 ±100	2410 ±790	1.91 ±0.47	62.2 ±34.7	81.5 ±68.1	158 ±26.8	132 ±28.9	1.3 ±0.27	13 ±11
S	1510 ±250	3090 ±590	2.19 ±0.62	113 ±47.8	143 ±68.4	200 ±39.8	160 ±30.5	1.3 ±0.12	86 ±21
R	1100 ±190	2100 ±240	1.94 ±0.39	32.5 ±13.0	42.7 ±19.5				26 ±22
T	1070 ±190	1110 ±260	1.06 ±0.27	10.7 ±9.8	15.2 ±13.2				23 ±16

\* Calculated from Table 2 data  
 \*\* F = Frontal  
 S = Temporo-parietal  
 R = Occipital  
 T = Cranial

Table I

INPUT AND RESPONSE OF MONKEY HEAD HEMISECTION FOR THREE LEVELS OF ENERGY IN EACH OF THREE MODES OF MOTION

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					11					12					13					14				
									S H E A R S T R A I N - R A D I A N S (5)					BRAIN STEM □	CONTR. COUP. ▽	CORTEX ○	FRONT LOBE ☆	CEREBELLUM ○															
TEST	MODE	ENERGY - J -	FORCE - KN -	IMPACT DURATION - ms -	LINEAR ACCELERATION - G -	ANGULAR (1) VELOCITY - r/sec -	ANGULAR (2) ACCELERATION - r/sec <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> -	(3,5) BRAIN DISPLACEMENT - ms -																									
1	Trans.	19.7	6.5	1.8	350	---	---	neg.	..... M I S S E D D A T A .....																								
2	Trans.	38.9	12.8	1.6	750	---	---	neg.	0.10	0.20	0.07	0.05	0.09																				
3	Trans.	55.8	18.0	1.4	1250	---	---	0.51	0.05	0.23	0.12	0.05	0.07																				
4	Rot. Free	22.2	7.4	1.7	380	10/9	16/16	0.6	0.13/0.10	0.06/0.11	0.07	0.09	0.05																				
5	Rot. Free	40.7	12.9	1.6	750	18/13	35/32	0.9	0.13/0.14	0.15/0.17	0.23	0.09	0.09																				
6	Rot. Free	55.6	18.7	1.4	1200	22/15	62/51	1.9	0.13/0.19	0.16/0.18	0.12	0.09/0.11	0.06/0.09																				
7	Rot. Fixed	21.1	6.9	1.7	380	20/8.5	16/16	1.8	0.19	0.17/0.20	0.08	0.06	0.07																				
8	Rot. Fixed	40.9	13.8	1.6	800	30/14	48/34	2.2	0.19	0.25	0.10	0.07	0.11																				
9	Rot. Fixed	57.4	19.4	1.4	1200	36/17	96/51	2.5	0.22	0.21	0.15	0.08	0.07																				

(1) Maximum amplitude attained in 1-2 ms/average amplitude after impulse.

(2) Values obtained by double differentiation of film/values obtained from linear tangential acceleration ÷ radius.

(3) Maximum amplitude of brain with respect to the skull in the superior cortex.

(4) Late surge at 15-25 ms indicated by shear strain level under diagonal.

(5) Brain displacement and shear strain measurement locations shown in Figure:



Table 1 DESCRIPTION OF CADAVER SUBJECTS AND SUMMARY OF NECROPSY FINDINGS

Shoulder Belt Anchor Location	Test No. Subj. <sup>1</sup>	Age (Year) Weight (kg) Height (cm)	Cause of Death Comments	SUMMARY OF NECROPSY FINDINGS								
				Pelvis	Abdomen	Thorax	Thoracic Lumbar Spines	Neck				
								Skeletal	Ligamentous	Cord/Other		
INBOARD (IMPACT SIDE)	LOW	048 FR	65/76.8/183	Cardio-respiratory arrest	.3	.3	.3	.3	Separation disc C5-6 complete--- Separation disc C6-7 partial--- Fr. Trans. process C5 FC--- Fr. Trans. process C6 bilateral	Torn post. long. lig. 75% of width at C5-6	None	
		051 FR	56/91.8/180	Septicemia	.3	None	None	.3	Complete separation disc C6-7 with dislocation	Torn ant. long. lig. at C6--- Torn interspinous lig. at C6-7	6 cm tear dura--- Transection cord at C6--- Severed rt. vertebral artery at C6	
		052 ER	59/83.2/173	Cardiac arrhythmia Embalmed	.3	.3	.3	.3	Separation disc C6-7 complete--- Separation disc C5-6 partial	None	None	
		056 FR	23/47.7/170	Gunsnot Weight loss due to cystic fibrosis	None	None	None	.3	None	None	None	
		049 FR	67/64.1/183	Hepatic failure	Linear fracture left acetabulum	.3	Fractured sternum	.3	Separation of lower C6 at disc margin complete--- Fr. of lat. art. facets & arch C6--- Fr. arch & spinous process C5	Torn ant. long. lig. at C6--- Torn dorsal lig. at C6	Two tears dura at C6--- Transection cord at C6--- Marked local softening cord C6	
OUTBOARD (OPPOSITE IMPACT SIDE)	HIGH	053 ER	59/75.0/189	Adenocarcinoma of Lungs Embalmed	.3	.3	.3	.3	Linear fracture C2--- Separation disc C6-7--- Fracture C6	Loosening interspinous lig. C1-C2--- Stretched ant. long. lig. C6--- Torn interspinous lig C6--- Torn post. long. lig. C6	1.3 cm tear in dura	
		054 FR	74/81.8/185	Cardio-respiratory Arrest--- Ribs easily broken Sternocleidomastoid muscle absent, rt.	None	.3	Fractured ribs* 1,3,4 left	.3	Partial separation disc C6-7--- Disc cleft <sup>5</sup> C5-6	None	None	
		057 FR	67/84.6/173	Cerebral Anoxia Ilium bone thin CPR prior to death	Disp. Fr. 6 rt. Ilium <sup>4</sup>	None	Fr. sternum <sup>4</sup> Fr. ribs: 4,5 R & L; 6r	.3	Disc clefts <sup>5</sup> : C5-6, C6-7	None	None	
		058 FR	59/68.2/183	Metastatic melanoma	Disp. Fr. rt. Ilium	None	None	None	Disc cleft <sup>5</sup> : C6-7	None	None	
		059 FR	65/65.9/173	Myocardial infarct CPR prior to death	None	None	Fractured sternum <sup>4</sup>	Transverse Fr. T1	Disc clefts <sup>5</sup> : C3-4, C4-5, C5-6, C6-7	None	None	
NOT EXPOSED	Control FF	65/53.6/157	Competitive heart failure	.3	None	None	.3	Disc clefts <sup>5</sup> : C5-6	None	None		
	Control FR	69/46.8/168	Carcinoma of Stomach	.3	None	None	.3	Disc clefts <sup>5</sup> : C3-4, C4-5, C5-6, C6-7	None	None		

<sup>1</sup>See Text, Figure 1  
FR - Unembalmed male  
ER - Embalmed male  
FF - Unembalmed female

<sup>3</sup>Region not examined for that subject.  
<sup>4</sup>Midsagittal section of spine not done.

<sup>5</sup>Observed only after midsagittal sectioning of spine.  
<sup>6</sup>See comment for that subject.

<sup>6</sup>Fr. - Fracture.

Table 2 SUMMARY OF TEST CONDITIONS AND RESPONSES

Shoulder Belt Anchor Location	Subject	Test No.	Sled velocity change (km/hr)	Peak Belt Forces (kN)				Triax. Result. Accel. (g)				
				Inboard		Outboard		Head		Thorax		
				Lap	Lap	Shoulder	Est. Result.	HIC	3 ms	GSI	3 ms	
Inboard (on impact side)	Low	572 dummy	1065 <sub>5</sub> 047	37 36	2.75 2.10	8.65 5.90	4.25 4.90	5.6 6.7	172 -	31 -	33 -	38 -
		Cad.	FM 048 <sub>5</sub>	37	2.70	5.70	3.95	5.9	-	-	-	-
			FM 051	34	2.00	7.45	4.10	6.5	-	-	-	-
			FM 056 <sub>4</sub>	34	1.30	3.55	2.70	3.8	-	-	-	-
	High	572 dummy	1138 <sub>5</sub> 1150	35 35	3.35 5.20	11.10 10.20	5.00 5.00	5.7 5.7	137 171	27 31	122 164	27 30
		572 dummy	1063 <sub>5</sub> 046	37 38	3.90 2.25	11.00 8.60	4.05 3.90	3.9 3.8	195 -	36 -	397 -	47 -
			Cad. EM	053 <sub>4</sub>	35	2.40	6.30	3.90	3.2	-	-	-
		Cad. FM	049 <sub>5</sub>	35	1.85	6.40	4.15	4.5	-	-	-	-
Outboard (opposite impact side)	572 dummy	1135 <sub>5</sub> 1152	36 35	3.45 4.05	4.25 4.30	2.60 3.60	2.3 3.0	455 <sup>6</sup> 254	42 <sup>8</sup> 33	66 59	23 19	
		Cad.	FM 054 <sub>4</sub>	37	3.25	2.55	4.00	-	-	-	-	-
	FM 057		35	3.65	2.25	4.10	2.5	-	-	-	-	
	FM 058		35	3.50	2.50	3.35	-	-	-	-	-	
	FM 059	35	1.90	2.85	0.90	-	-	-	-	-	-	
None (Lap belt only)	572 dummy	1137 <sub>5</sub> 1151	35 35	3.40 3.30	6.55 7.45	None	0	1419 <sup>8</sup> 1266	130 <sup>8</sup> 93	112 120	28 30	

<sup>1</sup>See Text, Figure 1.  
<sup>2</sup>See Text, Figure 13.  
EM - embalmed male.  
FM - unembalmed male.

<sup>4</sup>Test No. <100 conducted on USCD sled. No head or thorax accelerometers. Test No. >1000 conducted on GMR sled. S indicates sequence photos and transducer responses given in Figures 3 to 12.

<sup>6</sup>Estimated resultant force of the shoulder belt on the upper body. SAE J211a class 1000 frequency response  
<sup>8</sup>head/arm impact significant SAE J211a class 180 frequency response.





Table 1 - Summary of test conditions and responses

Wheel Stiffness <sup>1</sup>	Column Angle	Spoke Position	Number Rib Fractures	Liver Laceration		Abdominal Compression		Lower Spine Acceleration 3 ms (g) <sup>4</sup>
				AIS	Number	Maximum Percent <sup>2</sup>	V* <i>C</i> (m/s) <sup>3</sup>	
"Stiff"	20°	Vertical	12	5	10	42	1.7	41
			6	5	3	43	2.1	28
		Horizontal	8	5	5	36	1.6	43
			7	5	4	50	2.3	47
"Stiff"	30°	Vertical	7	5	10	41	2.0	--
			6	5	5	45	2.0	34
		Horizontal	10	5	7	41	1.5	55
			4	5	9	38	1.2	33
"Soft"	20°	Vertical	0	0	0	32	0.9	47
			6	0	0	34	1.0	43
		Horizontal	7	0	0	36	0.9	43
			6	0	0	33	0.8	46
"Soft"	30°	Vertical	10	4	1	33	0.9	44
			11	4	2	39	1.1	31
		Horizontal	1	0	0	36	0.7	59
			7	4	1	32	0.8	40
"Rigid"	30°		14	5	Extensive	50	2.4	32

<sup>1</sup> See Fig. 7.

<sup>2</sup> Compression normalized by subject thickness at lower rim contact point.

<sup>3</sup> Normalized compression multiplied by velocity of compression.

<sup>4</sup> Accelerometer located at T-11 or T-12.

Table 2 - Correlation of injury with steering assembly parameters. The mean amplitude is given for each level of the listed parameter variation.

Parameter	Rib Fracture	Liver Laceration	
	Number per Subject	AIS	Number per Subject
Spoke position Vertical/Horizontal	7.25/6.25 p 0.57	3.75/3.38 p 0.45	3.88/3.25 p 0.53
Column angle 20°/30°	6.50/7.00 p 0.78	2.88/4.25 p 0.38	2.75/4.38 p 0.12
Wheel stiffness "Stiff"/"Soft"	7.50/6.00 p 0.40	5.63/1.50 p 0.0002	6.63/0.50 p 0.0001

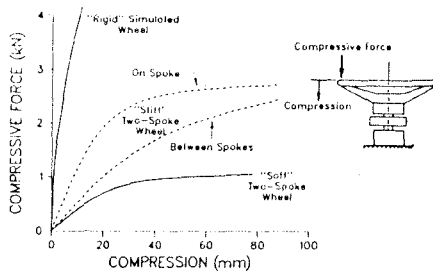


Fig. 7 Wheel quasistatic deformation characteristics for loading as shown in diagram.

Table 3 - Summary of Cadaver Test Conditions and Results

CADAVER NUMBER*	SEATBACK		AGE	SEX	HEIGHT INCHES	SITTING HEIGHT	WEIGHT POUNDS	POST-CRASH-INJURY	
	DEFLECTING	RIGID						AIS**	REMARKS
C1D	X		64	M	70	35	126	3	Subluxations C-5 & C-6, and between C-6 & C-7.
C2D	X		60	M	69	31.3	134	3	Compression fracture C-6. Also, stomach rupture rated AIS 5.
C5D	X		57	M	72	35.5	195	3	Disk injury between C-6 & C-7; no fracture.
C3R		X	52	F	64	32.5	132	3	Compression fracture C-6; fractures vertebral arches, C-5 & C-6.
C4R		X	64	M	69	34.7	159	3	Disk injury between C-6 & C-7; no fracture.
C6R		X	61	M	71	34.5	165	0	Clinical AIS=1; no visible injury on either x-rays or autopsy.
PART 572 50th % MALE	NA	NA	NA	M	68.3	35.7	164	NA	NA

\*D = Deflecting Seatback  
R = Rigid Seatback

\*\*Summary of Abbreviated Injury Scale:

AIS Code	Category
1	Minor
2	Moderate
3	Severe, not life-threatening
4	Severe, life-threatening, survival probable
5	Critical, survival uncertain
6	Maximum severity injuries, currently untreatable

Table 6 - Subject specifications and maxima of the measured and evaluated data of the four cadaver tests

Run No.	W.C. Type	Sex	Age (years)	Body mass (kg)	Sled dec. (g)	Res. Head Accel. (g)	HIC	Res. Thorax Accel. (g)	WCBF (kN)	SBF (kN)	LBF (kN)
80/25 C	A	male	55	76	12	33	123	30	6,7	4,1	5,8
81/5 C	C	fem.	65	53	14	45	371	30	strap broken	3,9	4,2
81/8 C	C	fem.	79	62	11	35	166	23	10,6	3,5	2,0
81/13 C	B	male	71	80	13	29	168	21	8,0	4,0	3,8

Table 1. Cadaver anthropometry

Calman	Sex	Age	Stature (in)	Weight (lb)	Tibia height
20	M	72	72	161	20
21	F	77	59.5	127	17.5
22	F	71	62	156	17
23	M	77	68.5	155	18.5
24	M	46	70	132	21
26	M	77	68	157	19.5
27	M	63	71	194	21
28	F	79	62	121	19

Table 4. Electronic data summary

Calman	Bumper	Knee R (g)	Bumper Load (lb)	Pelvis R (g)	HLE Load (lb)
20	Mod	160	1100	63	2200
21	Mod	180	1150	105	2950
24	Mod	200	950	48	1920
26	Mod	180	1000	80	2998
22*	Prod	680	2700	82	2400
23	Prod	630	3350	78	2100
27	Prod	680	3425	74	2219
28	Prod	687	2600	107	1927

Table 7. Comparison of struck knee injuries -- modified and production bumper impacts

Comparison No.	Calman		Knee Injuries	
	Mod./Prod	Modified	Production	
1	20/23	Tibial plateau fracture	Ant. and post. cruciate lig. avulsed, laceration of deep fascia, knee capsule and semimembranosus muscle, med. coll. ligament avulsed	
2	21/28	None	Tibia and fibula fracture, med. coll. ligament laceration, med. condyle of femur fracture	
3	21/22	None	Ant. and post. cruciate lig. avulsed, med. coll. ligament avulsed, popliteal vein ruptured	
4	26/23	Tibia plateau fracture, post. cruciate and med. coll. ligament avulsed, joint capsule and lateral meniscus ruptured	Ant. and post. cruciate lig. avulsed, laceration of deep fascia, knee capsule and semimembranosus muscle, med. coll. ligament avulsed	
5	20/27	Tibia plateau fracture	Post. cruciate and med. collateral ligaments avulsed, rupture of joint capsule	
6	26/27	Tibial plateau fracture, post. cruciate and med. coll. ligament avulsed, joint capsule and lateral meniscus ruptured	Post. cruciate and med. collateral ligaments avulsed, rupture of joint capsule	
7	24/23	None	Ant. and post. cruciate lig. avulsed, laceration of deep fascia, knee capsule and semimembranosus muscle, med. coll. ligament avulsed	
8	24/27	None	Post. cruciate and med. collateral ligaments avulsed, rupture of joint capsule	

**Table 8. Injuries to the hip and thigh—modified and production bumper impacts**

Calman	Bumper	Hip-Thigh Injuries
20	Mod	Superior and inferior pubic rami fractured bilaterally; comminuted femur fracture; cartilage fracture to head of femur
21	Mod	Superior and inferior pubic rami fractured bilaterally; subcapital femur fracture; laceration of the lateral and medial femoral circumflex arteries and the superior gluteal vessels; left sacroiliac joint fracture
24	Mod	Spiral femur fracture; vastus lateralis laceration
26	Mod	Left superior and inferior pubic rami fractured; left acetabulum fracture
22*	Prod	Superior and inferior pubic rami fracture bilaterally; iliotibial band lacerated—right side; wing of ilium fractured—left side
23	Prod	left inferior pubic ramus fractured; left acetabulum fracture
27	Prod	None
28	Prod	Superior and inferior pubic rami fractured bilaterally; femur fracture; vastus lateralis and medialis lacerated

**Table 9. Temporary impairment (days)**

Test No	Veh Type	Body Area	Mobility			Cosmetic/Distig			Pain			Daily Living			Surgery			
			4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1				
CM20	M	Knees	7	14	21	328	42		318	7	7	30	318	7	30	90	230	N
		lower ex	14	14	150	180	42		318	14	14	14		21	30	90	219	Y
CM21	M	Knees	4	4	90	180	42		300		7	7	346	4	14	14		Y
		lower ex	14	90	270		42		300		14	14	330	14	90	90	180	Y
CM24	M	Knees lower ex	7		49	120		60	7	7	14	60	7		21	150	Y	
CM25	M	Knees	21	21	120	198	42	30	7	21	30	302	30	60	90	180	Y	
		lower ex	90	42	230		42	120	14	14	30	302	30	60	270		Y	
CM22	P	Knees	14	50	270		42	300		14	14	330	14	90	256		Y	
		lower ex	14	90	270		42	300		14	14	330	14	90	256		Y	
CM23	P	Knees	21	21	120	198	42	330	7	21	30	302	30	60	90	180	Y	
		lower ex	90	42	230		42	330	14	14	30	302	30	60	270		Y	
CM27	P	Knees	14	14	30	306	42	150	7	7	14	332	7	21	332	Y		
		lower ex	14	14	30	306	42	150	7	7	14	332	7	21	332	Y		
CM28	P	Knees	14	14	30	306	42	150	7	7	14	332	7	21	150	Y		
		lower ex	21	21	120	198	42	300	14	14	30	300	14	30	120	198	Y	
Average	Lower ex M P	Knees	8	10	58	177	32	0	8	155	4	9	17	241	10	26	49	103
		lower ex	16	35	113	203	42	0	233	0	5	12	18	324	11	41	97	166
Average	Lower ex M P	Reduction due to Mod	8	25	55	26	-11	0	225	155	-2	-4	-1	-83	-1	15	49	63
		Reduction due to Mod	31	37	175	75	32	0	45	155	9	12	18	173	18	45	118	137
Average	Lower ex M P	Reduction due to Mod	35	42	163	126	42	0	270	0	9	12	22	316	15	47	167	132
		Reduction due to Mod	-4	-5	12	-51	-10	0	225	155	0	0	-4	-143	4	-2	49	5

Run No.	Impact Direc.	Spinal Column Injuries
8123	Right	Tear drop fracture of C5. Ventral laceration of the intervertebral disc C5/C6.
8203	Right	Hemorrhage and fissuration of the intervertebral discs C3/C4, C4/C5 and C6/C7, ventral.
8204	Left	Hemorrhages in the ligamentum apicis dentis of the cervical spine; hemorrhages in the interspinal space between C1/C2.
8205	Left	Hemorrhage of the intervertebral discs C5/C6, C6/C7 dorsal; loosening of the basal frontal parts of the intervertebral discs of the upper plate C6.
8206	Right	The intervertebral discs C2/C3 and C3/C4 dorsal in loosening of the upper plates with hemorrhages. Hemorrhage and strain of the ligamentum flavum between the archs of C1 and C2; epidural hemorrhages between Th5 and Th9.
8207	Left	Hemorrhages in the intervertebral discs C2/C3, C5/C6 and C6/C7. Small hemorrhages in the articular space right between C6/C7 and C7/Th1.
8210	Right	No injuries.
8211	Left	Laceration of the anterior longitudinal ligament between C1 and C2.
8213	Right	Hemorrhages in the intervertebral discs C2/C3, C3/C4, C4/C5, C5/C6 and C6/C7, dorsal. Laceration of the posterior longitudinal ligament at C5/C6. Hemorrhage right at the onset of the 1st rib at the spinal column. Hemorrhage into the joint C5/C6 left. Hemorrhage into the interspinal space between occiput and C1 and C1/C2.
8301	Left	Hemorrhages between the posterior longitudinal ligament and the intervertebral discs in the cervical spine at C2/C3, C3/C4, C5/C6, C6/C7. Hemorrhages in the ligamentous system between base of the skull and upper cervical spine (C1/C2).
8302	Right	No injuries.
8303	Right	Hemorrhages in the ligamentum apicis dentis of the cervical spine.
8304	Left	Dorsal hemorrhages into the intervertebral discs C3/C4 and C5/C6. Hemorrhage between occiput and C1.
8305	Left	Hemorrhages into the intervertebral discs C5/C6 dorsal and C6/C7 total. Fracture of the upper plate and inclined fracture of C7 without compression. Rupture of the ligamentum apicis dentis.
8306	Right	Hemorrhage and fissure of the intervertebral disc C6/C7. Luxation of the joint between C6 and C7. Hemorrhage in the interspinal space between C1 and C2.

Table 1: Spinal Column Injuries of the Test Subjects Classified According the Collision Direction

Run No.	Impact Direc.	Abdominal Injuries
8123	Right	No injuries.
8203	Right	A 7 cm long and 0,5 cm deep laceration at the backside of the left lobe of the liver. A further 2,5 cm long and 0,5 cm deep laceration at the backside of the liver in the area of the lobus quadratus.
8204	Left	No injuries.
8205	Left	No injuries.
8206	Right	A 4 cm long and 0,5 cm deep laceration at the rearside of the right lobe of the liver.
8207	Left	No injuries.
8210	Left	A 10 cm long and 1 cm deep laceration over the right liver cupola. A 8 cm long laceration at the surface between the right and left lobe of the liver. Two about 5 cm long and 1,5 cm deep lacerations parallel to each other at the right lower side of the liver. Extensive rupture in the center of the liver.
8211	Left	No injuries.
8213	Right	Three up to 12 cm long and up to 4 cm gaping and 1,5 cm deep liver ruptures at the rearside of the right lobe of the liver. Extensive lacerations of the small intestine mesentery, predominantly right.
8301	Left	No injuries.
8302	Right	A 8 cm long and 0,5 cm deep laceration at the lower side of the liver at the edge of the lobus quadratus. Small sub-capsular hemorrhage at the frontal right lower side of the liver. At incision a liver crushing of about the size of a fist could be seen at the right lobe of the liver. An about 2 cm long laceration at the surface at the right lower side of the liver.
8303	Right	A 9 x 4 cm big laceration, reaching to the liver center at the lower side of the right lobe of the liver. Three about 7 cm long lacerations, parallel to each other, at the surface at the lower side of the right lobe of the liver. Hemorrhage of the right adrenal gland and the right tissue of the kidney capsule.
8304	Left	Hemorrhage of the medium pancreas segment to the rear side; hemorrhages at the serosa and pancreas segments at the surface.
8305	Left	Ruptures at the surface at the right cupola of the liver and the right side.
8306	Right	Ruptures at the surface of the right and left lobe of the liver at both sides of the ligamentum falciforme. Multiple splenic ruptures at the surface turning to the costal arch.

Table 2: Abdominal Injuries of the Test Subjects Classified According the Collision Direction

Run No.	Sex	Age (years)	Body mass (kg)	Body length (cm)	Seat height (cm)	Chest circumfer. (cm)	Number Rib-fract.	AIS				
								Head	Thorax	Vert. column	Abdomen	MAIS
81 23	M	22	71	178	92	85	0	0	0	2	0	2
82 03	M	21	68	173	93	87	0	0	0	2	5	5
82 04	W	40	60	158	80	74	18	0	4	1	0	4
82 05	M	43	77	178	93	94	23	3	4	1	0	4
82 06	M	23	63	175	97	81	14	0	3	1	4	4
82 07	M	58	68	165	89	96	19	0	4	1	0	4
82 10	M	29	70	184	100	87	6	0	2	0	5	5
82 11	M	29	59	177	95	83	14	0	3	2	0	3
82 13	M	47	90	170	90	104	27	0	4	2	5	5
83 01	W	39	57	173	81	86	19	3	4	1	0	4
83 02	M	22	65	175	94	92	0	0	0	0	5	5
83 03	M	52	68	172	91	94	22	0	4	1	5	5
83 04	M	28	61	172	91	86	18	1	4	1	3	4
83 05	W	42	60	162	87	83	26	0	4	2	4	4
83 06	M	59	60	169	87	88	20	0	4	2	4	4

Table 3: The most Important Anthropometrical Data of Test Subjects with Number of Rib Fractures and Injury Severity



TABLE 2  
General Data Tabulation

Test ID	Striking Velocity V <sub>1</sub> , m/s	Normalized Compression C <sub>n</sub> , %	Force kN	Sternal Acceleration g	Spinal Acceleration R	Aortic (I) Overpressure mm Hg	Mean Striker Velocity V <sub>2</sub> , m/s	Peak Abs. Sternal Velocity V <sub>3</sub> , m/s	Mean Abs. Sternal Velocity V <sub>4</sub> , m/s
<b>"Low" Velocity</b>									
37/L35	8.1	20	5.9	630	87	220	4.1	8.0	4.5
4/L36	8.1	24	5.6	510	138	290	4.4	7.3	3.8
$\bar{V}_L$	8.1±0.0	22±3	5.8±0.2	570±80	113±36	255±50	4.3±0.2	7.7±0.5	4.2±0.3
<b>"High" Velocity</b>									
17/L33	10.6	28	9.5	880	170	-	5.8	8.6	4.8
2/L34	10.4	28	8.4	1310	95	730	5.7	10.5	-
5/L37	10.8	33	7.4	1170	88	1020	6.1	10.5	5.2
6/L38	10.4	27	9.2	840	155	405	5.9	9.2	4.9
$\bar{V}_H$	10.6±0.2	29±3	8.6±0.9	1050±230	127±42	720±310	5.9±0.2	9.7±1.0	5.0±0.2
$\bar{V}_{LVHC}$	9.7±1.3	27±4	7.7±1.7	890±310	122±37	535±335	5.3±0.9	9.0±1.3	4.6±0.5
<b>"Low" Compression</b>									
17/L49	14.5	14	11.3	1710	117	745	8.5	11.8	4.9
18/L50	14.3	15	10.9	-	126	900	7.5	-	-
19/L51	14.9	17	9.6	1810	233	920	8.4	11.7	5.4
20/L52	15.7	14	10.7	-	113	860	8.1	-	-
38/L70	13.5	13	8.9	1950	207	570	6.9	11.3	5.0
$\bar{V}_L$	14.6±0.8	15±2	10.3±1.0	1820±120	159±56	800±145	7.9±0.7	11.6±0.3	5.1±0.3
<b>"Medium" Compression</b>									
21/L53	15.0	19	12.7	1490	213	745	9.9	11.5	6.1
22/L54	15.3	19	11.0	2210	147	690	8.5	10.1	6.3
26/L58	14.3	20	10.1	-	-	195	9.5	-	-
37/L69	12.2	19	8.8	1150	82	1935	7.8	12.1	-
$\bar{V}_M$	14.2±1.4	19±1	10.7±1.6	1750±540	147±66	895±735	8.9±1.0	11.2±1.0	6.2±0.1
<b>"High" Compression</b>									
23/L55	14.6	23	12.6	1930	186	875	9.6	12.1	6.4
24/L56	15.3	23	11.8	-	-	1150	9.9	-	-
25/L57	14.2	26	10.7	2470	110	1340	9.8	12.7	7.6
$\bar{V}_H$	14.7±0.6	24±2	11.7±1.0	2200±380	148±54	1120±235	9.8±0.2	12.4±0.4	7.0±0.8
$\bar{V}_{HVLC}$	14.5±0.9	19±4	10.4±1.3	1890±380	153±52	910±430	8.7±1.0	11.7±0.8	6.0±0.9

Test ID	Peak Rel. Sternal Velocity V <sub>3</sub> , m/s	Mean Rel. Sternal Velocity V <sub>4</sub> , m/s	Peak Spinal Velocity m/s	$\frac{V_3}{V_1}$	$\frac{V_4}{V_1}$	Gross Injury Severity	ECC Changes
<b>"Low" Velocity</b>							
37/L35	7.4	2.8	3.8	0.99	0.91	Serious	Moderate
4/L36	5.9	2.1	3.7	0.90	0.73	Moderate	Minor
$\bar{V}_L$	6.7±1.1	2.5±0.5	3.8±0.1	0.95±0.06	0.82±0.13		
<b>"High" Velocity</b>							
17/L33	8.3	3.3	3.8	0.81	0.78	Serious	Minor
2/L34	9.2	-	-	1.01	0.88	Serious-Critical	Minor
5/L37	10.1	3.8	4.3	0.97	0.94	Serious	Minor
6/L38	8.9	3.6	4.1	0.88	0.86	Critical	Moderate
$\bar{V}_H$	9.1±0.8	3.6±0.3	4.1±0.3	0.92±0.09	0.87±0.07		
$\bar{V}_{LVHC}$	8.3±1.3	3.1±0.7	3.9±0.3	0.93±0.08	0.85±0.08		
<b>"Low" Compression</b>							
17/L49	11.4	6.2	3.1	0.81	0.79	Minor	Moderate
18/L50	-	-	3.3	-	-	Minor	Extensive
19/L51	11.4	5.5	4.3	0.79	0.77	Minor	Moderate
20/L52	-	-	3.1	-	-	Minor	Moderate
38/L70	11.2	5.6	3.8	0.84	0.83	Minor	Minor
$\bar{V}_L$	11.3±0.1	5.8±0.4	3.5±0.5	0.81±0.03	0.80±0.03		
<b>"Medium" Compression</b>							
21/L53	12.1(2)	5.5	3.7(2)	0.77	0.81	Serious-Critical	Extensive
22/L54	10.1	6.4	4.1	0.66	0.66	Critical	Moderate
26/L58	-	-	-	-	-	Critical-Fatal	Moderate
37/L69	11.5	-	3.6	0.99	0.94	Minor-Moderate	Extreme
$\bar{V}_M$	11.2±1.0	6.0±0.6	3.8±0.3	0.81±0.17	0.80±0.14		
<b>"High" Compression</b>							
23/L55	11.3	6.1	4.1	0.83	0.77	Fatal	Extreme
24/L56	-	7.4	5.2	0.89	0.87	Serious	Extensive
25/L57	12.3	7.4	4.7±0.8	0.86±0.04	0.82±0.07	Fatal	Extreme
$\bar{V}_H$	11.8±0.7	6.8±0.9	4.7±0.8	0.86±0.04	0.82±0.07		
$\bar{V}_{HVLC}$	11.4±0.7	6.1±0.7	3.8±0.6	0.82±0.10	0.81±0.08		

(1) Pressure referred to mean baseline BP before impact  
 (2) Peak spinal velocity was reduced and V<sub>4</sub> increased by unexplained negative pulse at onset of apinal acceleration signal.

1  
177  
1

**TABLE 3**  
Gross Pathology Summary

Test ID	Striking Velocity V <sub>1</sub> , m/s	Normalized Compression C <sub>n</sub> , X	Skeletal M <sup>(1)</sup>	Lung	Hemo-thorax	Cardiovascular	Overall Degree	
<b>"Low" Velocity</b>								
LVIC Regime	37/L35	8.1	20	-	C <sup>(2),(3)</sup>	-	C (minor subendocardial) serious	
	4/L36	8.1	24	-	C	-	C (minor subendocardial) moderate	
<b>"High" Velocity</b>								
LVIC Regime	17/L33	10.6	28	-	C	minimal	-	serious
	2/L34	10.4	28	1(7)	C*	moderate	-	serious/critical
	5/L37	10.8	33	-	C	-	-	serious
	6/L38	10.4	27	-	C*	-	-	critical
<b>"Low" Compression</b>								
RVIC Regime	17/L49	14.3	14	-	C	-	-	minor
	18/L50	14.3	15	-	C	-	-	minor
	19/L51	14.9	17	-	-	-	-	minor
	20/L52	15.7	14	-	-	-	-	minor
	38/L70	13.5	13	-	-	-	-	minor
<b>"Medium" Compression</b>								
RVIC Regime	21/L53	15.0	19	2	C	-	-	serious/critical
	22/L54	15.3	19	4	C	(8)	L <sup>(4)</sup> -pericardium; T <sup>(5)</sup>	critical
	26/L58	14.3	20	6	C	massive	R <sup>(6)</sup> -rt. atrium; T	critical/fatal
	37/L69	12.2	19	3	-	-	-	minor/moderate
<b>"High" Compression</b>								
RVIC Regime	23/L55	14.6	23	1	C*	massive	R-lt. atrium; T	fatal
	24/L56	15.3	23	3-4	C	-	L-post. vena cava C/L-rt. vent. septum -apex rt. vent.	serious
	25/L57	14.2	26	8	C	massive	R-rt. atrium; T	fatal

- (1) M - Number of fracture sites (rib and sternal)
- (2) C - Contusion (including ecchymoses and interstitial hemorrhage)
- (3) \* - Extensive
- (4) L - Laceration
- (5) T - Cardiac tamponade
- (6) R - Rupture
- (7) Possible sternal fracture - not confirmed
- (8) Hemomediastinum due to dissecting hematoma resulting from fracture of manubrium

**TABLE 4**

ECC Response Summary

Test ID	Post-impact Changes	Severity Assessment	
<b>"Low" Velocity</b>			
LVIC Regime	37/L35	Atrial fibrillation, AV block with asystole, ventricular tachycardia, PVC's, normalization	Moderate
	4/L36	Transient right axis shift	Minor
<b>"High" Velocity</b>			
LVIC Regime	17/L33	Sinus tachycardia, transient ST depression, right axis shift	Minor
	2/L34	Sinus tachycardia, transient ST change, short run of bigeminy, right axis shift	Minor
	5/L37	Transient ST elevation and biphasic T-wave, ST depression, indeterminate axis shift	Minor
	6/L38	Atrial fibrillation, right axis shift, ST depression, supraventricular tachyarrhythmia with aberrancy	Moderate
<b>"Low" Compression</b>			
RVIC Regime	17/L49	Transient left axis shift and right bundle branch block, sinus tachycardia	Moderate
	18/L50	AV dissociation, widened QRS, idioventricular rhythm, inferior wall ischemia, coupled PVC's, normalization	Extensive
	19/L51	Transient junctional rhythm, minimal changes with increased T-wave inversion in AVL	Moderate
	20/L52	Sinus bradycardia, ST elevation in lead I, intraventricular conduction delay, bizarre waveform, normalization	Moderate
	38/L70	Transient sinus tachycardia and axis shift	Minor
<b>"Medium" Compression</b>			
RVIC Regime	21/L53	Sinus bradycardia, Mobitz II heart block, elevated ST, supraventricular tachycardia, left axis shift, transient inferior wall injury pattern, persistent right bundle branch block, left anterior hemiblock, sinus tachycardia	Extensive
	22/L54	Transient left axis shift, possible left anterior hemiblock, peaked P-waves, ST elevation, sinus tachycardia, left lateral injury pattern	Moderate
	26/L58	Asystole, complete heart block, markedly elevated ST, loss of anterior wall forces, normalization	Moderate
	37/L69	Immediate ventricular fibrillation persisting to demise of animal	Extreme
<b>"High" Compression</b>			
RVIC Regime	23/L55	Idioventricular rhythm, atrial fibrillation, ST depression, ventricular tachycardia, resumption of normal sinus rhythm, then Mobitz II, 2:1 AV block, total heart block, agonal rhythm, final asystole	Extreme
	24/L56	Transient complete heart block with aberrant conduction, transient ST depression, resumption of normal sinus rhythm, incomplete right bundle branch block, ventricular irritability with coupling	Extensive
	25/L57	Prolonged asystole following impact, idioventricular rhythm, intraventricular conduction delay, inferior wall ischemia and lateral injury pattern, sinus arrest and junctional escape, right bundle branch block, left axis shift, asystole and escape, final asystole	Extreme

dummy loading		injury severity					
		AIS 3			AIS 6		
		95 %	means.	5 %	95 %	means	5 %
head	HIC	185	930	1310	375	1635	1770
chest	SI	< 50	500	655	145	990	1080
pelvis	max $a_{res}$	20,0g	58,5g	63,5g	33,5g	74,0g	77,0g

Fig. 13 - Correlation between injury severity (AIS 3 and AIS 6) and Dummy Loading values (frontal car collision driver and front-seat passenger)

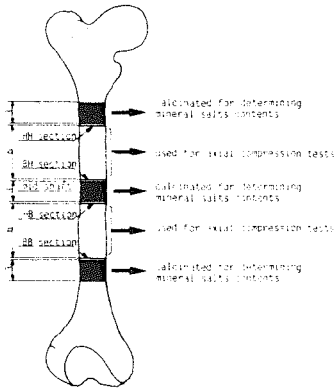


Figure 2 - Location of the Specimens Cut From a Femur for Calibration and Compressive Test.

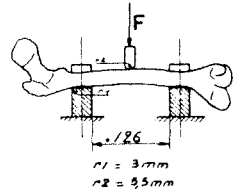


Figure 3 - Bending Test Diagram.

Table 1 - Dynamic Test Conditions.

Subject No. or A.I.D.	Belt	Impact Velocity (kph)	Sled Deceleration max. (g)	Stopping Distance (cm)	Leg Position	Knee-Target Distance (mm)	
						L	R
224	3-pts-belt	50.7	29	57	normal	85	85
231	" " "	50.7	30	58	"	105	100
232	" " "	50.7	31	58	"	110	80
233	" " "	50.1	30.5	60	"	90	85
254	" " "	49.5	31	54	"	52	50
255	" " "	50.9	31	57	"	54	50
1598-P, 572	" " "	48.7	32	55	"	90	90
2215-P, 572	" " "	48.9	26		"	100	105
257	" " "	67.1	39	100	"	85	80
258	" " "	65.1	38	108	"	86	83
267	" " "	60	34	67	"	75	75
268	" " "	66.8	42	87	"	85	85
276	" " "	65	72	100	"	80	85
277	" " "	67.7	31	98	"	75	80
2166-P, 572	" " "	65.7	35	76	"	91	80
280	diagonal belt	69	45	69	"	85	92
281	" " "	65.7	45	58	"	82	80
294	" " "	68.4	37	82	"	96	90
2167-P, 572	" " "	64.3	39	70	normal	90	87
2216-P, 572	" " "	50.3	24		"	90	90
296	" " "	64.4	38	69	oblique	83	82

Table 2 - Anthropometrical Data of the Tested Human Cadavers and Description of the Observed "Knee-Thigh-Hip" Injuries .-

Cadaver No.	Sex	Age	Weight	Size					"Knee-Thigh-Hip" Injuries
					U	I + J	M	P	
224	M	34	40	161	88.5	64.1	44.6	54	-
231	M	60	61	165	82.5	68	48.9	56.1	-
232	M	57	49	163	90	62.5	-	-	-
233	M	56	63	173	90.8	66.6	56	59	F* right knee-cap, right iliac wing
254	M	63	52	162	-	-	-	-	-
255	M	68	56	165	89.5	69	52.5	57	-
257	F	42	53	155	85.5	62.5	46.5	53.5	-
258	M	42	64	164	91	69	49	56	-
267	M	68	71	164	89	66	48	55	-
268	M	62	66	172	92	67	50.5	55.7	-
276	M	55	82	180	-	-	-	-	-
277	M	52	50	164	-	-	-	-	-
280	M	62	78	175	93	68	55	52	Right and left knee-caps, right cotyle F*
281	M	73	63	164	85	60	59	50	F* of the neck of right femur, of right and left knee-caps
294	M	71	69	166	87	63	55	53	F* of the distal part of right femur
296	M	55	68	169	90	68	57	52	F* of the right part and sub-condyle of left femur.

N.B.: F\* = fracture

Table 3 - Knee Impacts. Results From Cadaver and Dummy Tests.

Test No.	Knee-Peak Impact Load (kN)		Impulses (Ns)		Conventional Duration T <sub>k</sub> (ms)		Loading Duration T <sub>l</sub> (ms)		Femur Force (Dummy Tests)		Knee Impact Speed* (m/s)	
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
	224	3.00	1.40	43.6	14.6	14.6	10.4	-	-	-	-	-
231	3.30	6.70	46.2	92.4	14	13.8	37	44	-	-	-	4.43
232	3.60	7.20	43.8	111	12.2	15.4	40	42	-	-	3.01	6.56
233	8.30	7.80	100	115	12.5	14.3	35	50	-	-	3.02	5.54
254	7.45	6.60	65.2	65.6	8.8	9.9	35	46	-	-	7.64	3.52
255	7.60	9.00	121.4	166	16	18.4	61	56	-	-	-	4.69
1598*	16.20	17.50	182	138.4	11.2	7.9	38	31	1530	1330	-	7.25
2215*	-	15.00	-	90.0	-	6.0	-	30	840	1810	9.58	5.98
257	3.50	2.60	36	18.6	10.3	7.2	50	38	-	-	4.98	4.84
258	6.60	7.70	94	133.2	14.2	17.3	44	47	-	-	3.52	3.51
267	6.00	8.50	79.8	159.4	13.3	18.8	39	62	-	-	4.06	5.77
268	6.20	-	109	-	17.6	-	64	-	-	-	4.29	4.66
275	6.00	7.80	146.6	83.6	24.4	10.7	46	66	-	-	2.81	3.89
2166*	14.40	-	176.6	-	12	-	39	-	1060	>1700	10.65	9.43
280	12.30	12.70	195	369	15.9	29.1	38	76	-	-	-	7.91
281	10.40	8.30	230	177	22.1	21.3	52	43	-	-	7.07	6.11
294	12.50	11.80	401	194	32.1	16.4	98	76	-	-	6.51	5.86
2167*	15.40	13.30	180	378.6	11.7	28	80	71	1660	1750	10.47	10.24
2216*	14.00	15.60	200	180	14	12	75	40	1410	1490	-	-
296	5.60	11.00	100.6	97.6	18	8.9	53	45	-	-	6.51	5.86

(\*) Last tests of each series consist of a run with dummy.

Table 4 - Mechanical Tests Performed on Femurs

Subject No.	Overall Length (mm)	Cortical Bone Surface (mm <sup>2</sup> )				Ultimate Compression Load (kgf)		Initial Length (mm)
		HH	BB	HB	BH	Lower Sample	Upper Sample	
255	460	42.7	45.6	33.3	40.1	4175	5000	60
257	400	39.9	43.1	30.1	32.3	4100	4450	60
258	423	50.1	46.7	51.8	53.6	5675	6650	60
267	424	52.4	51.8	41.1	39.7	2525	4650	60
268	447	57.4	39.7	45.8	47.8	4150	6600	60
276	484	59.4	60.3	46.3	51.2	2490	5900	60
277	444	39.4	32.2	32.2	32.9	1800	4150	60
280	530	47.5	40.0	47.6	51.3	4400	5575	60
281	453	52.4	34.1	42.8	53.6	5150	5400	60
290	450	34.7	35.1	32.0	42.3	2340	4665	60
294	441	39.4	43.7	42.9	40.5	4145	4860	60
296	447	36.7	28.9	32.6	37.5	3555	4640	60

Table 4 - (Continued)

Subject No.	Deformation (mm) (U. Sample)	Strain (%) (U. Sample)	U.C.S. kgf/mm <sup>2</sup> (Upper Sample)	Bending Breaking Load (kgf)	Ultimate Deflection (mm)
255	1.25	2.08	12.46	686	5
257	0.80	1.33	15.77	738	4.7
258	1.20	2	12.4	1012	4.25
267	1.20	2	11.71	866	3.4
268	0.96	1.6	13.8	1072	3.3
276	1.14	1.9	11.52	860	3.85
277	1.04	1.73	12.61	267	2.15
280	1.14	1.9	10.86	606	2.25
281	1.34	2.23	10.07	476	4
290	1.22	2.03	11.02	-	-
294	1.23	2.05	12.0	1131	4.2
296	1.20	1.9	12.37	-	-

Table 5 - Results of Calcination of the Tested Cadaver Femurs.

Cadaver No.	Ash C(g)	Ic (cm)	AC = (HB + BH) ÷ 2 (cm <sup>2</sup> )	V = AC x Ic (cm <sup>3</sup> )	Ash (C/V) (g/cm <sup>3</sup> )
255	12.39	2.83	3.67	10.38	1.19
257	11.27	2.87	3.12	8.95	1.27
258	16.73	2.85	5.27	15.01	1.11
267	12.53	2.75	4.05	11.13	1.12
268	15.87	2.85	4.68	13.33	1.19
276	13.23	2.70	4.87	13.14	1.00
277	10.79	2.90	3.25	9.42	1.14
280	15.38	3.15	4.94	15.56	0.99
281	18.36	3.10	4.82	14.94	1.22
290	13.50	3.40	3.71	12.61	1.07
294	20.92	4.45	4.17	18.55	1.12
296	16.04	3.65	3.50	12.77	1.25

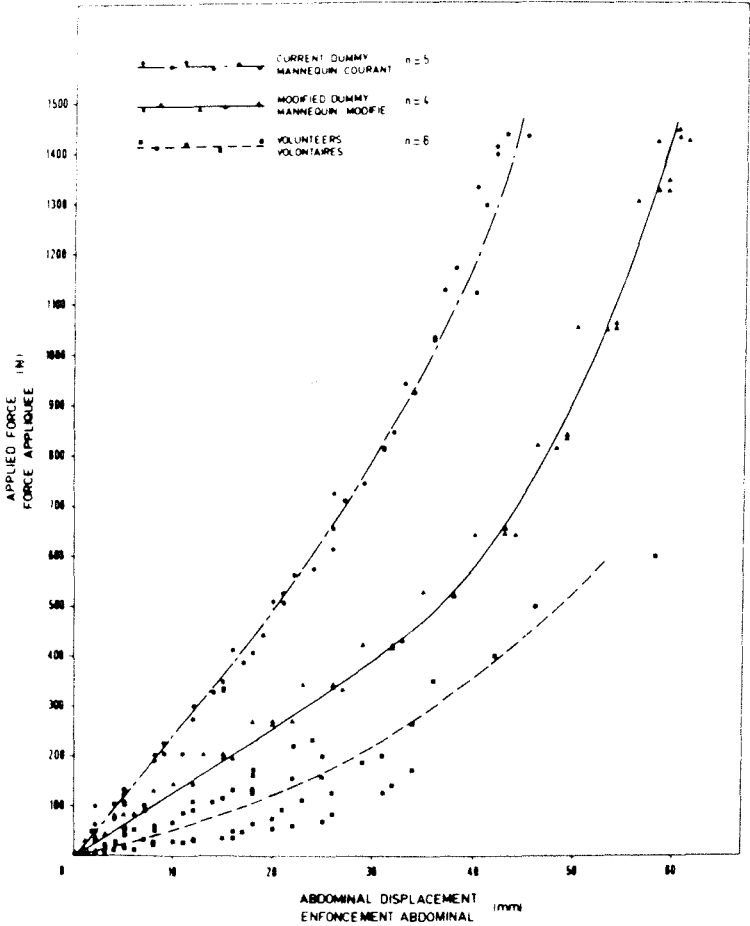


Fig. 12 - Relationship between the applied load and the abdominal displacement

TABLE 12- DECELERATIONS RECORDED - TESTS WITH HUMAN CADAVERS

Test N°	Seat N°	Sled decel. $\gamma$ (g)	Sled speed (km/h)	Thorax $[\bar{x}$ (g)/SI]				Sacrum $\bar{x}$ (g)/SI	Shoulder belt (N)		1st peak lap-belt (N)		2nd peak lap-belt (N)	
				D1	D4	D7	D12		upper	lower	int.	ext.	int.	ext.
127	4	23	50.9	-	-	-	-	86/1501	6800	8500	4000	9100	3900	9000
148	2	21	50.1	-	-	-	-	50/563	7700	2250	7600	4100	4200	2000
148	4	21	50	-	-	-	-	53/340	6000	5000	8600	4500	6500	2800
154	4	37	50.7		82/620	147/8064		71/779	6400	10050	5400	7400	5400	6700
182	2	24	47.5	39/171	36/76	81/555	107/437	45/272	5200	5500	6450	3900	7750	4300
243	4	27	47.4	-	-	-	-	93/471	4200	4600	600	700	4900	5100
244	4	34	50.1	-	-	-	-	63/334	5000	2800	3400	3900	1800	2200
245	4	22	49.8	-	-	-	-	52/859	5000	1800	3000	3700	2800	3700
246	4	30	50.1	56/521	82/678	81/774	79/637	153/1070	6600	4500	1500	4800	6000	7200
247	4	30	50.5	67/622	76/683	79/723	65/494	133/1067	8900	5800	5000	5200	6800	8600

TABLE 13- NORMALIZED LAP-BELT TENSIONS FOR THE SECOND PEAK ( AFTER SUBMARGINING )

Test N°	Mass Kg	Coefficient for normalized tension	Average 2nd peak tension of 2 sides (N)	Normalized lap-belt tension (N)	Abdomen AIS	Relative bigness x 10 <sup>-6</sup>
127.4	41	1.49	6450	9610,5	3	10,2
148.2	59	1.17	3100	3627	0	13,9
148.4	67	1.08	4650	5022	0	13,2
154.4	42,5	1.46	6050	8833	5	8,5
182.2	62	1.14	6025	6868,5	3	11,4
243.4	74	1.01	5000	5050	4	14,5
244.4	54	1.24	2000	2480	0	12,0
245.4	62	1.14	3250	3705	1	16,0
246.4	52	1.28	6600	8448	3	11,5
247.4	58	1.19	7650	9104	4	13,3

Table 14- Injuries of the Tested Human Cadavers

Cadaver No.	Sex	Age	Size (m)	Weight (kg)	Injuries and Corresponding AIS	
					Thorax (Rib fractures)	Abdomen
127-4	M	57	1.59	41	28 ribs, AIS 4	L 1 fracture AIS 3
148-2	F	65	1.62	59	8 ribs, AIS 3	AIS 0
148-4	M	62	1.72	67	12 ribs AIS 3	AIS 0
154-4	M	63	1.71	42,5	40 ribs+sternum AIS 4	liver + L2 fracture AIS 5
182-2	M	57	1.76	62	8 ribs AIS 3	L 1 fracture AIS 3
243-4	M	61	1.72	74	7 ribs AIS 3	colon + break of rectus AIS 4
244-4	F	57	1.65	54	24 ribs AIS 4	fractures of left ilium crest AIS 3
245-5	M	56	1.57	62	7 ribs AIS 3	fissure of adipose tissue AIS 1
246-4	M	62	1.65	52	12 ribs AIS 3/T6-T7 AIS 3	break of rectus AIS 3
247-4	M	42	1.63	58	8 ribs+sternum AIS 3	break of rectus AIS 4



Table 4-Suggested injury tolerance criteria for use with the OPAT dummy when testing restraint systems incorporating safety belts

<u>Injury</u>	<u>Criterion</u>	<u>Tolerance level</u>	<u>Proportion injured at limit(?)</u>	
			<u>Expected</u>	<u>95% Confidence limit</u>
Clavicle fracture	Shoulder belt tension (measured at the upper anchorage position)	7FN (1575 lbf)	25	6-60
Rib or sternum fracture	Shoulder belt tension (measured at the upper anchorage position)	6FN (1350 lbf)	40	27-50
	Spine deceleration exceeded for 3ms	45g	40	28-55
Abdominal injury	Lap belt to remain located on pelvis of dummy	-	-	-
Brain injury without head contact	H.I.C. (Head Injury Criterion)	>1280	-	-
All injuries attributable to seat belt forces	Sum of seat belt tensions measured at the anchorage points	17FN (3800 lbf)	45	32-50

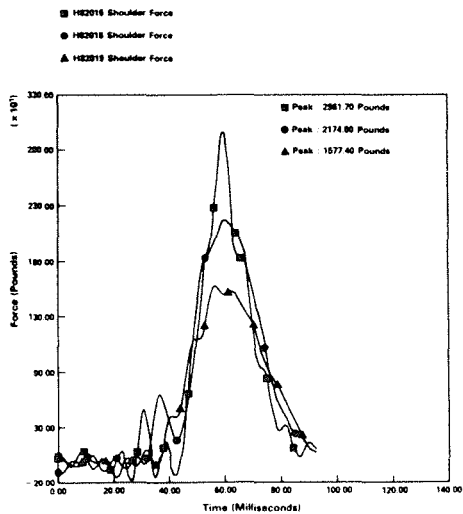


Figure 2 - Shoulder force for 15 mph rigid wall

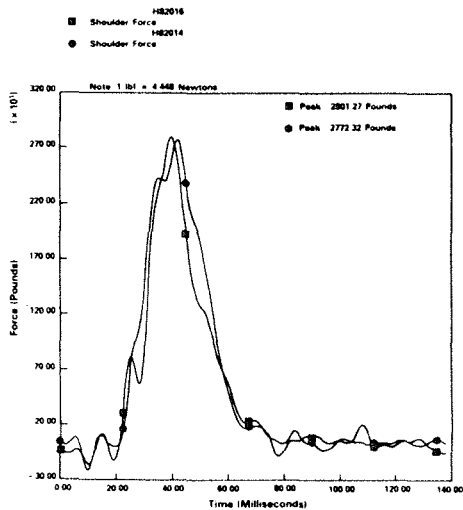


Figure 3 - Shoulder force for 20 mph rigid wall

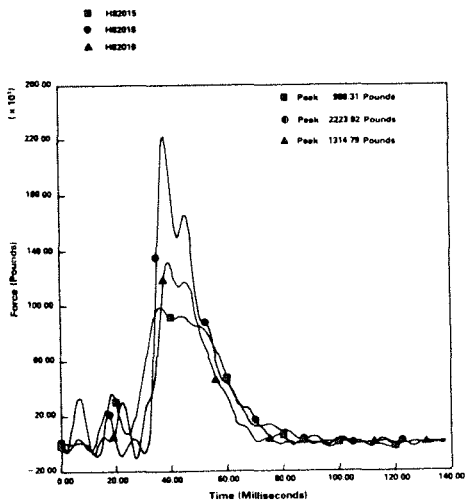


Figure 7 - Pelvic force for 15 mph rigid wall

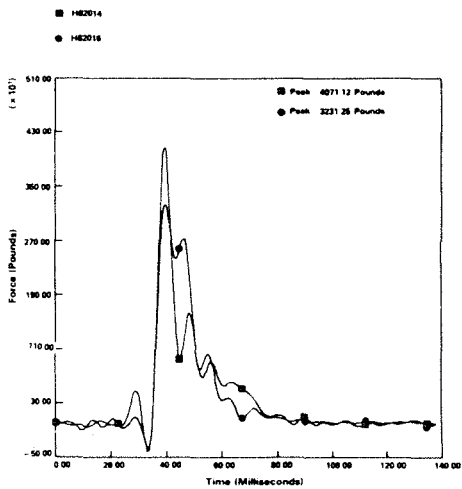


Figure 8 - Pelvic force for 20 mph rigid wall

TABLE 1

Specimen No.	Age (years)	Description	$l_0$ (cm)	$d_0$ (mm)	Pen Velocity (cm/sec)	Failure Mode	C5 Area (cm <sup>2</sup> )	Max. Load (N)	Max. Deflection (cm)	Strain Energy (N-cm)
A79-409	58M	E.O.S.* to T2	23	65	50	Jefferson Fr.	5.71	3560	3.0	7470
A79-415	37M	E.O.S. to T1	21	57	50	Compression C5	5.98	5340	3.0	12900
A79-419	49F	E.O.S. to T2	22	63	50	Compression C4&C5	4.29	4860	3.0	10300
A79-423	52M	E.O.S. to T1	19	60	50	Jefferson Fr.	6.17	4190	3.0	7920
A79-431	40M	E.O.S. to T1	20	59	50	Anterior Wedge C5	6.30	4720	3.0	9340
A80-289 Retest	71M	E.O.S. to C7 "5 to C7	14 9.1	60 10	54 57	C2 Cracked Anterior Wedge C6	5.43	5010 6040	2.9 2.7	7950 10900
A80-339	62F	E.O.S. to T1	21	63	84	Extension Failure	3.51	1930	4.0	4480
A80-352	62M	E.O.S. to C6	9.2	65	55	Jefferson Fr.	6.58	3120	3.0	5740
A80-357	46F	E.O.S. to C6	9.5	55	56	Jefferson Fr.	3.71	960	2.9	1800
A80-364	41M	E.O.S. to C6	12	55	45	C1&C2 Fractured	5.62	5270	2.5	8550
A80-368	77M	E.O.S. to C6 C3,4,5 Bodies Fused	11	45	57	C1 Fractured	5.77	3650	2.7	6350
A80-384 retest	64F	E.O.S. to C7 C3 to C7	16 10	47 30	92 77	C2 Fractured Burst C4 and Anterior Wedge C4&C5	4.38	4060 6840	4.5 3.5	12300 15500
A83-26	44M	C2 to T2	13	60	88	Burst Fracture C3,C4&C5	5.45	5470	4.4	15600
A83-42	63F	E.O.S. to C6	11	45	87	Burst Fracture C3&C6	3.28	3000	2.8	5550

\*E.O.S. = base of Skull

Table 2. Head peak accelerations (g)

a. Rigid wall impact tests										
Subject	Low velocity			Medium velocity				High velocity		
	CAD	5/2	TRRL	CAD	CAD	5/2	5/2	TRRL	CAD	5/2
Test No.	012	016	010	011	013	014	017	009	015	
A.P.	6	38	57	125	14	23	25	309	47	
S.I.	50	54	174	138	83	85	157	415	135	
L.R.	64	135	293	179	82	41	197	468	104	

b. Padded side structure tests										
Subject	Low velocity			Medium velocity				High velocity		
	CAD	5/2	TRRL	CAD	5/2	TRRL	CAD	5/2	TRRL	
Test No.	029	028	045	039	043	030	042	044	046	
A.P.	3	5	38	5			27	22	38	
S.I.	17	36	278	38			233	72	183	
L.R.	12	17	137	28			103	49	767	

Table 3. Thorax peak accelerations (g)

a. Rigid wall impact tests											
Subject	Low velocity			Medium velocity				High velocity			
	CAD	5/2	TRRL	CAD	CAD	5/2	5/2	TRRL	CAD	5/2	
Test No.	003	012	016	010	011	013	014	017	009	015	
A.P.	73	15	5	56	95	17	18	42	100	40	
S.I.	196	18	16	107	81	35	22	42	96	84	
L.R.	82	61	42	120	149	139	147	89	150	162	

b. Padded side structure tests											
Subject	Low velocity			Medium velocity				High velocity			
	CAD	5/2	TRRL	CAD	5/2	TRRL	CAD	5/2	TRRL		
Test No.	029	028	045	039	043	030	042	044	046		
A.P.	14	5	5	25	4	11	44	14	13		
S.I.	24	8	5	37	12	7	51	24	26		
L.R.	56	28	37	19	102	40	175	145	88		

Table 4. Pelvis peak accelerations (g)

a. Rigid wall impact tests											
Subject	Low velocity			Medium velocity				High velocity			
	CAD	5/2	TRRL	CAD	CAD	5/2	5/2	TRRL	CAD	5/2	
Test No.	003	012	016	010	011	013	014	017	009	015	
A.P.	22	10	3	41		21	24	28	54	42	
S.I.	65	14	93	63	70	63	47	96	47	61	
L.R.	53	60	49	70	149	286	278	147	279	379	

b. Padded side structure tests											
Subject	Low velocity			Medium velocity				High velocity			
	CAD	5/2	TRRL	CAD	5/2	TRRL	CAD	5/2	TRRL		
Test No.	029	028	045	039	043	030	042	044	046		
A.P.	42	3	4	7	7		35	9	23		
S.I.	20	5	6	19	15		43	35	43		
L.R.	78	28	34	39	44		106	121	74		

Table 1. Cadaver test subject data

Test No.	Age (yrs)	Sex	Stature (cm)	Weight (kg)
003	60	M	181	102.1
009	75	F	156	44.1
010	94	M	162	87.8
011	69	M	170	74.9
029	67	M	167	62.5
039	72	M	187	73.9
042	58	F	178	64.5

Table 6. Cadaver injury summary—rigid wall impact tests

Test No.	Body part	Injuries	AIS rating
003 25 km/h	Thorax	Left side—minor rib fracture directly under fourth rib accelerometer mount	2
010 33 km/h	Head	Superficial bruising of brain at the base of the frontal lobe	4/5
	Thorax	Left side—fractures of ribs 1-8 in front and 3 and 4 in rear Right side—fractures of ribs 1-5 in front	4
011 33 km/h	Head	Depressed fracture of the left side of the skull, free blood in the cavity right side subarachnoid hemorrhage left side: frontal lobe hemorrhage	5
	Thorax	Left side—fractures of ribs 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 9 Right side—fractures of ribs 2-6 Spinal dislocation between C4/C5	4
	Abdomen	Liver—small tear on surface Spleen—crushed	4
009 43 km/h	Head	Left side—massive depressed skull fractures and extensive hemorrhaging in scalp, muscle, and dura mater	6
	Neck	Cervical spine fractures at C1 and dislocation between C2/C3	6
	Thorax	Left side—15 rib fractures in front and 11 rib fractures in rear Right side—13 rib fractures in front and 2 rib fractures in rear 7 cm tear of left lung with free blood 2 cm tear of pulmonary artery	6
	Abdomen	Crushed left kidney	5
	Pelvis	Left side iliac crest crushed severely with soft tissue damage	5

Table 7. Cadaver injury summary—padded side structure tests

Test No.	Body part	Injuries	AIS rating
029 25 km/h	Thorax	Left side—4 rib fractures	3
039 33 km/h	Thorax	Left side—11 rib fractures, very slight surface hemorrhage on heart	4
042 43 km/h	Head	Left side massive depressed skull fracture with fractures extending to the right side. Extensive hemorrhage over the right temporal and parietal lobes of the brain	5
	Thorax	Left side—12 rib fractures Mid shaft fracture of left humerus	4

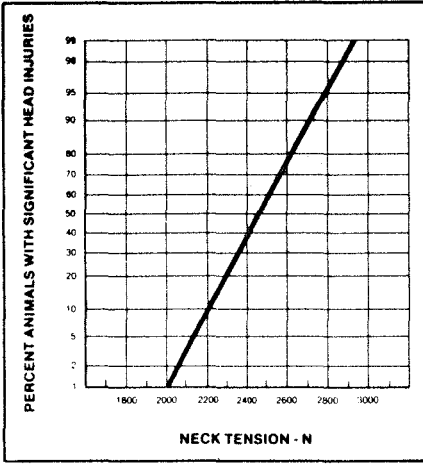


Figure 9. Percent of animals experiencing a significant head injury (TL greater than 2) as a function of child dummy neck tension.

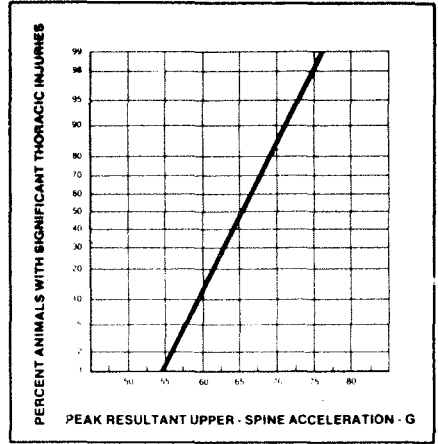


Figure 11. Percent of animals experiencing a significant thoracic injury (TL greater than 2) as a function of child dummy peak upper-spine resultant acceleration.

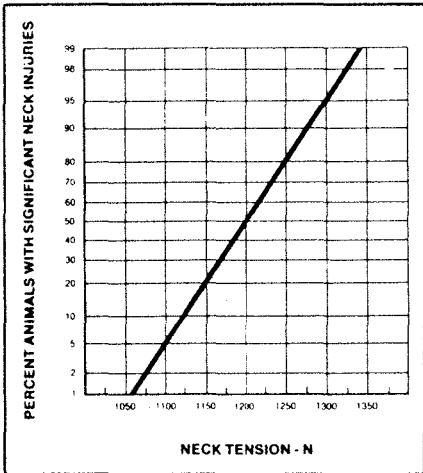


Figure 10. Percent of animals experiencing a significant neck injury (TL greater than 2) as a function of child dummy neck tension.

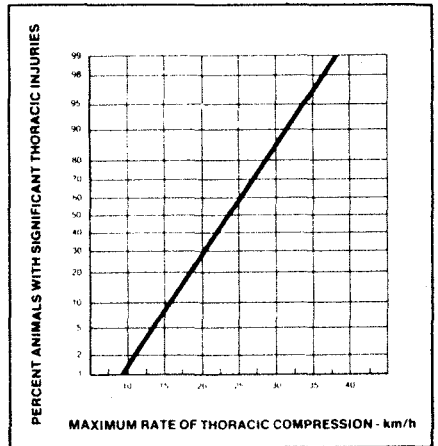


Figure 12. Percent of animals experiencing a significant thoracic injury (TL greater than 2) as a function of child dummy maximum rate of chest compression.

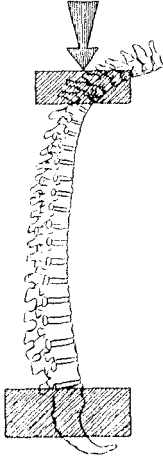


Fig. 1: Schematic representation of the fixation for the ligamentous thoracolumbar spine studies. Steinman pins were driven into the upper and lower vertebral bodies and molded into aluminum cylinders with methylmethacrylate. The spines were preflexed and vertical force was applied.

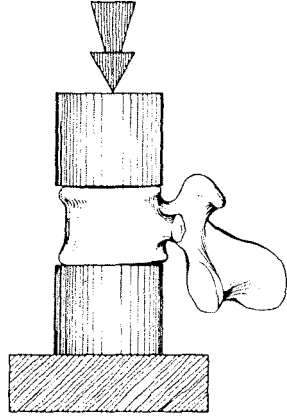


Fig. 2: Schematic representation of the method utilized for compression of the vertebral bodies. The individual bodies were placed between cylinders with diameter larger than the vertebral body.

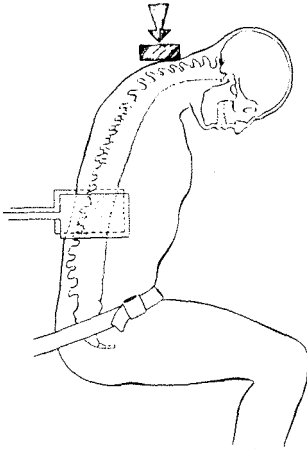


Fig. 3: Schematic representation of the fixation for the intact cadaver studies. The subjects were preflexed and seated on a 0,5X1m steel platform mounted on the activator frame under the MFS piston. The specimens were fixed at the pelvis with belts and lateral stabilizing structures were used. Forces were applied at T1,T2 with a 15 x 15 cm flat plate.

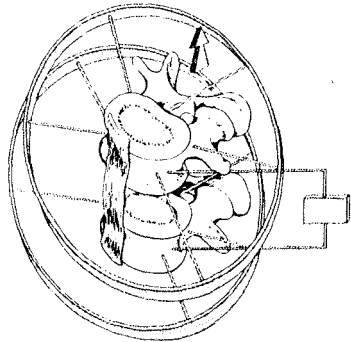


Fig. 4: Schematic representation of method of fixation for individual ligament tests. All of the ligaments except the one under study were sectioned. The vertebral bodies above and below the ligament were fixed in a frame with five Steinman pins. The apparatus was aligned with the piston of the MFS system, and tensile forces applied.

Table 1: Forces and angle of failure in the fresh male human isolated spine and in the intact cadaver. (N = 0.2248 pounds).

<u>Specimen</u>	<u>Cause of Death</u>	<u>Age</u>	<u>Height (cm)</u>	<u>Weight (kg)</u>	<u>Failure</u>	<u>Failure Load</u>	<u>Failure Angle Degrees</u>
S-10 (T3-L5)	myocardial infarction	76	169	88	L1 compression	1730 N	40 <sup>o</sup>
S-11 (T3-L5)	respiratory arrest	55	165	44	T11 compression	1113 N	--
S-12 (T2-sacrum)	pneumonia	57	173	82	T9 compression	967 N	--
S-13 (T3-L5)	acute respiratory failure	84	178	77	T7 compression	2220 N	--
S-16 (T2-sacrum)	subarachnoid hemorrhage	80	173	64	T11 compression	1720 N	32 <sup>o</sup>
S-17 (T2-sacrum)	cardio-pulmonary failure	65	178	77	T9 compression	799 N	--
S-18 (T4-T5)	cardiac arrest	41	180	91	T12 compression	4444 N	--
S-27 (C2-L5)	respiratory failure	56	175	80	T7 compression	555 N	30 <sup>o</sup>
S-28 (C2-L5)	cardiac arrest	64	173	77	T2 compression	800 N	31 <sup>o</sup>
S-29 (T2-L5)	cardio-pulmonary failure	71	180	69	T12-L1 compression	1330 N	40 <sup>o</sup>
S-31 (T3-sacrum)	respiratory failure	58	178	64	T10 compression	5105 N	40 <sup>o</sup>
S-32 (T3-sacrum)	cardiac arrest	63	173	77	T9 compression	2000 N	40 <sup>o</sup>
S-33 (T3-sacrum)	respiratory arrest	76	168	80	T11 compression	1775 N	36 <sup>o</sup>
S-38 (T3-sacrum)	respiratory arrest	46	180	105	T11 rotation	4220 N	23 <sup>o</sup>
S-34 (intact)	respiratory arrest	63	178	73	T11 compression	1555 N	30 <sup>o</sup>
S-39 (intact)	respiratory arrest	56	180	73	L2 compression	2750 N	28 <sup>o</sup>
S-42 (intact)	gastro-intestinal bleeding	43	180	75	T10-T11 compression	1110 N	30 <sup>o</sup>
S-43 (intact)	cardiac arrest	61	180	75	T7 compression	1735 N	50 <sup>o</sup>



Table 2: Forces for failure of the fresh male human cadaveric thoracolumbar spine in flexion. n = number of specimens.

	<u>n</u>	<u>Range</u>	<u>Mean</u>	<u>Standard Deviation</u>
All ligamentous spines	14	555-5110 N	2055.6 N	1468.2 N
Failures at T2-T9	6	555-2220 N	1223.5 N	702.6 N
Failures at T10-L1	8	1113-5110 N	2680.2 N	1617.3 N
Intact cadavers	4	1110-2750 N	1787.5 N	693.4 N

Table 3: Dimensions and ultimate compressive forces for single thoracic and lumbar vertebral bodies of the fresh male human cadavers.

	<u>n</u>	<u>Average Surface Area (cm<sup>2</sup>)</u>	<u>Average Initial Height (cm)</u>	<u>Range</u>	<u>Mean</u>
Upper Thoracic (T1-T6)	10	7.2	1.85	1557-3470 N	2638 N
Lower Thoracic (T7-T12)	13	10.2	2.10	1557-5560 N	3278 N
Lumbar	9	16.3	2.60	1957-7384 N	4972 N

Table 4: Comparison of forces for disruption of single ligaments in the fresh human male and fresh rhesus and stump-tail male monkey cadaveric spine.

<u>Ligament</u>	<u>Human Cadaver Range</u>	<u>Monkey Cadaver Range</u>
Anterior longitudinal	225-600 N	34-350 N
Posterior longitudinal	56-200 N	12-110 N
Joint capsules	110-475 N	55-250 N
Ligamentum flavum	110-360 N	100-180 N
Interspinous ligament	55-250 N	12-150 N

Table I - Cranial Anthropometry

Experiment	Spec/Sex	Age (yrs)	A	B	C	D	E	F	G	H
----- cm -----										
36	101 F	87	15.2	18.7	17.8	12.7	22.4	55.0	33.0	36.5
37	108 M	42	14.5	16.7	19.2	13.6	22.3	56.0	37.2	35.5
38	109 M	68	15.7	19.1	19.0	15.4	25.6	58.0	34.5	37.0
41	111 F	61	13.6	17.5	17.9	11.8	20.0	52.8	34.0	34.0
42	112 F	65	14.0	16.6	18.0	10.6	21.5	51.8	33.0	32.0
43	115 F	47	15.0	18.0	18.3	13.3	23.8	54.0	31.5	36.0
44	117 F	83	15.0	18.5	19.0	11.3	23.6	55.5	36.5	34.0
46-52	120 M	60	14.7	17.7	18.1	12.4	20.0	54.0	36.0	35.5
54	122 F	50	15.0	18.2	18.3	11.8	21.8	55.5	37.5	33.6

A. Head breadth (maximum above ears)  
 B. Head length (inion to glabella)  
 C. Head length (opistocranium to glabella)  
 D. Head height (tragion to top of head)  
 E. Head height (gnathion to vertex)  
 F. Head circumference (across forehead, over ears, maximum)  
 G. Head midsagittal arc length (inion to glabella)  
 H. Head coronal arc length (tragion to tragion)

Table II - Impact Conditions

Experiment	36	37	38	41	42	43	44	54
Impactor Mass (kg)	5.36	5.59	5.32	23.09	5.23	5.23	5.23	5.23
Impactor Velocity (m/s)	8.75	9.94	9.60	12.83	12.95	12.95	4.36	8.41

Table III - Series I

Experiment	Peak Input Force (N x 10 <sup>3</sup> )	Peak Head Acceleration (m/s <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> )	Pressures					
			Frontal (mm Hg)	Parietal	Occipital #1	Occipital #2	Posterior Fossa Carotid Siphon (mm Hg)	
36	7.78	2.30	1022	594	-205	-788	-480	-
37	7.90	2.00	1059	552	-341	-363	-452	-
38	10.80	2.42	1041	594	-205	-	-585	-
41	14.84	3.90	3207	1313	857	-	-426	352
42	5.20	1.59	-	70	-	-	-329	750
43	10.59	2.23	2011	1665	582	-	-136	811
44	6.53	1.52	764	150	109	-	-19	860
54	10.84	2.35	2039	1354	248	-	-483	356

\* epidural

Table IV - Injury Coding Scale

- GRADE 0 - No discernable extravascular extravasation ("hemorrhage") of india ink marker
- GRADE 1 - (A) Subarachnoid "hemorrhage" over less than one half of brain surface.  
and/or - (B) Petechial "hemorrhage" ("contusion") confined to one lobe.
- GRADE 2 - (A) Subarachnoid 'hemorrhage' over most of the brain surface.  
and/or - (B) "Contusion" in two lobes.  
and/or - (C) Small "contusion" of brain stem - not in central area.
- GRADE 3 - (A) "Contusion" in three or more lobes.  
and/or - (B) Contusion of central brain stem.
- GRADE 4 - (A) Laceration of brain.  
and/or - (B) Disruption of cerebral arteries at base of brain.

Table V - Results of Coding

Experiment	Peak Input Force (N x 10 <sup>3</sup> )	Peak Head Acceleration (m/s <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup> )	GS1	HIC	t <sub>1</sub> (ms)	t <sub>2</sub> (mS)	Injury Code
36	7.78	2.30	1068	923	2.4	4.4	1
37	7.90	2.00	861	744	3.1	5.5	0
38	10.80	2.42	1153	980	1.1	2.9	2
41	14.84	3.90	4756	3765	5.9	8.6	2
42	5.20	1.59	842	703	2.0	7.1	0
43	10.59	2.23	1008	804	3.7	6.1	0
44	6.53	1.52	675	551	2.8	7.0	2
54	10.84	2.34	1061	820	2.8	4.5	0

TABLE III. HELMETED SINGLE.

Experiment	64W	65W	66W	67W	68W
Impactor Velocity (M/sec)	9.85	8.47	5.81	7.24	7.86
Impact Mass	14.83 (KG)				

TABLE IV. HELMETED SINGLE.

Experiment	${}^2KE$ ( $kg.M^2/sec.^2$ )	Peak Head Accelerations ( $m/s^2 \times 10^3$ )	GSI	HIC	$t_1$	$t_2$
64W	719	2.69	2819.6	2684.9	2.5	6.7
65W	532	1.97	1626.8	1542.1	2.6	7.4
66W	250	1.26	543.9	465.3	4.1	9.3
67W	388	1.96	1584.8	1581.1	3.4	8.0
68W	458	1.43	857.2	806.6	3.1	8.9

UNHELMETED SINGLE.

36	205	2.30	1068	923	2.4	4.4
37	276	2.00	861	744	3.1	5.5
38	245	2.42	1153	980	1.1	2.9
41	1900	3.90	4756	3765	5.9	8.6
42	438	1.59	842	703	2.0	7.1
43	438	2.23	1008	804	3.7	6.1
44	50	1.52	675	551	2.8	7.0
54	184	2.34	1061	820	2.8	4.5

TABLE V. HELMETED SINGLE.

Experiment	${}^2KE$ ( $kg.M^2/sec.^2$ )	Peak Head Acceleration ( $M/sec^2 \times 10^3$ )	Parietal	Occipital	Posterior Fossa	Carotid Siphon	Foramen Magnum
64W	719	2.69	887	-487	-201	5185	-
65W	532	1.97	436	-157	-536	2676	-
66W	250	1.26	398	- 79	-139	1365	-
67W	388	1.96	479	- 45	-184	6749	-
68W	458	1.43	365	-268	-332	1518	1193

UNHELMETED SINGLE.

36	205	2.30	594	-205	-450	-	-
37	276	2.00	552	-341	-452	-	-
38	245	2.42	494	-205	-485	-	-
41	1900	3.90	1414	857	-426	352	-
42	438	1.59	70	-	-329	550	-
43	438	2.23	1664	482	-136	811	-
44	50	1.52	150	109	- 19	860	-
54	184	2.34	1354	248	-483	356	-

Table 1. Biometrics

Cadaver No.	Height (cm)	Weight (kg)	Age	Cause of Death
1	173	29.0	64	Differentiated lymphoma
2	160	57.2	73	Pneumonia
3	175	99.5	76	Cardiac arrest
4	176	106	63	Myocardial infarction
5	176	35.3	67	Cardiac resp. arrest intractable congestion
6	169	65.9	89	Cardiac arrest
7	176	66.1	76	Coronary occlusion
8	174	91.7	76	Myocardial infarction
9	179	41.6	66	Atrophic lateral sclerosis
10	174	61.9	73	Terminal pneumonia
11	180	91.2	56	Cardiac arrest
12	175	160	63	Cardiac arrest
13	--	86.0	61	Cardiac arrest
14	--	--	52	Cardiac arrest
15	184	52.0	60	Cardiac arrest
16	180	76.9	67	Cardiac arrest
17	169	86.5	65	Myocardial infarction
18	--	--	--	Cardiac arrest
19	174	66.3	40	Cardiac arrest

Table 3. Summary of Initial Conditions for Lateral Impacts

Test No.	Cadaver No.	Impactor Velocity (m/s)	Impactor Mass (kg)	Loading
BOL095	4	5.1	56	2.5 cm Ensolite
BOL095	6	5.7	56	2.5 cm Ensolite
BOL104	6	5.8	56	Rigid
BOL111	7	5.8	56	Rigid
BOL116	8	5.7	56	Rigid
BOL121	9	5.9	56	Rigid
BOL126	10	5.8	56	Rigid
BOL131	11	5.5	56	Rigid
BOL137	15	5.5	56	Rigid
B2E008	15	8.4	25	2.5 cm Ensolite 1.3 cm Styrofoam
B2E028	16	8.4	25	0.5 cm Ensolite
B2E049	17	8.6	25	2.5 cm Ensolite 2.5 cm Styrofoam

Table 4. Summary of Autopsy Results

Test No.	Results
BOL095	No observed injuries.
BOL099	No observed injuries.
BOL104	Vertical separation fracture of superior pubic ramus approximately one inch from pubic symphysis.
BOL111	Horizontal separation fracture of ilio-pubic ramus, connected to a horizontal fracture of the acetabulum.
BOL116	No observed injuries.
BOL121	Vertical stellate fracture on outer aspect of ilium extending from iliac crest to anterior-inferior iliac spine.
BOL126	Non-separational fractures of superior and ischio-pubic ramus.
BOL131	Horizontal fracture of ilio-pubic ramus.
BOL137	No observed injuries.
B2E008	No observed injuries.
B2E028	Vertical separation fracture of ischio-pubic ramus. Horizontal fracture of acetabulum extending two inches into superior pubic ramus.
B2E049	No observed injuries.

Table 1

CADAVER STEERING WHEEL IMPACT INJURIES

Test No.	Injuries
83E121C	Hemorrhage in diaphragm Contused spleen Hepatic vein torn 3 cm laceration at junction of major-minor lobes of liver 5 cm laceration in medial liver 1.3 cm tear in left liver Liver severed from its tethers
83E131C	Closed Fractured ribs R3L, R7L, R8L, R9L Hemorrhage left inferior pericardium Contusion in heart on right lateral side Contusion in tissue connecting esophagus-stomach Contused stomach Contused transverse colon 90% tear of disk between cervical vertebrae C6-C7 40% tear of disk between cervical vertebrae C5-C6 30% tear of disk between cervical vertebrae C4-C5 Partial tear of anterior longitudinal ligament at C5
84E142C	Closed fracture of the sternum Contusion stripes on diaphragm Hepatic vein torn Tear in liver Inferior tip of spleen torn Contused stomach Contused transverse colon
84E153C	Partial disconnection of right ribs at sternum R3R, R4R, R5R, - Mediastinal hematoma of pericardium Contused visceral surface of liver Contused transverse intestines
84E163C	Hemorrhage in fat over pericardium Contusion stripes on diaphragm Hemorrhage left kidney Ruptured, pulverized pancreas
84E173C	Closed fracture right rib R9R (twice) Fractured left ribs R8L (twice), R9L, R10L Massive hematoma in pericardium Pericardial hemorrhage of diaphragm near aorta 10 cm tear in liver 4 cm tear of portal vein
84E181C	2 cm hematoma left inferior lung Severance of pericardium and diaphragm Ruptured pancreas Portal and hepatic veins torn Small laceration of liver at portal vein Contusion stripe on left kidney
85E193C	Partial tear of anterior longitudinal ligament at C7 Closed fracture of sternum at rib R5-R6 level Fractured ribs R5R (twice), R6R, R7R, R8R, R5L, R6L, R7L, R8L (twice) Contusion stripes on both lungs Small lacerations on superior surface of liver Partial tearing of portal and hepatic veins Capsular hemorrhage superior surface liver

Table 3  
KINEMATIC TEST SUMMARY

Test No.	Force [N] (Time [ms])	Trachea Pressure [kPa] (Time [ms])	Aorta [kPa] (Time [ms])	A1:T1 [G] (Time [ms])	A1:T12 [G] (Time [ms])	A1:Ls [G] (Time [ms])	A1:RBR [G] (Time [ms])	A1:RBL [G] (Time [ms])	R4R [G] (Time [ms])	R4L [G] (Time [ms])
83E121-A	2000 (30)	2.1 (38)	N/A	24 (35)	19 (32)	11 (35)	16 (38)	9 (34)	3 (6)	N/A
83E121-B	3000 (65)	4.1 (79)	N/A	29 (65)	N/A	69 (60)	42 (46)	17 (49)	23 (53)	N/A
83E121-C	10400 (41)	11 (37)	N/A	N/A	N/A	110 (26)	N/A	N/A	N/A	N/A
83E131-A	870 (87)	3.5 (75)	N/A	3 (81)	10 (109)	7 (22)	5 (57)	6 (49)	N/A	1 (44)
83E131-B	2700 (65)	6.2 (46)	N/A	14 (56)	9 (49)	27 (33)	22 (39)	47 (55)	8 (52)	7 (48)
83E131-C	4400 (51)	6.2 (48)	N/A	38 (59)	13 (74)	100 (43)	71 (40)	100 (45)	15 (56)	35 (50)
84E142-A	1800 (104)	.7 (74)	11.7 (140)	6 (112)	4 (77)	6 (76)	6 (66)	6 (87)	2 (61)	1 (89)
84E142-B	3400 (68)	6.2 (64)	22 (94)	19 (105)	13 (62)	17 (45)	28 (56)	19 (49)	14 (43)	22 (72)
84E142-C	5700 (57)	14.5 (64)	102 (63)	46 (66)	30 (63)	78 (44)	48 (55)	56 (49)	31 (63)	21 (65)
84E153-A	850 (73)	2.1 (74)	7.9 (132)	5 (84)	5 (55)	11 (49)	7 (64)	10 (57)	3 (67)	2 (64)
84E153-B	2500 (67)	2.8 (64)	30.5 (61)	37 (75)	18 (69)	48 (61)	52 (61)	47 (65)	27 (66)	29 (65)
84E153-C	5400 (30)	4.1 (37)	320.6 (23)	37 (43)	16 (35)	96 (28)	70 (26)	66 (29)	14 (38)	32 (31)
84E163-A	1400 (102)	2.1 (85)	19.3 (95)	5 (38)	4 (84)	7 (75)	6 (90)	5 (77)	2 (81)	1 (80)
84E163-B	4000 (59)	7 (85)	57.2 (87)	27 (65)	15 (56)	39 (42)	20 (52)	21 (56)	9 (48)	7 (42)
84E163-C	4900 (39)	7 (27)	97.9 (55)	30 (40)	10 (49)	46 (30)	18 (33)	39 (30.31)	8 (31)	11 (36)
84E173-A	2300 (81)	10.3 (71)	N/A	9 (71)	8 (54)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
84E173-B	4800 (60)	N/A	N/A	25 (55)	22 (61)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
84E173-C	7400 (46)	6.9 (35)	N/A	53 (41)	32 (40)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Table 3 (continued)

Test No.	Force [N] (Time [ms])	Trachea pressure [kPa] (Time [ms])	Aorta [kPa] (Time [ms])	A1 t1 [s] (Time [ms])	A1 t2 [s] (Time [ms])	A1 t3 [s] (Time [ms])	A1 t4 [s] (Time [ms])	A1 RBL [G] (Time [ms])	A1 RRR [G] (Time [ms])	R4R [G] (Time [ms])	R4L [G] (Time [ms])
84E181-A	2400 (180)	N/A	N/A	N/A	9 (41)	12 (42)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
84E181-B	3800 (178)	N/A	N/A	21 (46)	23 (42)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
84E181-C	5800 (151)	N/A	N/A	14 (41)	48 (31)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
85E193-A	1300 (192)	N/A	N/A	8 (82)	8 (61)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
85E193-B	1700 (171)	N/A	N/A	10 (74)	15 (38)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
85E193-C	6200 (68)	N/A	N/A	35 (49)	77 (37)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Table 2  
CAVAVER STEERING WHEEL IMPACT  
SUMMARY CONDITIONS

Test No.	Velocity m/s			Steering Wheel	Pneumatic Ballistic Pendulum Mass
	A	B	C		
83E121	2.7	5	9.5	1981 C. CITATION	25 kg
83E131	2.7	5	12	1981 C. CITATION	25 kg
84E142	2.8	5.3	11.8	1981 C. CITATION	65 kg
84E153	2.7	5	11	1981 C. CITATION	65 kg
84E163	3	5	12	1979 F. MUSTANG	65 kg
84E173	2.7	4	7	1981 C. CITATION	65 kg
84E181	2.7	5.3	9.3	1981 C. CITATION	65 kg
85E193	3.6	4.4	11	1981 C. CITATION	65 kg



Table 2. Rhesus Impact Test Summary

Test No	Linear Acceleration Tangent m/s/s/	Resultant Acceleration m/s/s/	Resultant Angular Acceleration r/s/s	Resultant Angular Velocity r/s	Linear Velocity m/s	Epidual Pressure kpa	Force N	Force Duration ms
78A232	7000	7000	22000	40	12	117	5800	3
78A234	8000	6400	38000	40	14	N/A	5700	4
78A236	7000	7000	28000	30	13	-9	5600	4
78A238	7100	8000	40000	60	13	-100.55	6600	4
78A239	8000	8000	41000	60	13	260	5000	5
78A241	8100	8000	54000	70	13	490	8700	3
79A249	14000	15000	70000	63	16	-70	7200	4
79A251	13000	14000	64000	75	13	200, -110	7500	4
79A253	10000	10000	40000	75	15	-101	5400	5
79A256	11000	11000	70000	84	16	N/A	6000	10
79A258	10000	12000	70000	75	15	-35.40	5700	5
79A260	13000	13000	60000	80	16	140, -100	7100	4
85R002	5300	5300	7900	30	12	270	4000	4
85R005	20000	18000	28000	45	15	-100, -105	N/A	N/A
85R006	11000	10000	65000	75	13	375	7500	5
85R008	11000	11000	60000	70	16	-98, -100	5800	5
86R010	7900	7900	16000	33	11	-375	7000	4
86R011	6000	5300	33000	24	13	11	N/A	N/A
86R012	18000	15000	110000	130	16	45	7000	4
86R013	9000	8800	80000	105	13	75	4900	5
86R014	12000	11000	120000	105	15	250	7000	4
86R015	13000	11000	120000	90	16	140, 190	6500	4

Table 4. Rhesus Injuries/Damage Summary

Test No.	Gross Skull	Gross Brain	Gross Other
78A232	No injury	No injury	Epidural hematoma at C1, dura lacerated at C1
78A234	No injury	No injury	Epidural hematoma at C1, torn muscle at base of occiput
78A236	No injury	No injury	No abnormality or injury
78A238	No injury	No injury	Epidural hematoma at C1 disk
78A239	No injury	No injury	1/4 cc blood in occiput from epidural hematoma at C1
78A241	No injury	No injury	Epidural hematoma at C1
79A249	Basilar fracture (ring)	3/4 cc subdural hematoma right frontal lobe (cerebrum) subarachnoid hemorrhage base of cerebellum, pons, and medulla	Epidural hematoma at C1, occipital muscles damaged
79251	Linear basilar fracture from foramen magnum to occipital contact point	No injury	Epidural hematoma at C1 and C2
79A253	Basilar fracture (quasi-ring), temporal fracture	Petechial lation left frontal lobe (cerebrum) subarachnoid hemorrhage base, pons, medulla and vermis of cerebellum	Damaged neck ligaments
79A256	Basilar fracture (petrous to petrous). Connected linear fracture to parietal bone*	Dura torn along sagittal sinus, emaciated tissue cerebellum, medulla	Lacerated spinal cord
79A258	Basilar fracture (quasi-ring)	Lacerated medulla	Epidural hematoma at C1
79A260	Basilar fracture (right petrous)	Subdural hematoma along sagittal sinus	Epidural hematoma at C1

\*Abnormality - Test subject had very thin skull.

Table 5. Rhesus Injuries/Damage Summary

Test No.	Gross Skull	Gross Brain	Gross Other
85R002	No injury	No injury	No injury
85R005	Basilar skull fracture	Subarachnoid hemorrhage at medulla and brain stem	No injury
85R006	No injury	No injury	No injury
85R008	Basilar ring fracture*	Subarachnoid hemorrhage at medulla and brain stem	No injury
86R010	Basilar ring fracture	No injury	No injury
86R011	No injury	No injury	Subdural hemorrhage of spinal cord at base of brain
86R012	No injury	Subdural hemorrhage left frontal lobe	No injury
86R013	No injury	Subdural hemorrhage left frontal lobe	No injury
86R014	No injury	No injury	Subdural hemorrhage of spinal cord at base of brain
86R015	Linear fracture of superior right petrous Linear fracture of left occipital; Linear fracture of right temporal	No injury	Bilateral hemorrhage to side of spinal cord at base of medulla

\*Abnormality - Test subject had a thin skull

TABLE 3. DAMAGE SUMMARY

<p><u>82L484</u>                  Extension-Compression Type:                  C4/C5 - Rupture of disc                  Flexion-Compression Type:                  T3 - Fractured right superior articular process                  T2/T3 - Partially torn interspinous ligaments                  T3/T4 - Partially torn ligamentum flavum</p> <p><u>82L485 (Extreme Osteoporosis)</u>                  C1, C3, C4 - Fracture of laminae                  C2 - Fracture of dens                  C3 - Fracture of spinous process                  C4, C5 - Fracture of vertebral bodies                  C4/C5 - Ruptured disc                  T1, T3, T4 - Fracture of laminae                  T2 - Fractured body                  T3 - Anterior longitudinal ligament torn</p> <p><u>82L486</u>                  Extension-Compression Type:                  C1 - Fracture of anterior ring at dens                  C4 - Fracture of vertebral body                  C3/C4 - Fractured spinous processes                  C2/C3 and C4/C5 - Ruptured discs                  C2/C3, C3/C4, C4/C5 - Anterior longitudinal ligament torn                  C3 - Posterior longitudinal ligament torn</p> <p><u>82L489</u>                  Extension-Compression Type:                  C1 - Fractures of posterior arch with single fracture of right anterior arch                  C2 - Complete fracture of dens with separation of all anterior ligaments                  Flexion-Compression Type:                  C5/C6 - Subluxation of C5 over C6 with disruption of all C5/C6 ligaments, capsules and discs                  T1/T2 - Compression of superior body T2; tear of posterior disc</p> <p><u>82L494</u>                  Flexion-Compression Type:                  C6 - Fractures of right lamina and anterior-superior body</p>	<p><u>82L494 (cont.)</u>                  C7 - Fracture of body and of right lateral facets at base                  C6/C7 - Anterior longitudinal ligament, ligamentum flavum, and posterior aspect of dura torn</p> <p><u>83L499</u>                  Extension-Compression Type:                  C5/C6 - Rupture of disc                  C6/C7 - Rupture of disc                  C5/C6 and C7/T1 - Anterior longitudinal ligament disrupted                  Flexion-Compression Type:                  T1 - Compression of anterior superior body and associated compression of C7/T1 disc                  T2 - Fracture of anterior superior edge of vertebral body                  C7/T1 - Ligamentum flavum torn</p> <p><u>83L500</u>                  Axial Loading                  C1 - Fracture of right transverse process                  Extension-Compression Type:                  C4/C5 - Disc rupture                  C6/C7 - Disc rupture                  Flexion-Compression Type:                  T3 - Fracture of left transverse process                  T3 - Chip fracture of anterior inferior body                  T4 - Fracture of left lateral vertebral body                  T4 - Compression of anterior superior body                  T3/T4 - Rupture of disc and partial tear of anterior longitudinal ligament                  T3/T4 - Articular facets very loose (possibly torn capsules) with tear of supra- and interspinous ligaments</p> <p><u>83L501</u>                  Flexion-Compression Type:                  T1 - Compression of anterior superior body                  T2 - Compression of anterior superior body                  C7 - Fracture of right lamina                  C6/C7 - Nearly complete tear of posterior ligaments</p>
--	--

TABLE 4. TEST SUMMARY

Test No	Cadaver No	Drop Height (m)	Peak Force (kN)	Contact Velocity (m/s)	Ensoilite (cm)	Initial Conditions	HIC
82L484	1	1.0	6.7	4.4	.6	*constrained	
82L485	2	1.8	-	5.9	2.5	constrained	
82L486	3	1.5	5.9	5.4	2.5	constrained	
82L487	4	0.1	0.3	1.4	2.5	constrained	5
82L488	4	0.1	0.5	1.4	2.5	**unconstrained	7
82L489	4	1.5	5.4	5.4	2.5	unconstrained	2240
82L490	5	0.1	0.6	1.4	2.5	constrained	2
82L491	5	0.1	-	1.4	2.5	unconstrained	4
82L492	5	0.1	0.5	1.4	2.5	unconstrained	3
82L493	5	0.1	-	1.4	2.5	unconstrained	3
82L494	5	1.1	5.2	4.6	2.5	unconstrained	477
83L495	6	.1	.9	1.4	.6	unconstrained	14
83L496	6	.1	.9	1.4	.6	unconstrained	12
83L497	6	.1	1.0	1.4	.6	unconstrained	28
83L498	6	.1	.9	1.4	.6	unconstrained	18
83L499	6	.914	3.7	4.2	2.5	unconstrained	210
83L500	7	1.5	10.8	5.4	2.5	**constrained	
83L501	8	.8	5.6	4.0	2.5	unconstrained	540

\*Constrained or initial conditions limited to mid-sagittal plane motion.  
 \*\*Unconstrained or initial conditions not limited to mid-sagittal plane motion.  
 \*\*\*Neck was wrapped with Dow Ethaform

TABLE 5. INITIAL CONDITIONS

Cadav.	Test	Location	#Axis 1	Axis 2	Axis 3
1	82L484	Head		30°	
		Neck		30°	
		Mid-spine		20°	
2	82L485	Head		5°	
		Neck		15°	
		Mid-Spine		27°	
3	82L486	Head		-5°	
		Neck		10°	
		Mid-Spine		30°	
4	82L487	Head	15°	5°	10°
		Neck	3°	0°	4°
		Thorax	0°	15°	7°
		Mid-Spine	0°	0°	17°
4	82L488	Head	15°	6°	12°
		Neck	4°	0°	6°
		Thorax	0°	15°	7°
		Mid-Spine	0°	0°	14°
4	82L489	Head	15°	6°	17°
		Neck	40°	0°	3°
		Thorax	0°	16°	8°
		Mid-Spine	0°	0°	15°
5	82L490	Head	3°	0°	0°
		Neck	0°	0°	0°
		Thorax	0°	15°	0°
		Mid-Spine	0°	0°	14°
5	82L491	Head	4°	19°	0°
		Neck	0°	0°	1°
		Thorax	0°	16°	0°
		Mid-Spine	0°	0°	12°
5	82L492	Head	0°	0°	10°
		Neck	0°	0°	2°
		Thorax	0°	16°	0°
		Mid-Spine	0°	0°	15°

Cadav.	Test	Location	#Axis 1	Axis 2	Axis 3
5	82L493	Head	0°	3°	0°
		Neck	0°	2°	0°
		Thorax	0°	14°	10°
		Mid-Spine	0°	0°	13°
5	82L494	Head	15°	6°	15°
		Neck	40°	0°	0°
		Thorax	0°	24°	3°
		Mid-Spine	0°	0°	15°
6	83L495	Head	0°	0°	0°
		Neck	0°	0°	0°
		Thorax	0°	12°	15°
		Mid-Spine	0°	0°	12°
6	83L496	Head	0°	0°	20°
		Neck	0°	0°	0°
		Thorax	0°	0°	16°
		Mid-Spine	0°	0°	14°
6	83L497	Head	15°	0°	3°
		Neck	40°	0°	0°
		Thorax	0°	0°	16°
		Mid-Spine	0°	0°	13°
6	83L498	Head	0°	0°	0°
		Neck	0°	0°	0°
		Thorax	5°	0°	7°
		Mid-Spine	0°	0°	11°
6	83L499	Head	10°	3°	16°
		Neck	0°	0°	0°
		Thorax	5°	13°	7°
		Mid-Spine	0°	0°	14°
7	83L500	Head		0°	
		Neck		0°	
		Mid-Spine		22°	
8	83L501	Head	15°	0°	10°
		Neck	30°	3°	3°
		Mid-Spine	0°	0°	21°
		Thorax	0°	5°	0°

\*These are the axes around which the angles are measured. See Table 1 and Figure 2.  
 (Axis 1 = P-A Axis 2 = R-L Axis 3 = I-S)

TABLE 6. SUMMARY OF KINEMATIC DATA FROM HEAD MOTION FOR INSTRUMENTED SUBJECTS

Test No.	Cadaver No.	Linear Vel. (m/s)	Linear Accel. (m/s <sup>2</sup> )	Angular Vel. (rad/s)	Angular Accel. (rad/s <sup>2</sup> )
82L487	4	1.6	157	5.9	375
82L488	4	2.3	182	5.0	383
82L489	4	8.5	3400	14	3800
82L490	5	1.3	91	5.1	354
82L491	5	1.6	148	1.9	181
82L492	5	1.5	119	1.5	124
82L493	5	1.7	101	2.8	132
82L494	5	6.0	2280	15	10000
83L495	6	1.4	320	8.4	960
83L496	6				
83L497	6	1.8	420	5.8	1200
83L498	6	1.6	341	6.5	880
83L499	6	4.3	1092	14.4	5440
83L500	7	N/A	N/A	N/A	N/A
83L501	8	4.2	1100	1.5	5500

Table 2. Cadaver Initial Test Conditions

Test No.	Subject Condition	Impact Surface Padding Thickness*	Velocity m/s
82E001**	repressurized	2.5 cm Ensolite	5
82E021**	repressurized	2.5 cm Ensolite	5.2
82E022**	repressurized	2.5 cm Ensolite	5.7
82E041**	repressurized	2.5 cm Ensolite	5.5
82E042**	repressurized	2.5 cm Ensolite	5.5
82E061**	repressurized	2.5 cm Ensolite	5.5
82E062**	repressurized	2.5 cm Ensolite	5.5
82E081***	repressurized	2.5 cm Ensolite	3.8
82E082***	repressurized	2.5 cm Ensolite	3.8
83E102***	repressurized	2.5 cm styrofoam 5.0 cm DOW Ethafoam 2.5 cm Ensolite	4.5
84E141A***	repressurized	0.5 cm Ensolite 5.0 cm seating foam 0.5 cm Ensolite	4.5
84E141B***	repressurized	0.5 cm Ensolite 5.0 cm seating foam 0.5 cm Ensolite	4.5
84E141C***	repressurized	0.5 cm Ensolite	4.5
84E141D***	repressurized	0.5 cm Ensolite	3.8
84E151A****	repressurized	0.5 cm Ensolite 5.0 cm seating foam 0.5 cm Ensolite	3.6
84E151B****	repressurized	0.5 cm Ensolite	3.8
84E161A****	repressurized	0.5 cm Ensolite 5.0 cm seating foam 0.5 cm Ensolite	3.8
84E161B****	repressurized	0.5 cm Ensolite	5.0

+15 cm diameter  
 \*\*25 kg pendulum  
 \*\*\*25 kg cannon  
 \*\*\*\*65 kg cannon

Table 3. Rhesus Impact Test Summary

Test No.	Linear Acceleration Tangent m/s/s	Resultant Acceleration m/s/s	Resultant Angular Acceleration r/s/s	Resultant Angular Velocity r/s	Linear Velocity m/s	Kulite Pressure Kpa	Force N	Force Duration ms
78A232	7000	7000	22000	40	12	117	5800	3
78A234	7500	6400	37500	40	14	--	5700	4
78A236	7000	7000	28000	30	13	-9	5600	4
78A238	7100	7500	40000	60	13	100,-55	6600	4
78A239	7500	7500	41200	60	13	260	5000	5
78A241	8400	8000	54000	70	13	490	8700	3
79A249	14000	15200	70000	63	16	-70	7200	4
79A251	13000	13600	63600	75	13	200,-110	7500	4
79A253	9500	9800	40000	75	15	-101	5400	5
79A256	10500	10500	66000	84	16	--	6000	10
79A258	10000	11900	70000	75	15	-35,40	5700	5
79A260	12600	12600	60000	80	16	140,-100	7100	5

Table 4. Cadaver Impact Test Summary

Test No.	Linear Acceleration Tangent m/s/s	Resultant Acceleration m/s/s	Resultant Angular Acceleration r/s/s	Resultant Angular Velocity r/s	Linear Velocity m/s	Force N	Force Duration ms
82E001	3600	4500	42000	52	5	9100	10
82E021	1400	1440	7500	20	5.2	8400	11
82E022	1900	1900	7250	28	7.0	9600	10
82E041	1800	1800	7000	19	6.4	9600	12
82E042	1600	1800	8000	20	7.5	10200	12
82E061	1600	1700	6000	25	6.5	9000	10
82E062	1500	1600	7500	30	6.5	9600	12
83E081	1350	1350	7500	22	3.8	9600	12
83E082	1250	1000	7000	24	3.5	4100	8
83E102	--	--	--	--	--	1800	64
84E141A	500	560	5600	37.5	4.5	3200	30
84E141B	375	420	3900	30	4.5	2400	25
84E141C	1500	1575	20000	45	4.5	7500	10
84E141D	980	1200	16000	45	3.8	7500	8
84E151A	350	350	9000	50	2.6	2600	25
84E151B	2200	2200	25000	44	2	8000	10
84E161A	240	250	840	18	3.8	840	50*
84E161B	780	840	3750	25	5	4800	15

Table 5. Cadaver Test Summary Pressures

Test No.	Location	Type	Maximum Kpa	Time at Maximum ms	Duration ms
82E001	Epidural 1	Unimodal	75	5	10
	Epidural 2	Bimodal	11,3	5/25	10/120+
	Epidural 3	Unimodal	-36	5	15
	Epidural 4	Unimodal	11	5	5
82E021	Epidural 1	Unimodal	161	5	12
	Epidural 2	Bimodal	48,7	5/40	5/80
	Epidural 3	Bimodal	-61,8	5/45	10/80
	Epidural 4	Bimodal	34,6	5/25	5/70
82E022	Epidural 1	Unimodal	180	5	10
	Epidural 2	Bimodal	47,6	5/35	10/80
	Epidural 3	Bimodal	-43,6	5/50	15/100
	Epidural 4	Bimodal	12,51	5/13	5/5
82E041	Epidural 1	Bimodal	22,2	5/40	15/20
	Epidural 2	Bimodal	-20,11	5/45	10/15
	Epidural 3	Bimodal	-55,28	5/50	10/40
	Epidural 4	Bimodal	39,31	5/50	10/70
82E042	Epidural 1	Unimodal	58	5	140+
	Epidural 2	Bimodal	-20,9	5/45	5/20
	Epidural 3	Bimodal	-53,13	5/45	10/40
	Epidural 4	Bimodal	38,42	5/60	5/25
82E061	Epidural 1	Unimodal	97	5	8
	Epidural 2	Unimodal	24	5	5
	Epidural 3	Unimodal	-31	5	8
	Epidural 4	Bimodal	15,7	5/40	10/150
82E062	Epidural 1	Unimodal	55	5	12
	Epidural 2	Bimodal	27,12	5/40	10/35
	Epidural 3	Bimodal	31,14	5/42	10/40
	Epidural 4	Bimodal	37,12	5/45	10/40
83E081	Epidural 1	Unimodal	52	5	150+
	Epidural 2	Bimodal	20,14	5/20	10/135+
	Epidural 3	Bimodal	-18,14	5/20	7/125+
	Epidural 4	Unimodal	25	5	75
83E082	Epidural 1	Unimodal	46	5	15
	Epidural 2	Bimodal	10,5	5/20	10/125+
	Epidural 3	Bimodal	-13,3	5/50	10/100+
	Epidural 4	Bimodal	7,4	5/25	5/50

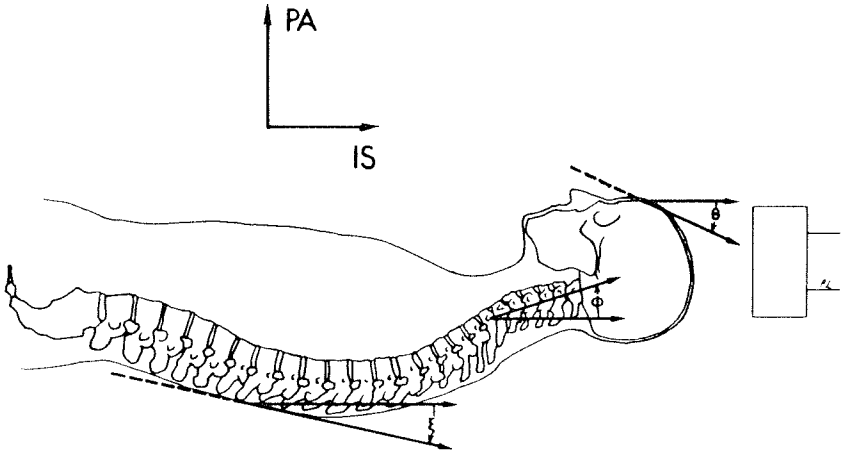
Test No.	Location	Type	Maximum Kpa	Time at Maximum ms	Duration ms
83E102	Epidural 1	Unimodal	-6	5	—
	Epidural 2	Unimodal	-4	5	—
	Epidural 3	Unimodal	6	5	—
	Epidural 4	Unimodal	3	5	—
84E141B	Epidural 1	Bimodal	30,7	5/65	30/210
	Epidural 2	Bimodal	10,6	5/65	30/200
	Epidural 3	Bimodal	-8,12	5/85	30/250+
	Epidural 4	Bimodal	11,12	5/75	20/250+
84E141D	Epidural 1	Bimodal	46,28	5/50	10/250+
	Epidural 2	Bimodal	21,11	5/55	5/250+
	Epidural 3	Bimodal	-62,28	5/65	5/250+
	Epidural 4	Bimodal	28,13	5/65	5/250+
84E151A	Epidural 1	Bimodal	40,8	5/105	20/200+
	Epidural 2	Bimodal	10,8	5/140	40/200+
	Epidural 3	Unimodal	15	5	30
	Epidural 4	Bimodal	4,12	5/75	50/230
84E151B	Epidural 1	Unimodal	41	5	5
	Epidural 2	Unimodal	30	5	5
	Epidural 3	Unimodal	8	5	10
	Epidural 4	Bimodal	33,17	5/80	20/180
84E161A	Epidural 1	Unimodal	6	80	200+
	Epidural 2	Unimodal	20	70	130
	Epidural 3	Unimodal	2	80	200+
	Epidural 4	Unimodal	15	70	200+
84E161B	Epidural 1	Unimodal	19	140	250+
	Epidural 2	Unimodal	32	15	250+
	Epidural 3	Bimodal	10	135	250+
	Epidural 4	Bimodal	14	140	200+

+Extends beyond the end of sampling.

Table 8. Cadaver Damages

Test No.	Gross Skull	Gross Brain	Gross Other
82E001	No abnormality. Parietal fracture. Basilar fracture.	No abnormality. Subarachnoid hematoma frontal lobes (cerebrum) and on base of occipital lobe (cerebrum)	No abnormality or injury
82E021 82E022	No abnormality or injury	No abnormality. Subarachnoid hematoma right frontal lobe (cerebrum), hemorrhage central area left frontal lobe (cerebrum)	No abnormality or injury
82E041 82E042	No abnormality or injury	No abnormality. Subarachnoid hematoma frontal lobes (cerebrum) and subarachnoid hemorrhage parietal lobe (cerebrum)	No abnormality or injury
82E061 82E062	No abnormality or injury	No abnormality or injury	No abnormality or injury
82E081 82E082	No abnormality or injury	No abnormality or injury	No abnormality or injury
83E101 83E102	No abnormality or injury	No abnormality or or injury Mechanical abnormality of incomplete repressurization	No abnormality or or injury
84E141A 84E141B 84E141C 84E141D	No abnormality or injury	No abnormality. Subarachnoid hemorrhage frontal lobes (cerebrum) and subarachnoid hemorrhage right parietal lobe (cerebrum)	7 cm longitudinal laceration between eyes on forehead
84E151A 84E151B	No abnormality. 2 cm linear fracture of frontal bone continues as left orbital fracture	No abnormality. Subarachnoid hemorrhage left frontal lobe (cerebrum), subarachnoid hematoma right frontal lobe (cerebrum)	Hemorrhage to occipital belly muscle small laceration to side of skull fracture
84E161A 84E161B	Abnormality of very thick skull	Abnormality of massive tumor on the right frontal lobe (cerebrum). Coded "no injury"	No other abnormality





TEST NO.

79L084 Extension/compression type damage.

Fracture of C3-C7 spinous processes, and rupture of anterior longitudinal ligaments between C3-C4 and C5-C6 with disc involvement. Hangman's fracture with displacement of C2-C3 disc and rupture of C2 posterior longitudinal ligaments.

79L088 Extension/compression type damage.  
(Osteoporotic)

79L092 Extension/compression type damage.

Fracture of C7 spinous process and rupture of anterior longitudinal ligament between C6-C7 with disc involvement. Fracture of T1 spinous process.

80L096 Extension/compression type damage.

Fracture of C5 and C6 bodies, fracture of C5 spinous process at tip, rupture of anterior longitudinal ligament at C6 with disc

Extension/compression type damage.

Rupture of anterior longitudinal ligament between C3-C4 with disc involvement.

80L139 Flexion/compression type damage.

Fracture of T1 body and rupture of supraspinous and interspinous ligaments, and ligamentum flavum between C7-T1 with disc involvement.

Table 1: Initial Conditions

Test No.	Velocity	Piston Surface	Piston Excursion	Configuration Summary		
		Padding (Styrofoam)		Neck	Head	Torsion
79L084	5.6 m/s	2.5 cm	17.8 cm	5°	-45°	0
79L088	5.6 m/s	2.5 cm (2.5 cm)	3. cm	5°	-30°	0
79L092	5.6 m/s	2.5 cm	3. cm	10°	-45°	0
80L096	5.6 m/s	2.5 cm (2.5 cm)	12.7 cm	25°	-10°	0
80L101	5.6 m/s	2.5 cm (2.5 cm)	5.1 cm	25°	-15°	0
80L108	4.6 m/s	2.5 cm (2.5 cm)	14. cm	20°	-30°	0
80L113	4.6 m/s	2.5 cm (2.5 cm)	16.5 cm	10°	-20°	0
80L117	4.6 m/s	2.5 cm	16.5 cm	5°	-40°	0
80L123	5.7 m/s	2.5 cm		25°	+10°	-22°
80L128	5.6 m/s	2.5 cm	11.9 cm	10°	-30°	-22°
80L134	5.6 m/s	2.5 cm	17.8 cm	5°	-30°	-15°
80L139	5.6 m/s	2.5 cm	15.2 cm	25°	-10°	-25°

Table 4: Testing Impact Summary

Number	Force type	Impulse [N-s]	Energy [N-m]	Force		Acceleration						Velocity						Time to Start of Spine Acceleration [msec]		
				Duration [ms]	Max Force [N]	1st Time [msec]	2nd Time [msec]	Head Max [G]	Head Time [msec]	Spine Max [G]	Spine Time [msec]	Sternum Max [G]	Sternum Time [msec]	Head Max [m/s]	Head Time [msec]	Spine Max [m/s]	Spine Time [msec]		Sternum Max [m/s]	Sternum Time [msec]
79L084	Bimodal	82	60	11 (52)	3300 (3100)	7 (33)	238	6.5	100	100	72	Low	6	7.5	100	100	100	100	100	100
79L088	Unimodal	18	3	22	2200	7.5	57	4.5	21.5	7	15	10	3	9.5	1	10	1.5	30.5	1.5	
79L092	Unimodal	24	5	11	6200	8	302	6	12u	7.5	38	13.5	6.7	9	2.5	11	2.2	11.7	2.5	
80L096	Unimodal	24	5	20	2300	13.5	76	12.5	27	8.5	28	21	6.6	18	1.5	13	1.2	50	2	
80L101	Unimodal	21	4	26	1800	10	38	9.5	30	6	38	24.5	4	20	1.3	10	1.3	24.5	1.5	
80L108	Bimodal	46	19	23 (40)	2800 (1100)	10.6 (31.6)	35	6.5	12.3	7	13	15.6	100	13	.75	12.1	2.7	39.1	1	
80L113	Bimodal	98	86	24 (67)	3300 (2100)	9.5 (35.6)	44	7.5	25	7.5	31	13.5	4.8	13	1	13	2.8	26.9	1.5	
80L117	Bimodal	167	248	14 (67)	5700 (4200)	9 (25)	118	8	23	10	48	16.5	5.6	10	1.4	13.5	3.2	31	2.5	
80L123	Unimodal	34	10	14 (30)	6000	7.5	116	7	29	6.5	50	19.5	6.3	14	.9	11.1	1.2	25.1	1	
80L128	Bimodal	87	67	13 (26)	7100 (3800)	7.7 (23.5)	133	7.2	27	7.2	34.5	12.7	6.4	9	1.2	10.6	2.2	7.7	2	
80L134	Bimodal	165	242	10 (56)	11100 (4000)	7.5 (22.2)	217	7	59	9	62	23	6.3	8.5	2.9	12.7	4	7.5	2	
80L139	Unimodal	62	34	11 (35)	10300	7.5	228	7	61	9	39	17.3	6.3	9	2.8	12.3	.7	7.3	2	

Table 1  
INITIAL CONDITIONS TEST SUMMARY  
Primates

Test No.	78A231	78A233	78A235	78A237	78A240	78A242	79A250	79A252	79A254	79A255	79A257	79A259
Velocity (m/sec)	10.5	--	13.1	12.3	12.5	12.3	13.3	13.3	14.5	8.5	11.4	13.3
Piston Excursion (cm)	5.1	6.4	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	3.8
Surface Padding of a 10 cm Diameter Rigid Impactor (cm) (EnsoLite)	2.5	NONE	NONE	NONE	2.5	NONE	2.5	2.5	2.5	2.5	NONE	2.5
Site of Impact (Distance from Diaphragm Spine Intersection) (cm)	2	--	1.5	1	2	--	--	-1	2	1.5	1	1

Canines

Test No.	79C001	79C002	79C003	79C004	80C005	80C006	80C007	80C008	80C009	80C010
Velocity (m/sec)	10.6	10.3	10.2	10.1	9.4	9.79	10.6	10.0	11.4	12.3
Piston Excursion (cm)	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
Surface Padding of a 15 cm Diameter Rigid Impactor (cm)	NONE	NONE	NONE	NONE	NONE	NONE	NONE	NONE	NONE	NONE
Site of Impact (Rib Number)	7	6	9	6	6	7	9	8	5	6

Table 2  
AUTOPSY SUMMARY  
(Primates)

Test No.	Liver				Kidney		Others	Degree of Injury		
	Right Central Lobe	Right Lateral Lobe	Left Central Lobe	Left Lateral Lobe	Right Side	Left Side		AIS		
								Overall	Liver	Grade
78A231	petechia hemorrhage				sub-capsular hematoma		petechia hemorrhage in left lower lobe of lung	3	2	1
78A233	1)longitudinal rupture 2)stellar rupture	longitudinal rupture			longitudinal rupture	sub-capsular hematoma completely surrounding the kidney longitudinal rupture	1)contusion at 8th right intercostal space 2)contusion on the right lung 3)hematoma - pancreas 4)hematoma - bladder	5	5	4
78A235	stellar rupture	longitudinal rupture	longitudinal rupture		1)surface tears in the capsule 2)tear in the renal vein		1)contusion - duodenum 2)contusion - stomach 3)contusion - right lung	5	5	4
78A237		longitudinal rupture					1)ribs 6,7,8,9 fracture near spine 2)mediastinal hematoma near the superior arteries 3)surface bruise over stomach	4	4	3
78A240*		longitudinal rupture	longitudinal rupture			longitudinal rupture	1)hematoma - pancreas 2)pneumothorax	3	3	2
78A242*	longitudinal rupture			bruise				3	3	2

\*Indicates post-mortem subject.

Table 2  
AUTOPSY SUMMARY (cont'd.)  
Primates

Test No.	Liver				Kidney		Others	Degree of Injury		
	Right Central Lobe	Right Lateral Lobe	Left Central Lobe	Left Lateral Lobe	Right Side	Left Side		AIS		
								Overall	Liver	Grade
79A250*		rupture-G2		rupture-G1	1)petechiae hemorrhage 2)rupture		1)peritoneal attachments appear avulsed 2)fracture of left #7 rib 3)hematoma-pancreas, extending up hepato-duodenal ligament	3	3	2
79A252*	rupture-G2 laceration of both right and left hepatic vein with hematoma - GS	laceration-G2	rupture-G2		laceration			5	5	5
79A254*					hematoma		hematoma on the inferior vena cava	3	0	0
79A255	laceration	laceration			subcapsular hematoma		hematoma - pancreas	4	4	3
79A257	laceration	1)laceration 2)hemorrhage	contusion	contusion			1)hemorrhage around right ribs #7 - #12 2)fracture of right ribs #8, 9, and 10 near spine	5	5	4
79A259	laceration			hemorrhage			1)hemorrhage on the fundus of gall bladder 2)hematoma - head of pancreas 3)small contusion - transverse colon 4)diaphragmatic hemorrhage near vena cava	3	3	2

\*Indicates post-mortem subject.

Table 3  
AUTOPSY SUMMARY  
(Canines)

Test No.	Liver						Kidney		Others	Degree of Injury		
	Left Center Lobe	Left Lateral Lobe	Right Center Lobe	Right Lateral Lobe	Quadrate Lobe	Caudate Lobe	Left Side	Right Side		AIS		
										Overall	Liver	Grade
79C001			longitudinal rupture	stellar rupture and longitudinal rupture						4	4	3
79C002	stellar rupture	stellar rupture w/ hematoma	stellar rupture	longitudinal rupture w/ hematoma		stellar rupture				6	6	5
79C003		longitudinal rupture	stellar rupture	1)stellar rupture 2)subcapsular hematoma		stellar rupture				3	3	2
79C004	longitudinal rupture	longitudinal rupture w/ hematoma		longitudinal rupture		longitudinal rupture	longitudinal rupture w/ subcapsular hematoma			3	3	2
79C005	longitudinal rupture		1)longitudinal rupture 2)stellar rupture	longitudinal rupture w/ hematoma		stellar rupture			1)gall bladder avulsion 2)right chest cavity-15 cc hematoma 3)right lung contusion	4	4	3
80C006	longitudinal rupture		longitudinal and stellar ruptures	1)stellar rupture 2)longitudinal and stellar ruptures						5	5	4

Table 3  
Autopsy Summary (cont'd.)  
(Canines)

Test No.	Liver						Kidney		Others	Degree of Injury		
	Left Center Lobe	Left Lateral Lobe	Right Center Lobe	Right Lateral Lobe	Quadrate Lobe	Caudate Lobe	Left Side	Right Side		AIS		
										Overall	Liver	Grade
80C007	longitudinal rupture	longitudinal rupture and contusion	stellar rupture	stellar rupture		longitudinal and stellar rupture			gall bladder avulsion	4	4	3
80C008				stellar rupture w/ subcapsular hematoma						3	3	2
80C009	laceration		1)subcapsular hematoma 2)stellar & longitudinal ruptures	longitudinal rupture					gall bladder avulsion	3	3	2
80C010				stellar rupture w/ subcapsular hematoma		stellar rupture			gall bladder avulsion	4	4	3

Table 4

273 S.208-215

SERIAL BIOCHEMISTRY AND LAVAGE SUMMARY

Test No.	BGT SERUM IU/L				GOT LAVAGE IU/L				TOTAL GOT IU/KG				EPT SERUM IU/L				EPT LAVAGE IU/L				TOTAL EPT IU/KG				TOTAL UNCLETTED BLOOD RELEASED ML/KG			
	1.5	1.5	2.5	3.5	5	1.5	2.5	3.5	5	1.5	2.5	3.5	5	1.5	2.5	3.5	5	1.5	2.5	3.5	5	1.5	2.5	3.5	5	1.5	2.5	3.5
79C001	1290	1616	1766	1806	705	407	269	116	114	25.5	12.5	3.6	1280	1675	1945	2050	728	419	276	109	113.6	31	21.7	28.1	3.9	1.6	0	0
79C003	781	865	861	848	1186	752	420	271	64.7	28.6	0	0	802	955	1038	1033	1238	765	424	264	80.5	17.2	9.4	4.8	7.0	0.7	0	0
79C004	1356	1862	1724	1684	2100	1800	1850	1500	130	35.5	20.5	6.3	613	933	904	959	1000	820	860	720	67.5	27.1	11.8	9.8	5.3	1.1	1.8	0.9
80C006	530	710	670	554	3190	2050	1390	870	145	9.4	0	0	730	810	1110	580	4290	2900	2100	1380	153.8	47.1	26.7	0	8.5	4.8	4.0	1.7
30C000	76	78	76	88	322	148	82	66	11.3	1.0	0.1	1.6	100	102	124	142	556	236	118	86	14.6	3.4	1.9	2.1	2.5	0.8	0	0
80C009	5420	6500	6200	7400	904	300	220	178	442	86.9	0	95.7	5120	6080	6000	7080	796	180	100	146	412	76	0	86.3	2.0	0.3	0.2	0.1

Time in hours	Pre-test values GOT (Serum IU/L)				Pre-test values GPT (Serum IU/L)			
		79C001	44	79C001	50	79C003	31	79C003
	79C004	26	79C004	21	79C006	30	79C006	36
	79C008	18	79C008	150	79C009	76	79C009	150

Table 5  
IMPACT TEST SUMMARY

	Human Cadavers				Primates - Live						Primates - Post-Mortem					Single Tail T-test Live vs. Post-Mortem		
	77A217	77A225	77A226	mean	78A231	78A235	78A237	79A255	79A257	79A259	mean	78A240	78A242	79A250	79A252		79A254	mean
Duration (ms)	7.5	10.2	7.42	8.37	9.69	8.75	8.76	12.0	8.75	9.38	9.54	10.0	8.75	9.38	9.30	10.0	9.50	--
Peak Force (kN)	4.8	4.5	3.2	4.17	1.6	2.5	1.9	1.3	2.5	1.6	1.9	2.7	2.5	1.8	2.8	2.3	2.42	--
Momentum Transferred (N-S)	22.2	29.5	49.6	33.8	9.73	11.1	8.34	9.73	12.5	7.89	9.88	16.7	13.9	10.2	13.9	14.6	13.9	.99
Available Momentum (N-S)	97.5	94.5	128	107	105	131	123	25	114	133	115	125	123	133	133	145	132	.90
Energy Transferred (N-M)	24.7	43.5	123	63.7	4.73	6.18	3.48	4.73	7.8	3.11	5.01	13.9	9.66	5.23	9.66	10.7	9.83	.99
Available Energy (N-M)	475	446	819	580	552	855	756	360	653	888	677	781	756	888	888	1050	873	.90
Peak Aortic Pressure									+576/-58	+245/-14					+2130/-691			

Table 6  
IMPACT TEST SUMMARY  
(Canines)

Test No.	Peak Force (N)	Duration (msec)	Momentum Transferred (N-S)	Available Momentum (N-S)	Available Energy (N-M)	Energy Transferred (N-M)
79C001	2890	7.02	12.4	106	562	7.01
79C002	3560	14.	38.9	103	527	75.6
79C003	2220	7.8	18.1	102	516	16.3
79C004	3230	10.9	23.6	101	505	27.9
80C005	3110	12.5	27.4	94	441	37.6
80C006	5780	10.1	43.7	98	479	95.6
80C007	3340	12	26.4	106	557	34.8
80C008	2890	10.1	24.3	100	503	26.5
80C009	4090	8.75	19.8	114	650	19.6
80C010	3030	10.3	20.9	123	615	21.7
Mean	3440	10	25.6	105	536	36.6

TABLE 1. INITIAL CONDITIONS

Test Number	Impact Configuration	Velocity (ft/sec)	Padding
<u>Cadaver 1</u>			
82E004	Sternum Tap	2.1	None
82E005	45° Lft. Thorax Tap	2.0	None
82E006	Lft. Side Thorax Tap	1.9	None
82E007	Lft. Side Thorax Impact	8.4	10 cm Ensolite
<u>Cadaver 2</u>			
82E023	Sternum Tap	2.0	0.5 cm Ensolite
82E024	45° Lft. Thorax Tap	2.0	0.5 cm Ensolite
82E025	Lft. Thorax Tap Arms Up	2.0	0.5 cm Ensolite
82E026	Lft. Thorax Tap Arms Down	2.0	0.5 cm Ensolite
82E027	Lft. Thorax Impact	8.5	0.5 cm Ensolite
<u>Cadaver 3</u>			
82E043	Sternum Tap	2.0	0.5 cm Ensolite
82E044	45° Lft. Thorax Tap	2.0	0.5 cm Ensolite
82E045	Lateral Tap	2.0	0.5 cm Ensolite
82E046	Lateral Tap Arms Up	2.0	0.5 cm Ensolite
82E047	Lateral Tap	2.0	10.0 cm Ensolite
82E048	Lft. Side Thorax Impact	8.5	10.0 cm Ensolite
<u>Cadaver 4</u>			
82E063	Sternum Tap	2.0	0.5 cm Ensolite
82E064	45° Lft. Thorax Tap	2.0	0.5 cm Ensolite
82E065	Lft. Thorax Tap Arms Down	2.	0.5 cm Ensolite
82E066	Lft. Thorax Impact	8.5	0.5 cm Ensolite
<u>Cadaver 5</u>			
82E083	Sternum Tap	2.1	0.5 cm Ensolite
82E084	45° Lft. Thorax Tap	2.0	0.5 cm Ensolite
82E085	Lft. Side Thorax Tap	1.9	0.5 cm Ensolite
82E086	Lft. Side Thorax Tap	8.4	10.0 cm Ensolite
<u>Cadaver 6</u>			
82E104	Sternum Tap	2.2	0.5 cm Ensolite
82E105	45° Lateral Tap	2.2	0.5 cm Ensolite
82E106	Lateral Tap	2.2	0.5 cm Ensolite
82E107	Lft. Side Thorax Impact	8.5	10.0 cm Ensolite

TABLE 2. LOW VELOCITY THORACIC TAPS - ACCELEROMETER RESPONSE PEAKS (G's)

Test Number	P-A	T1 R-L	I-S	P-A	T12 R-L	I-S	P-A	U.S. R-L	I-S	P-A	R4R R-L	I-S	P-A	R4L R-L	I-S	RBR	RBL	LS
<u>Cadaver 1</u> 82E004	7.2	4.5	2.4	4.3	2.3	NA	28	10	NA	4.8	10	75	5.7	7.7	4.9	11	10	20
82E005	2.7	3.8	2.4	1.3	1.0	2.5	3.8	35	NA	2.4	3.2	2.4	6.6	9.8	1.5	4.2	14	9.2
82E006	1.1	0.4	5.2	2.6	0.7	4.4	2.8	6.2	NA	NA	6.0	3.4	4.9	5.1	3.0	5.4	4.0	3.4
<u>Cadaver 2</u> 82E023	4.0	0.6	2.9	2.4	0.6	1.3	8.8	1.8	4.2	2.5	2.8	3.4	2.2	2.7	2.6	4.0	2.7	10
82E024	3.0	1.3	1.7	2.2	1.8	1.0	7.4	3.4	2.6	2.7	2.8	3.0	6.3	2.6	1.4	1.7	2.8	10
82E025	2.3	2.3	1.1	2.6	2.4	1.2	3.7	4.9	2.6	2.1	5.6	1.6	9	8	2.1	3.4	2.8	10
82E026	1.4	2.9	1.0	1.8	1.8	0.8	1.9	5.2	2.2	1.1	4.2	2.1	4.8	14	3.6	3.2	11	5.0
<u>Cadaver 3</u> 82E043	2.7	0.7	2.8	1.9	0.4	0.8	11	5.4	8.8	2.6	2.8	3.4	2.9	1.5	1.0	2.5	1.9	12
82E044	1.5	1.6	1.9	1.7	1.2	0.8	6.2	4.3	5.7	2.4	2.8	3.4	4.5	3.4	3.4	2.1	4.5	4.6
82E045	0.7	2.6	1.8	2.6	3.5	1.0	6.2	9.3	11	1.7	3.8	2.2	11	5.4	3.2	11	20	6
82E046	0.6	2.8	1.5	1.5	1.2	0.7	0.2	5.1	3.5	1.5	3.2	1.2	3.3	7.2	4.9	2.3	7.2	2.5
82E047	0.5	1.7	1.1	0.6	0.9	0.6	1.2	NA	1.3	0.7	2.1	0.7	2.1	5.0	2.5	5.4	7.2	2.1
<u>Cadaver 4</u> 82E063	4.8	1.5	2.8	2.4	0.5	1.7	8.9	3.0	7.5	5.1	7.0	4.7	7.0	4.8	3.7	8.3	6.8	18
82E064	4.4	4.2	2.6	2.0	5.6	2.9	7.0	4.4	3.7	4.9	3.2	5.8	9.1	6.3	0.1	4.7	18	8.7
82E065	1.2	0.8	8.1	2.7	1.5	3.3	2.5	3.9	3.3	4.1	4.2	2.8	10	4.1	8.5	5.5	16	6.3
<u>Cadaver 5</u> 82E104	4.2	1.1	1.0	3.0	2.3	0.1	11	2.2	3.1	3.0	2.0	3.5	4.6	4.7	5.2	2.0	2.8	17
82E105	6.0	5.1	1.7	3.0	5.0	0.1	12	2.8	2.0	6.9	3.4	4.7	8.6	11	7.7	4.0	3.4	15
82E106	4.1	7.7	1.2	2.6	5.3	0.1	2.9	9.0	3.7	3.9	4.8	3.3	7.1	12	10	5.8	13	9.2

TABLE 3. HIGH VELOCITY THORACIC IMPACTS - ACCELEROMETER RESPONSE PEAKS (G's)

Test Number	P-A	T1 R-L	I-S	P-A	T12 R-L	I-S	P-A	U.S. R-L	I-S	P-A	R4R R-L	I-S	P-A	R4L R-L	I-S	RBR	RBL	LS
82E007	21	21	31	24	18	27	36	24	NA	30	104	44	37	77	26	36	92	19
82E027	42	49	40	51	22	29	84	110	90	38	52	30	14	170	68	31	150	113
82E048	5.7	17	12	18	11	7.2	16	21	43	21	19	12	9.9	56	18	17	41	26
82E066	13	11	55	34	21	32	38	59	15	28	67	37	160	32	215	43	54	70
82E107	9.6	25	12	5.6	32	1.4	11	23	17	11	10	4.7	28	45	24	11	46	26

TABLE 4. PEAK FORCES

Test Number	Peak Force (N)	Duration (ms)
82E004	980	NA
82E005	560	95
82E006	770	85
82E007	NA	NA
82E023	440	75
82E024	390	80
82E025	490	80
82E026	450	80
82E027	9800	60
82E043	430	80
82E044	430	80
82E045	570	80
82E046	400	90
82E047	400	100
82E048	7000	45
82E063	410	80
82E064	380	80
82E065	520	70
82E066	NA	
82E104	660	65
82E105	1200	70
82E106	1200	65
82E107	NA	
80L093	2500	60
80L100	2700	50
80L107	2600	65
80L112	2500	75
80L117	2700	65
80L122	2200	60
80L127	3100	65

TABLE 5. AUTOPSY SUMMARY OF THORACIC IMPACT TESTS

82E007	Closed rib fractures on left side: R3, R5, and R7 (AIS 1) Peticeal hemorrhage on pericardium near ascending aorta (AIS 3)
82E027	Open rib fractures on left side: R3, R4, and R5; closed rib fractures on left side: R2 (four places), R3, R4, R5, and R6 (AIS 3) Complete separation of acromion at clavicular junction (AIS 2)
82E048	Closed rib fractures on left side: R3, R7, and R8 (AIS 1)
82E066	Open rib fractures on left side: R2, R3, R4, R5, and R6; closed rib fractures on left side: R2, R3, R4, R5, and R6 (AIS 3) Fracture of clavicle on left side at acromion juncture (AIS 2)
83E108	Open rib fractures on left side: R3 and R5; closed rib fractures on left side: R2, R3, and R4 (two places) (AIS 2)
80L095	Closed rib fractures on left side: R3 (two places), R4, and R5 (AIS 1)
80L107	Closed rib fractures on left side: R3, R4 (two places), and R5 (AIS 1) Humerus fracture (AIS 2)
80L127	Closed rib fractures on left side: R3 (two places), R4, R5 (two places), and R6 (AIS 1)
80L100, 80L112, 80L116, 80L122	No thoracic damage (AIS 0)



TABLE 1  
Cadaver Characteristics

Cadaver Number	Sex	Age (years)	Stature (m)	Body Mass (kg)	Tibiale Height (mm)*	Ankle Height (mm)**	Tibia Length (mm)***	Calf Max. Circumf. (mm)****
353	M	59	1.66	57	455	-	-	-
375	M	58	1.74	73	480	-	-	-
395	M	57	1.78	99	500	-	-	-
400	M	57	1.78	84	405	-	-	-
404	M	56	1.76	79	465	-	-	-
406	M	64	1.77	82	490	-	-	-
458	M	54	1.82	68	520	75	445	290
473	F	43	1.59	53	420	60	360	330
525	M	57	1.87	45	445	50	395	230
578	F	57	1.63	75	420	55	365	390
590	F	51	1.63	68	430	100	330	300

Note: Causes of Death are listed in Appendix A.

\* Tibial plateau-to-heel (Average of L and R)      \*\*\* Tibiale height minus ankle height  
 \*\* Lateral malleolus-to-heel (Average of L and R)      \*\*\*\* Average of L and R

TABLE 2  
Test Conditions and Results

Test Number	Specimen Identification		Impactor Speed (m/s)	Direction of Loading *	Distance Between Supports (mm)	Peak Force ** (kN)	
	Cad.	Leg				Knee	Ankle
116	353	R	6.9	AP	267	1.32	-
117	458	L	3.5	AP	305	2.09	2.19
118	458	R	3.5	LM	305	2.69	2.49
121	473	R	Static	AP	229	2.61	2.66
122	473	L	4.7	AP	229	1.10#	0.85#
123	406	R	Static	LM	254	3.38	3.75
124	406	L	4.2	LM	254	2.09	2.16
125	375	R	4.2	AP	254	1.59	1.28
126	375	L	4.2	LM	254	1.81	1.71
127	404	L	3.7	LM	254	1.93	1.80
128	395	R	3.7	AP	254	2.63	2.29
129	395	L	3.7	LM	254	2.75	2.75
132	525	L	3.8	LM	254	2.14	2.01
133	525	R	3.8	AP	254	3.27	3.06
134	353	L	3.2	AP	254	2.29	2.23
135	400	L	3.2	AP	254	1.80	1.50
145	404	R	2.9	AP	254	3.34	3.34
146	578	R	2.1	AP	254	2.72	2.24
147	400	R	2.9	LM	254	3.81	2.97
148	578	L	2.1	LM	254	2.15	1.85
152	590	L	2.4	LM	254	2.03	2.28
153	590	R	2.4	AP	254	1.91	1.96

\* AP designates anterior-to-posterior.  
 LM designates lateral-to-medial.

\*\* Filtered 100 Hz cut-off.  
 # Poor signal to noise ratio.

TABLE 6  
Bending Moment, Section Modulus and Stress

Test Number	Peak Bending Moment At Midspan (N.m)*	Section Modulus (mm <sup>3</sup> )	Peak Tensile Stress (MPa)
116	176	960	183
117	326	2510	130
118	395	1500	263
121	302	1340	225
122	-	1210	-
123	453	1450	312
124	287	2310	124
125	182	1370	133
126	224	920	243
127	237	1580	150
128	312	2260	138
129	349	2340	149
132	264	-	-
133	402	-	-
134	287	3060	94
135	324	-	-
145	424	2560	166
146	315	1510	209
147	431	990	435
148	254	1110	229
152	274	680	403
153	246	1340	184

\* Average of end restraint peak forces multiplied by one-half the distance between the end restraints.

TABLE 7  
Summary of Bending Moment Data

Data Subset	Direction of Loading	Bending Moment At Fracture (N.m)	
		Mean	Std. Dev.
Males and Females*	AP and LM (N=21)	308	79
	AP Only (N=11)	300	77
	LM Only (N=10)	317	84
Males Only	AP and LM (N=16)	317	88
	AP Only (N=8)	304	90
	LM Only (N=8)	330	89
Females Only*	AP and LM (N=5)	278	30
	AP Only (N=3)	288	37
	LM Only (N=2)	264	14

\* The data for Test No 122 is not included, since there was a poor signal-to-noise ratio.

TABLE I HEAD IMPACT DATA

CASE NO.	DELTA V MPH	OCCUPANT DATA	HIC	COMPUTED HEAD ACCELERATIONS		HEAD/NECK INJURIES
				LINEAR	ANGULAR	
				G	RAD/SEC**2	
1 LB01	26	HEIGHT 5'7" WT. 160 LB MALE BAC=0	330	100	6300	SPINAL CORD INJURY (QUADRIPLEGIA) WITHOUT SPINAL CANAL DAMAGE. NO SIGNIFICANT HEAD INJURY.
2 CC00	18	HEIGHT 5'6" WT. 135 LB FEMALE BAC=0.23	240	40 110	4500 12600	SPINAL CORD INJURY (INCOMPLETE) WITH C6/7 SUBLUXATION. HEAD-CEREBRAL CONCUSSION GRADE III
3 AB01	15	HEIGHT 6' WT. 170 LB. MALE BAC NOT DONE HIGHLY INTOXICATED	170	86	7500	NO NECK INJURY HEAD- CEREBRAL CONCUSSION GRADE III

TABLE II NECK LOADING

CASE	FORCES-3MS.			BENDING MOMENT			
	SHEAR	AXIAL	TIME	MAX	SUSTAINED	DURATION	TIME
	N	N	MS	NM	NM	MS	MS
1 LB01	1500	4200	110	-113	-68	20	96-116
2 CC00	3400 1100	1900 1100	112 157	68 124	57 108	05 20	104-109 135-155





No.	SN No.	HW (Kg)	LI	IM	DH (cm)	IV (m/s)	Load (Kg)		SACC (G)		DR (ms)	Fracture	
							Max.	Ave.	Res.	Ave.			
1	7	5.00	F	60	100	4.43	741	437	121	70	6.67		
2					250	7.00	1993	754	292	151	5.67		
3				80	150	5.42	1100	683	185	118	4.65		
4					250	7.00	1596	952	311	196	4.47▲		
5					40	2.80	640	311	171	94	3.07		
6				Anvil	100	4.43	1184	651	310	190	2.57		
7					150	5.42	1572	660	480	240	2.77▲		
8					200	6.26	1187	363	422	198	3.17○	3+, B 3+	
9	3	5.01	F	60	250	7.00	1500	578	349	156	4.27○	3+, B 3+	
10	6	5.00	F	60	150	5.42	1104	645	234	148	4.47		
11					200	6.26	-	-	-	-	-		
12					200	6.26	1340	741	275	172	6.40	2+, B 2+	
13	8	5.00	F	20	250	7.00	985	601	143	82	11.15		
14					60	150	5.42	1043	611	208	113	5.65	
15					200	6.26	1173	568	363	140	7.17	2+, B 2+	
16	1	5.05	O	80	250	7.00	1635	646	866	348	3.45	3+, B 2+	
17	5	5.01	O	60	100	4.43	1035	643	136	88	5.62		
18					200	6.26	1311	801	213	92	8.92		
19					250	7.00	1603	925	238	145	5.57		
20					150	5.42	2000	1161	247	154	4.12		
21					200	6.26	1946	731	439	210	5.90	3+, B 2+	
22	4	5.00	O	60	150	5.42	1043	482	524	247	1.95	2+	
23	2	5.05	O	20	250	7.00	-	-	-	-	-		
24					250	7.00	831	453	572	113	9.70	2+, B 2+	
25					40	2.80	1114	589	396	225	1.75		
26	12	5.07	O	60	60	3.43	1292	713	511	281	1.67		
27					60	3.43	1182	632	497	273	1.67		
28				Anvil	80	3.96	-	-	-	-	-		
29					80	3.96	1316	710	609	313	1.60		
30					80	3.96	1423	821	534	306	1.72▲		
31					100	4.43	1430	824	693	369	1.55	1+	
32	11	5.00	F	40	2.80	797	334	287	163	2.10			
33				Anvil	60	3.43	880	408	391	219	2.00		
34					80	3.96	1058	292	467	257	1.97		
35					100	4.43	1220	495	625	312	2.02▲		
36					120	4.85	1220	474	732	367	1.95	1+	
37	14	5.05	O	40	2.80	-	-	-	-	-	-		
38				Anvil	60	3.43	1293	796	510	293	1.70		
39					80	3.96	1392	413	1089	483	2.50	2+, B 2+	
40	9	5.05	F	20+C	150	5.42	513	436	120	55	11.25		
41					20	150	5.42	593	271	117	68	9.90	
42					20+C	200	6.26	674	383	139	75	10.62	
43					20+C	250	7.00	766	486	147	84	10.87	
44					20	250	7.00	788	471	155	94	9.75	
45				60+C	100	4.43	610	429	169	110	4.90		
46				60+C	150	5.42	821	498	199	147	4.12		
47				60+C	200	6.26	1008	593	254	112	9.62		
48				Anvil	60	3.43	814	355	374	205	2.20		
49					80	3.96	846	339	553	256	3.32	2+, B 2+	
50	13	5.00	O	20+C	150	5.42	495	292	137	68	11.00		
51					20	150	5.42	512	306	134	73	9.27	
52					20+C	200	6.26	577	354	129	72	10.70	
53					20	200	6.26	627	372	168	74	12.37	
54				60+C	100	4.43	738	430	190	118	5.50		
55					80	100	4.43	754	470	211	130	5.12	
56				60+C	150	5.42	911	555	253	160	4.85		
57				60+C	250	7.00	683	497	162	85	10.87		
58					20	250	7.00	700	291	178	93	10.05	
59					60	200	6.26	989	640	315	119	11.25▲	
60				60+C	200	6.26	998	599	276	162	5.45▲		
61					60	200	6.26	948	575	298	166	5.47	1+
62	10	5.04	O	60+C	150	5.42	1006	544	257	153	5.62		
63					60	150	5.42	1014	582	282	177	4.37	
64				60+C	200	6.26	-	-	-	-	-		
65					60	200	6.26	1232	705	337	210	4.27	
66				60+C	250	7.00	1208	711	320	200	4.92		
67					60	250	7.00	1304	775	375	234	4.20	
68					80	150	5.42	1183	673	420	249	3.22	
69				80+C	200	6.26	1257	702	372	230	3.97▲		
70					80	200	6.26	1442	780	485	296	3.15▲	
71				80+C	250	7.00	1378	764	400	269	3.90	1+	
72	15	5.00	F	80	150	5.42	1031	585	365	154	5.47		
73				80+C	200	6.26	1077	610	343	230	8.97		
74					80	200	6.26	1192	606	472	249	3.70▲	
75				80+C	250	7.00	1257	759	321	197	4.65		
76				80+C	250	7.00	1225	676	426	264	3.45▲		
77					80	250	7.00	1305	681	561	329	3.00▲	
78					80	3.96	891	383	399	237	2.07		
79					100	4.43	-	-	-	-	-		
80				Anvil	100	4.43	900	382	504	220	3.32		
81					120	4.85	916	418	658	256	3.15		
82					150	5.42	1062	448	825	317	3.00▲		
83					180	5.94	1268	483	887	540	1.55▲		
84					200	6.26	1346	584	920	585	1.57	3+, B 3+	

SN: Skull No. IV: Impact velocity ▲: Subfracture  
 HW: Head weight SACC: Skull acceleration ○: Overfracture  
 LI: Location of impact DR: Duration  
 IM: Impactor base F: Frontal impact  
 DH: Drop height O: Occipital impact  
 1+: Rudimentary fracture 2+: Linear and/or radiating fracture  
 3+: Multilinear comminuted fracture B: Basal fracture  
 C: Buffer material (Viscol A 30: Thiokol)

Appendix E-(b) Human Cadaver Skull Measurements

Skull No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Impact Direction	O	O	F	O	O	F	F	F	F	O	F	O	O	O	F
Skull Weight (gr.)	467	470	494	557	570	574	648	664	595	650	690	585	665	695	653
Skull Breadth (mm)	126	129	127	127	133	128	128	135	125	125	132	129	135	136	132
Skull Length (mm)	173	168	167	168	157	180	174	179	172	169	184	165	186	177	179
Thickness of Frontal Bone (mm)	5.5	5.3	7.8	8.5	8.0	7.0	7.0	7.5	5.5	5.0	8.2	5.7	8.1	7.2	7.8
Thickness of Frontal SKin (mm)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Thickness of Occipital Bone (mm)	6.8	6.7	6.0	9.9	5.5	5.9	7.3	5.5	7.2	6.1	6.5	5.8	7.2	7.4	7.3
Thickness of Occipital Skin (mm)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Total Weight of Head (Kg)	5.05	5.00	5.01	5.00	5.01	5.00	5.01	5.00	5.05	5.04	5.00	5.07	5.00	5.05	5.00
Moment of Inertia of Head (Kgm <sup>2</sup> ) × 10 <sup>3</sup>	4.63	2.86	3.42	2.46	4.70	2.54	2.77	3.20	4.71	3.77	3.90	4.47	4.96	3.70	4.86

F: Frontal Impact  
 O: Occipital Impact



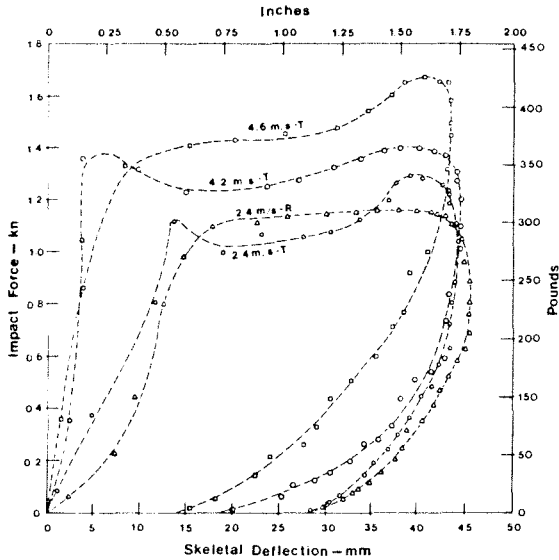


Fig. 2 - Load-deflection of thorax

Table 1 - Impact Conditions and Maximum Force and Deflection for Each Run

Run No.	Drop Ht. cm (ft.)	Velocity m/s (ft./sec.)	Muscle Tone <sup>1</sup>	Max. Force kn (lbs.)	Max. Deflect cm (inch)
1	30.5 (1)	2.4 (8.0)	T	0.87 (195)	
2	61.0 (2)	3.4 (11.3)	T	1.19 (268)	
3	91.4 (3)	4.2 (13.9)	T	1.40 (315)	4.52 (1.78)
4	30.5 (1)	2.4 (8.0)	T	0.91 (205)	
5	30.5 (1)	2.4 (8.0)	R	0.73 (165)	
6	61.0 (2)	3.4 (11.3)	T	1.29 (289)	4.50 (1.77)
7	61.0 (2)	3.4 (11.3)	R	1.16 (261)	4.57 (1.80)
8	100.7 (3.5)	4.6 (15.0)	T	1.67 (376)	4.37 (1.72)

<sup>1</sup> T = Tensed (inspired)  
R = Relaxed (expired)



TABLE 2  
Summary of Body Measurements

	Vertical Posture (Study V)					Horizontal Posture (Study H)					Significance P value
	Range		Mean	SD		Range		Mean	SD		
	High	Low				High	Low				
Weight (kg)	70	48	61	9	64	46	57	5		<.10	
Stature (cm)	130	90	113	10	121	108	116	4		NS	
Chest Breadth (cm)	28	21	25	2	28	23	26	2		NS	
Chest Depth (cm)	29	21	26	2	32	26	30	2		<.001	
Chest Cfr. (cm)	96	76	88	6	90	80	87	3		NS	
Waist Breadth (cm)	35	28	31	3	32	24	30	2		NS	

NS - not statistically significant on the basis of a two-sided t test (i.e., P>.10)  
SD - Standard deviation

TABLE 4a

"V" Study - Mechanical Parameter Peak Values							
Test ID	Velocity (M/s)	Applied Force (kN)	Chest Compression (cm)	Normalized Chest Compression	Sternal Acceleration (g's)	Spinal Acceleration (g's)	Aortic Over-pressure (mm Hg)
<u>Anesthetized Low Velocity</u>							
17/L5	8.8	5.2	8.6	.32	350	60	190
18/L4*	8.2	5.9	8.2	.29	420	160	120
19/L4*	8.1	5.9	6.3	.24	600	100	120
Mean	8.4	5.7	7.7	.28	460	110	160
SD	0.4	0.4	1.2	.04	130	50	40
<u>Anesthetized High Velocity</u>							
10/L1	9.5	8.7	9.6	.37	910	120	170
12/L2	10.6	6.2	10.3	.37	700	80	290
13/L3	9.6	7.6	10.6	.42	690	90	190
20/L3*	10.3	6.9	10.9	.44	970	150	980
Mean	10.0	7.4	10.4	.40	820	110	410
SD	0.5	1.1	0.6	.04	140	30	380
<u>Postmortem Low Velocity</u>							
13/C4	8.4	5.9	7.3	.25	690	120	650
14/C5	8.3	7.3	5.4	.20	470	200	380
Mean	8.4	6.6	6.4	.23	580	160	520
SD	0.1	1.0	1.3	.04	160	60	190
<u>Postmortem High Velocity</u>							
8/C1	10.4	8.5	8.6	.36	900	80	1340
9/C2	10.4	8.7	9.8	.36	710	80	670
Mean	10.4	8.6	9.2	.36	800	80	1000
SD	--	0.1	0.8	.01	130	--	470

TABLE 4b

"H" Study - Mechanical Parameter Peak Values							
Test ID	Velocity (M/s)	Applied Force (kN)	Chest Compression (cm)	Normalized Chest Compression	Sternal Acceleration (g's)	Spinal Acceleration (g's)	Aortic Over-pressure (mm Hg)
<u>Anesthetized Low Velocity</u>							
3/L5	8.1	5.9	6.3	.20	630	90	300
4/L36	8.1	5.6	7.6	.27	510	140	370
Mean	8.1	5.8	7.0	.24	570	120	340
SD	-	0.2	0.9	.05	80	40	50
<u>Anesthetized High Velocity</u>							
1/L33	10.6	9.5	9.0	.28	880	170	130
2/L34	10.4	8.4	8.3	.28	1310	100	830
5/L37	10.8	7.4	9.2	.33	1170	90	1100
6/L38	10.4	9.2	8.5	.27	840	150	470
Mean	10.6	8.6	8.8	.29	1050	130	630
SD	0.2	0.9	0.4	.03	230	40	420
<u>Postmortem Low Velocity</u>							
11/C43	8.6	5.0	7.0	.23	380	60	470
12/C44	8.9	6.7	6.6	.22	630	170	600
Mean	8.8	5.9	6.8	.23	500	120	540
SD	0.2	1.2	0.3	.01	180	80	90
<u>Postmortem High Velocity</u>							
7/C39	10.4	9.9	8.7	.28	1300	150	1060
8/C40	11.5	9.6	8.2	.31	1120	190	860
9/C41	10.5	8.1	9.4	.33	890	80	1080
10/C42	10.4	9.0	7.4	.25	1460	200	640
Mean	10.7	9.2	8.4	.29	1190	160	910
SD	0.5	0.8	0.8	.04	240	50	210

TABLE 7a  
Injury Profiles - 'V' Study

Test ID	Rib Fractures		Lung	Heart	Liver
	Right	Left			
<b>Anesthetized, Low Velocity</b>					
16/L4	2-5	2-5	-	-	-
17/L5	2-6	-	-	-	-
18/L4*	1-2	2	-	-	-
19/L4*	-	3-6	-	-	-
<b>Anesthetized, High Velocity</b>					
10/L1	2-5	3-5	H, L*	-	tear
12/L2	2-7	2-6	-	C-aorta	-
15/L3	1-3	1-9	-	-	rupture
20/L3*	3-6	2-6	-	-	-
<b>Postmortem, Low Velocity</b>					
13/C4	3-5	2-7	-	-	-
14/C5	sternum	-	-	-	-
<b>Postmortem, High Velocity</b>					
8/C1	1-7	1-6	-	R-right atrium R-pericardium	-
9/C2	1-6	1-6	-	-	-
11/C3	1-7	1-6	-	R-right atrium	-

H - Hemorrhage  
C - Contusion  
R - Rupture

TABLE 7b  
Injury Profiles - 'H' Study

Test ID	Rib Fractures		Lung	Heart	Liver
	Right	Left			
<b>Anesthetized, Low Velocity</b>					
3/L35	-	-	H†	C-left atrium	-
4/L36	-	-	H	-	-
<b>Anesthetized, High Velocity</b>					
1/L33	-	-	H, hemothorax	-	-
2/L34	-	-	H, hemothorax	-	-
5/L37	-	-	H	-	-
6/L38	-	-	H	C-right atrium	-
<b>Postmortem, Low Velocity</b>					
11/C42	-	-	-	-	-
12/C44	*	-	-	-	-
<b>Postmortem, High Velocity</b>					
7/C39	-	-	-	-	-
8/C40	3-5	1	-	-	-
9/C41	1-5	2-3	-	R-right atrium	-
10/C42	2-4	2	-	-	-

H - Hemorrhage  
C - Contusion  
R - Rupture  
\* - Possible Sternal Fracture

TABLE 8  
Cardiac Arrhythmias

Test ID	Study V	Low Velocity	
		Test ID	Study H
17/L5	- not analyzed	1/L33/PE	- sinus tachycardia - ST depression
18/L4*	- no conductive changes post-impact	18/L4*	- right axis shift
19/L4*	- multifocal PVC's - 2° AV dissociation diminishing to Mobitz II with 7/7 AV block	2/L34/PE	- sinus tachycardia - ST change - bipheny - right axis shift
16/L4	- complete AV block - dissociation - atrium and ventricle firing on their own at less than 20 bpm		
<b>High Velocity</b>			
10/L1	- idioventricular or idiojunctional rate - ventricular fibrillation	3/L36/PE	- atrial fibrillation - AV block - runs of ventricular tachycardia
12/L2	- ventricular tachycardia - possible ventricular fibrillation	4/L36/PE	- transient right axis shift
15/L3	- idiojunctional rhythm - loss of sinus activity	5/L37/PE	- sinus bradycardia - ST elevation - biphasic T wave
20/L3*	- ventricular fibrillation	6/L38/PE	- sinus tachycardia - ST segment depression - right axis shift - subventricular tachyarrhythmia with aberrant conduction

TABLE 1	
Test	Head and Neck Injuries
1	No injuries
2	No injuries
3	No injuries
4	<u>Brain:</u> Extradural hemorrhage, medial aspect of left occipital lobe, minimal - AIS-3. <u>Neck:</u> Severe hemorrhage in joint space at Atlas/occipital joint - AIS-4.
5	<u>Brain Stem:</u> Severe contusion with extensive, associated leptomeningial hemorrhage. No respiration post-impact. No Palbaral reflex. VCR's flat. AIS-5. <u>Neck:</u> Blood in joint space at Atlas/occip. Atlas Axis. Bilateral hemorrhage in Sternocleidomastoid muscles, Contused Thyroid. AIS-4.
6	<u>Brain:</u> Slight latency increase left VBR one hour post-impact - AIS-2.
7	<u>Brain:</u> Subdural hemorrhage, left, ventral cerebral cortex, moderate with mild underlying contusion. Judged to be during rebound.
8	No injuries
9	<u>Neck:</u> Atlanto-occipital junction - Severe hemorrhage into joint space; partially torn apical ligaments; moderate hemorrhage into dorso-lateral aspect of joint capsular tissue Atlas/axis junction; Bilateral epidural hemorrhage at C-6 level, moderate to severe in spinal cord.
10	<u>Brain:</u> Severe subdural hemorrhage in caudal aspect of brain, ventral aspect of brain stem and over cerebellum. <u>Neck:</u> 3/4 transection ventral aspect of cord at C-1 level. Severe subdural hemorrhage surrounding cervical cord from brain stem to C-4 level. Severe hemorrhage into joint space at Atlanto-occipital junction. At Atlas partial tears of muscles originating at C3-C4 and inserting into Atlas.
11	<u>Brain:</u> Massive subdural hemorrhage caudal brain, from Optic Chiasm to brain stem ventrally. <u>Neck:</u> Massive subdural hemorrhage ventral aspect of cord from brain stem to C3. Partial transection of cord with dorsal and ventral tears at C-1 level. Atlanto-occipital junction - very severe hemorrhage into joint space. Ventral dura torn with subdural hemorrhage.
12	<u>Brain:</u> Massive subdural hemorrhage - caudal brain, from optic chiasm to ventral brain stem; dorsal cerebellum, bilaterally; intercerebral hemisphere fissure, caudal aspect and into third ventricle. <u>Neck:</u> Severe subdural hemorrhage C1-C2, moderate subdural hemorrhage C3-C7; Atlanto-occipital junction - complete rupture apical ligament; severe hemorrhage in joint space. Atlas/axis joint fluid tinged with blood. C1-C2 junction: Severe hemorrhage into joint space C1 vertebral body fracture at the Dorsal caudal crest.
13	No injuries
14	<u>Brain:</u> Massive subdural hemorrhage caudal brain from optic chiasma to brain stem; and ventral and dorsal brain stem - AIS-5. <u>Neck:</u> Subdural hemorrhage severe, circumferentially from brain stem to C3 level. Ruptured apical ligament complete. Severe hemorrhage into joint space at Atlanto-occipital junction. Massive hemorrhage beneath muscles overlying ventro-lateral aspect of C1-C2 vertebral bodies.
15	No injuries

Table 2 - Piglet and Dummy Head and Neck Test Responses

Test No.	Type of Test	Head mass, grams	Brain mass, grams	HIC Parameters				Angular Acceleration				Head SI Parameters		Neck load			Injury, AIS	
				HIC	Duration, ms	Ave. Acc. G's	Average Acc. G's	AS		Duration, ms	SI Acc. G's (1)	Fst. Neck Load: F = ma (N) (1)	Axial N	Shear N	Moment N.m	Brain	Neck	
								Tested r/s <sup>2</sup>	Normal-ized r/s <sup>2</sup>									
1	Dummy	2600	-	346	181	-	-	7500	7500	3	40	1020	960	630	15.8	-	-	
	Piglet	1596	100	799	65	109	109	2200	2200	30	50	790	-	-	0	0	0	
2	Dummy	2600	-	476	165	-	-	8100	8100	4	-	-	-	-	-	-	-	
	Piglet	1453	91	1291	66	52	54	4600	4600	5	55	1410	1660	1460	25.4	-	0	
3	Dummy	2600	-	442	130	-	-	5400	5400	3	-	-	-	-	-	-	-	
	Piglet	1229	77	1086	133	37	40	3900	4642	20	50	1660	1460	1120	23.2	-	0	
4	Dummy	2600	-	548	8	-	-	8100	8100	4	-	-	-	-	-	-	-	
	Piglet	1596	100	5083	21	142	142	3300	3300	7	56	1440	1480	940	37.3	-	4	
5	Dummy	2600	-	1228	-	-	-	5800	5800	12	-	-	-	-	-	-	-	
	Piglet	1628	102	4886	70	87	85	12500	12500	5	111	2850	2960	1340	42.4	-	4	
6	Dummy	2600	-	306	187	-	-	3800	3800	5	31	800	1050	740	17.0	-	-	
	Piglet	1469	92	691	26	59	61	3000	3172	10	60	890	-	-	2	0	0	
7	Dummy	2600	-	884	58	-	-	3600	3600	18	35	890	560	850	25.4	-	-	
	Piglet	2054	133	5090*	6.5	226	206	2200	1819	25	105	2130	-	-	-	5	Reb. 10	
8	Dummy	2600	-	1325	52	-	-	7100	7100	10	60	1540	1570	800	37.3	-	-	
	Piglet	1628	102	7893	60	112	111	5000	4934	15	190	3050	-	-	0	0	0	
9	Dummy	2600	-	1570	57	-	-	7000	7000	12	6	78	2000	1925	540	46.3	-	
	Piglet	1632	99	8226	66	109	110	8000	6745	12	140	2360	-	-	0	4	4	
10	Dummy	2600	-	1337	56	-	-	9300	9300	8	67	1720	2820	1030	47.5	-	-	
	Piglet	1723	108	6144	66	97	95	4200	3989	20	200	3400	-	-	5	6	6	
11	Dummy	2600	-	1570	57	-	-	8800	8800	6	78	2000	1925	540	46.3	-	-	
	Piglet	1500	94	8033	62	111	113	10800	10421	13	108	1480	-	-	5	6	6	
12	Dummy	2600	-	1270	57	-	-	5000	5000	27	-	-	-	-	21.5*	-	-	
	Piglet	1771	111	7866	66	107	104	7000	12126	10	120	2100	1430	670	31.9	-	0	
13	Dummy	2600	-	63	88	-	-	2700	2700	30	-	-	400	560	11.3	-	-	
	Piglet	1676	105	56	199	10	10	1100	1064	20	Low	-	-	-	0	0	0	
14	Dummy	2600	-	1129	56	-	-	5000	5000	24	-	-	-	-	-	-	-	
	Piglet	1596	100	14450	61	141	141	7000	7000	6	46	1180	1160	630	29.4	-	b	
15	Dummy	2600	-	488	6	-	-	8300	8300	6	51	1300	900(2)	900	50.9	-	-	
	Piglet	1532	96	6778	9	224	227	12000	12331	12	300	4540	-	-	0	0	0	

\*Estimated from rebound (1) at time of bag interaction. Some whip loads higher. (2) Compression

Table 6 - Piglet and Dummy Thorax and Abdominal Test Responses

Test No.	Type of Test	Piglet Age, Weeks	Piglet Mass, kg	Chest - Abdominal Surface Acceleration								Arhythmic, A/S	Thoracic Spine				Blood Pressure		Injury to Thorax	A/S Abdomen
				Upper		Mid		Lower		Abdomen			Upper		Lower		Peak, mm Hg	Dura-tion, sec.		
				Vel, G's	Acc, m/s <sup>2</sup>	Vel, G's	Acc, m/s <sup>2</sup>	Vel, G's	Acc, m/s <sup>2</sup>	Vel, G's	Acc, m/s <sup>2</sup>	PK/Bus	G's	PK/Bus	G's	Vel, m/s				
1	Dummy	-	15.0	1390	10.7	700	8.2	300	4.6	-	-	-	81.60 # 37	-	28.18 # 36	-	-	-	-	-
	Piglet	10	14.5	2890	8.5	1580	3.7	770	2.7	-	-	4	113.91 # 38	4.1	-	-	295	10	1	0
2	Dummy	-	15.0	960	11.3	370	7.3	110	3.4	-	-	-	107.87 # 33	-	40.31 # 34	-	-	-	-	-
	Piglet	10	14.5	2150	13.7	1650	6.1	550	4.9	-	-	4	113.93 # 37	3.0	-	-	245	10	3	0
3	Dummy	-	15.0	535	6.4	105	2.7	85	1.5	-	-	-	55.42 # 35	-	30.28 # 72	-	-	-	-	-
	Piglet	10	15.0	1820	6.1	1950	6.7	470	4.6	-	-	4	119/106 # 32	7.6	-	-	385	15	2	0
4	Dummy	-	15.0	250	8.5	235	7.3	250	4.9	-	-	-	98.87 # 38	-	46.14 # 32	-	-	-	-	-
	Piglet	10	15.0	920	5.2	1200	4.0	320	5.2	-	-	4	129/102 # 36	7.6	-	-	305	15	3	2
5	Dummy	-	15.0	600	10.7	320	8.8	640	8.2	-	-	-	156.155 # 32	-	84.76 # 31	-	-	-	-	-
	Piglet	10	14.1	2000	9.4	1050	6.7	370	9.1	-	-	*	200/151 # 32	7.9	-	-	595	25	2	3
6	Dummy	-	15.0	520	9.1	1130	11.6	1730	10.7	-	-	-	53.46 # 41	-	44.35 # 42	-	-	-	-	-
	Piglet	10	14.3	1050	8.2	2310	6.7	2770	8.2	-	-	4	118/90 # 37	3.4	-	-	435	5	4	3
7	Dummy	-	15.0	170	4.9	90	4.0	50	3.4	-	-	-	51.43 # 39	9.1	26/21	4.0	-	-	-	-
	Piglet	14	15.7	350	3.0	150	3.7	340	5.8	-	-	0	184/145 # 32	6.7	-	-	370 Est.	20	2	0
																	400	40		
8	Dummy	-	15.0	200	6.4	240	5.2	150	4.0	-	-	-	57.52 # 32	6.1	15/29 # 38	3.0	-	-	-	-
	Piglet	12	14.5	580	2.4	840	2.4	1900	4.9	-	-	0	65/50 # 32	6.1	-	-	210 Est.	25	3	2
9	Dummy	-	15.0	400	11.3	280	8.5	310	8.5	-	-	-	150/68 # 34	7.6	90/48 # 34	4.6	-	-	-	-
	Piglet	12	14.5	700	3.7	410	3.0	500	2.4	-	-	0	110/81 # 34	4.6	-	-	560	30	3	0
10	Dummy	-	15.0	390	12.8	290	11.3	280	7.6	-	-	-	155.92 # 34	10.0	100/65 # 34	6.7	-	-	-	-
	Piglet	12	15.9	780	2.4	550	3.0	1000	3.7	-	-	*	108/84 # 32	7.6	-	-	760 Est.	25	4	5
11	Dummy	-	15.0	410	11.3	280	8.5	310	8.5	-	-	-	150/68 # 34	7.6	90/48 # 34	4.6	-	-	-	-
	Piglet	12	14.0	570	3.4	390	6.1	1330	8.2	370	3.0	*	77/74 # 28	6.1	33/22 # 35	1.8	400	30	2	3
12	Dummy	-	15.0	690	12.5	420	12.2	450	9.8	-	-	-	121/102 # 37	6.7	70/61 # 34	4.6	-	-	-	-
	Piglet	12	16.8	800	6.1	1180	6.1	1780	7.3	870	2.4	*	127/97 # 33	7.6	60/53 # 38	3.7	570	30	3	3
13	Dummy	-	15.0	Low	Low	70	3.4	Low	Low	Low	Low	-	20/18 # 54	6.1	9/8 # 55	6.1	-	-	-	-
	Piglet	12	16.8	180	1.8	110	0.6	250	1.5	350	2.7	0	21/19 # 24	4.9	44/42 # 75	4.6	200	25	2	0
14	Dummy	-	15.0	550	11.6	610	11.9	610	11.6	-	-	-	95/88 # 36	8.5	65/58 # 33	5.2	-	-	-	-
	Piglet	12	14.3	970	8.5	2170	4.9	1800	7.9	2860	9.8	*	111/82 # 30	6.1	73/59 # 36	4.6	500	50	3	2
15	Dummy	-	15.0	120	3.0	50	1.5	20	1.2	-	-	-	52/49 # 34	4.0	16/15 # 24	1.2	-	-	-	-
	Piglet	12	15.0	830	2.4	130	1.8	60	1.5	80	2.1	0	38/32 # 29	2.4	22/20 # 53	2.4	105,	10	3	2
																	250	30		

\* Piglet died minutes after impact

TABLE 1 ACCELEROMETER DATA

Phase	Seat Acceleration				Head Acceleration			
	Peak	Onset	Duration	Velocity Change	Linear		Angular	
	G	G/sec	ms	ms <sup>-1</sup>	G	G	rads/sec <sup>2</sup>	
1	5.3	148	383	8.3	4.4	7.7	254	193
2	10.6	475	86	8.1	20.9	14.8	279	213
3	12.5	475	71	6.0	24.8	24.9	385	275

Table 2

Specimen No.	Age (Yrs.)	Sex	Failure Torque (Nm)	Rotation to Failure (Degrees)	Failure Energy (Nm)	Failure Time (Millisec.)
1	76	F	90.8	11.0	8.7	4.8
2	64	F	85.1	7.5	5.5	4.2
3	69	M	155.2	9.1	12.3	5.7
4	64	F	84.3	7.6	5.6	4.0
5	46	F	105.9	10.0	9.2	4.5
6	49	M	110.7	8.0	7.7	4.8
7	84	M	212.8	24.0	44.6	-
8	55	F	141.9	28.0	12.3	6.5
9	65	M	96.9	6.0	5.0	3.0
10	73	F	99.3	13.8	11.9	5.2
11	50	F	98.7	8.8	7.6	5.0
12	86	M	131.3	4.0	4.5	4.3
13	76	F	135.0	19.0	22.4	11.4
14	70	M	98.7	6.3	5.4	3.5
15	54	F	120.3	11.0	11.5	3.5
16	33	M	197.6	14.0	23.7	9.5
17	72	M	118.0	9.2	9.5	9.3
18	52	F	204.6	20.5	36.6	12.0
19	56	F	143.6	16.8	20.9	9.0
20	61	M	185.5	13.3	21.4	8.3
21	33	M	138.2	8.6	10.4	4.0
22	48	F	46.8	5.5	2.2	4.3
23	47	F	161.6	17.5	24.7	10.0
24	58	F	56.9	7.8	3.9	2.5
25	44	M	190.7	9.5	15.7	4.5
26	60	F	158.9	32.0	44.3	20.7
27	68	M	100.6	7.4	6.4	3.5
28	62	F	139.0	15.6	18.9	5.5
29	54	F	69.8	9.2	5.6	4.0
30	24	M	201.1	16.0	28.0	10.5
31	75	F	130.5	10.0	31.3	6.5
32	68	M	227.0	27.5	54.4	-
33	49	F	174.2	14.5	22.0	8.0
34	42	M	169.7	13.9	20.6	6.5
35	61	M	141.9	25.5	30.9	-
I	-	-	137.2	8.0	10.3	6.2
Averages:		M	154.7	12.6	18.8	5.95
		F	118.3	14.0	16.0	6.5
Overall			136.5	13.3	17.4	6.2

TABLE 1

DYNAMIC AXIAL TENSION STUDIES IN ISOLATED MONKEY CERVICAL COLUMNS AND SPINAL CORDS

ANIMAL #	WT. (kg)	RUN #	PREPARATION MOUNTING IN METHYLMETHACRYLATE	MACHINE LOADING RATE	LOCATION OF TISSUE FAILURE	MAX LOAD AT FAILURE		POTENTIOMETER DISPLACEMENT AT FAILURE		MACHINE DISPLACEMENT AT FAILURE		AXIAL ACCELERATION (G)
						N	lb.	cm	in	cm	in	
# 792 Died 24 hours before test	9.9	1	Skull to (T1-T2)	170 cm/sec	Endplate C7-T1	1423	320	1.1	0.42			62
		2	Skull to (C6-C7)	152 cm/sec	Endplate C2-C3	580	130	1.8	0.7			55
		3	Cervical spinal cord (3.8 cm long) clamped in jaws	132 cm/sec	Midpoint	90	20			0.61	0.24	-
# 793 Died 2 hours before test	6.7	1	Skull to (T1-T2)	130 cm/sec	Endplate C7-T1	1289	290	1.1	0.42			58
		2	Skull to (C6-C7)	142 cm/sec	Endplate C5-C6	580	130	0.89	0.35			50
		3	Skull to (C3-C4)	152 cm/sec	Endplate C1-C2	1068	240	0.53	0.21			55
		4	Cervical spinal cord (4.2 cm long) clamped in jaws	9.2 cm/sec	Midpoint	36	8			0.61	0.24	-

TABLE 2  
STATIC AXIAL TENSION IN VIVO MONKEY STUDIES

ANIMAL	WT KG	RESTRAINT*	LOCATION OF TISSUE FAILURE	MAXIMUM LOAD		CERVICAL COLUMN DISPLACEMENT (X-RAY) (MAXIMUM)	
				N	LB	CM	IN
#700	12.7	Belts	Complete C3-C4 disruption	1112	250	0.95	0.37
#731	11.5	Belts	Vertebral & carotid artery	888	200	-	-
#788	11.2	Belts	Slight blood atlanto occipital membrane	888	200	-	-
#787	10.1	Belts	None	888	200	2.0	0.79

\*All heads fixed in Methylmethacrylate.

TABLE 3

Cervical distraction between vertebral bodies (cm) from serial lateral x-rays. (Figs. 7-10) Animal #787

LOAD N	O-C1	C1-C2	C2-C3	C3-C4	C4-C5	C5-C6	C6-C7	
0	0	1.0	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1	
222	0.1	1.2	1.4	1.2	1.1	1.2	1.15	0.4
444	0.2	1.3	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	0.8
555	0.3	1.5	1.5	1.3	1.2	1.2	1.3	1.4
666	0.3	1.5	1.5	1.3	1.25	1.2	1.3	1.4
777	0.4	1.6	1.5	1.3	1.3	1.25	1.3	1.6
888	0.4	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	2.0



TABLE 4

DYNAMIC AXIAL TENSION STUDIES IN THE INTACT MONKEY WITH BELT RESTRAINTS (#786, #789, #790)

ANIMAL	WT KG	RESTRAINT*	RATE OF LOADING cm/sec	LOCATION OF TISSUE FAILURE	MAXIMUM LOAD		LINEAR PCT DISPLACE- MENT AT MAXIMUM LOAD		MAXIMUM ACCEL. AXIAL Gs
					N	LB	cm	in	
#786 Died 10 minutes prior to run	9.3	Belts	105	C1-C2, carotid, vertebral arter- ies	2668	600	1.76	0.69	-
#789 Living	11.1	Belts	110	Cap failed	1780	400	1.57	0.62	-
		Belts	110	Minimal damage at C1-C2	1770	397	2.13	0.84	-
#790 Died 20 minutes prior to run	11.2	Belts	100	C3-C4	2658	600	2.08	0.82	65
#795 Living	13.2	Yoke	100	Occiput-C1	2558	575	1.60	0.63	63
#794 Living	11.3	Yoke	100 Stroke increased increments in 1/2 cm	C3-C4 anterior and posterior long ligaments & artial disc at C3-C4.	1690	380	1.25	0.43	-
#795 Living	12.1	Yoke	100 stroke increased increments in 1/2 cm	Post and lateral ligaments at C3-C4, vertebral artery and basilar artery	2609	600	1.7	0.67	-

\*All heads fixed in methylmethacrylate

TABLE 5  
IN VITRO HUMAN AXIAL TENSION STUDIES ON ISOLATED  
CERVICAL SPINAL COLUMNS AND CERVICAL SPINAL CORDS

Specimen	Weight (kg)	Age (yr)	Run #	Preparation Mounting	Rate of Loading	Location of Failure	Max Load at failure Newtons (lbs)	Machine Deflection at Failure cm (inches)
#S1 Cardiac Failure	77.1	50	1	Methylmethacrylate Isolated column C7, occiput	0.12 cm/min	C5-C6	1446 (325)	1.14 (0.450)
			2	C3-occiput	0.13 cm/min	C1-C2	1312 (295)	1.10 (0.44)
#S2 Senal Failure	52.2	36	1	Methylmethacrylate Isolated column C7 and skull	0.13 cm/min	Circular skull fracture	1779 (400)	2.67 (1.05)
			2	C7 and C1 with (C4-C5 post-ablation)	0.13 cm/min	C4-C5	1289 (290)	1.59 (0.625)
			3	C4 and C1 with (C2-C3 ant. ablation)	0.13 cm/min	C2-C3	622 (140)	0.88 (0.345)
#S3 Respiratory Failure	70	61	1	Methylmethacrylate Isolated column T1-T2 occiput	0.13 cm/min	C6-C7	1940 (435)	3.0 (1.18)
			2	C5-occiput	100 cm/sec	None	2688 (600)	
#S4 Smoke Inhalation	67	57	1	Whole torso Yoke on shoulders	125 cm/s	Circular skull fracture	3780 (850)	2.03 (0.8)
#S5 Stroke Death	72.5	65	1	Clamped in jaws Isolated cerv. spinal cord (7.6 cm cord-free)	106 cm/s	Midpoint	278 (62.5)	0.76 (0.3)
#S6 Hepatic Failure	56.7	63	1	Clamped in jaws Isolated cerv. spinal cord (3.8 cm cord-free)	118 cm/s	Midpoint	389.2 (87.5)	1.0 (0.40)
#S7	58.9	76	1	Clamped in jaws Isolated cerv. spinal cord (3.8 cm cord-free)	1.6 cm/s	Midpoint	167 (37.5)	0.89 (0.35)

TABLE II: LIGHT MICROSCOPY STUDIES

ANIMAL # (wt)	FAILURE LOAD (N)	AUTOPSY FINDINGS	MAXIMUM CERVICAL DISTRACTION (cm)
777	890	Vertebral artery disruption, Articular capsular ligament avulsion, Posterior longitudinal ligament split C1-C3, Intradural hematoma C5-C6	0.5
778	1550	Blood at C1 disruption of ligamentum flavum at C1-C2, Blood at C4-C7	0.3
734	1112	Total segmental disruption of liga- ments and disk endplate at C3-C4	Disruption of C3-C4
758	667	No gross disruptions	0.8
796*	445	No gross disruptions	1.0

\*Pelvic restraint system

TABLE 1

DATA - ALL FRESH RUNS

SPECIMEN	RUN #	NATURE OF PREP.	LOCATION OF FAILURE	% ELONGATION AT FAILURE	FAILURE LOAD		ENERGY ABSORPTION	
					(N)	(LBS)	J	(FT LB)
1 (9.5 kg)	1	(T3)-Base	T1-C7	12.6	325	(73)	2.0	(1.42)
	2	(C7C6)-Base	C4-C5	12.4	347	(78)	2.04	(1.49)
2 (12.5 kg)	1	(T2T1)-Base	C6-C7	24	534	(120)	3.7	(2.75)
	2	(C6C5)-Base	C4-C5	22	401	(90)	1.17	(0.85)
3 (15.75 kg)	1	(C4C3)-Base	C2-C1	40	525	(118)	2.6	(1.47)
	3	(T2T1)-Base	C4-C5	40	358	(80)	2.54	(1.89)
	2	(C4-C3)-Base Ant. Lig. Transected at C3C2 Level	C2-C3	42.5	167	(37.5)	0.59	(0.43)
	3	(C2C1)-Base	C1-Base	86	618	(139)	2.37	(1.75)
4 (6.05 kg)	4	(T1C7)-(C6C5) Post. Lig. Transected at C6-C7 Level	C6-C7	38	195	(43.7)	0.46	(0.34)
	1	(T2T1)-Base	C3-C4	28	489	(110)	2.7	(2.0)
	2	C3-Base	C2-C3	41	423	(95)	1.93	(1.42)
	3	(C2C1)-Base	C1-Base	152	534	(120)	2.5	(1.87)
4	(T2T1)-(C4C5) Ant. Lig. Transected at C5-C6 Level	C5-C6	32	160	(36)	0.96	(0.72)	

NOTE: Runs Monkey 1 & 2 run mounted Base - up.  
Runs Monkey 3 & 4 run mounted Base - down.

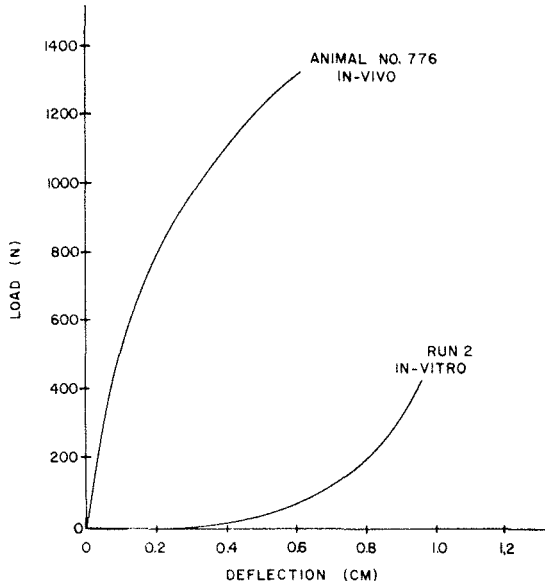


Fig. 15 - Load deflection curves for in vivo and in vitro experiments from base of skull to C-5, specimen 2, run 2 (Table 1)

a) Grenzgeschwindigkeit bei 16 g und 5 kN

Alter (Jahre)	20	30	40	50	60
Koll.- Geschw. (km/h)	>60	60	<30	<30	<30

b) Grenzverzögerung bei 45 km/h und 5 kN

Alter (Jahre)	20	30	40	50	60
Schlittenverz. (g)	25	18	<10	<10	<10

c) Grenzgurtkraft bei 14 g und 49 km/h

Alter (Jahre)	20	30	40	50	60
Schultergurtkraft (kN)	>8	>8	>8	6	<2

Tab. 4 : Mechanische Belastbarkeitsgrenzen bei verschiedenen Altersstufen bezogen auf OASIS 3

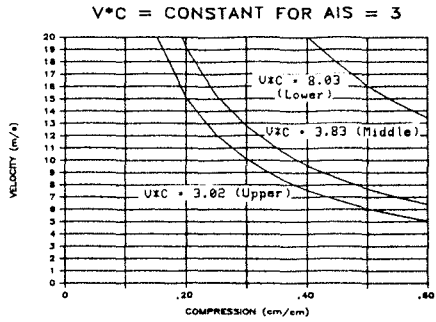


Fig 10 - Frontal abdominal impacts

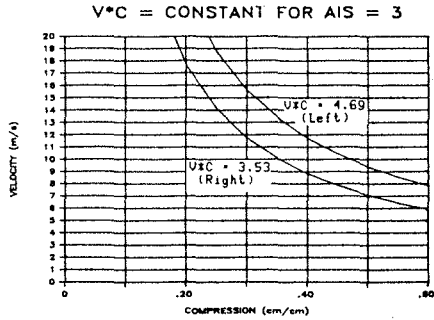


Fig 11 - Lateral abdominal impacts

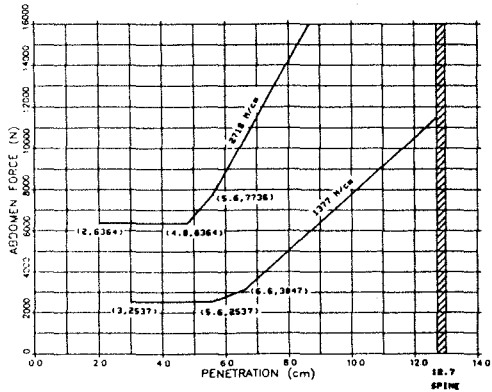


Fig 12 - Human abdominal impact response corridor for 10 m/s

TABLE 1 TEST SUBJECT DATA

TEST NUMBER	CADAVER NUMBER	HEIGHT in (cm)	WEIGHT lbs (kg)	AGE yrs.	SEX
VRIC-1	L00*	66 (168)	149 (55.6)	90	M
VRIC-2	L00	L00	133 (49.6)	57	M
VRIC-3	L00	69.5 (177)	178 (66.4)	51	M
VRIC-4	L00	L00	128 (47.8)	85	F
VRIC-5	L00	L00	184 (68.7)	77	M
MYMA-2- MYMA-4	20033	L00	L00	62	M
74A006- 74A009	20089	64 (163)	237 (88.5)	55	M
75A033- 75A036	20122	64 (163)	150 (56.0)	45	F
75A037- 75A041	20117	70 (178)	106 (39.6)	66	M
75A055- 75A059	20166	65 (165)	155 (57.9)	67	F
75A060- 75A064	20185	70 (178)	135 (50.4)	46	M
75A065- 75A066	20208	L00	L00	49	M
75A067- 75A070	20218	67 (170)	118 (44.0)	60	M
75A071- 75A072	20219	L00	116 (43.3)	74	F
75A073- 75A074	20225	70 (178)	198 (73.9)	57	M
75A075- 75A078	20229	68.4 (174)	188 (70.2)	68	M
75A097- 75A098	20272	65.2 (166)	81 (30.2)	69	F
75A099- 75A100	20282	67.6 (172)	168 (62.7)	64	M
75A101- 75A102	20291	64.3 (163)	177 (66.1)	72	M
75A103- 75A104	20289	64.4 (164)	125 (46.7)	55	F
75A113- 75A115	20332	70.5 (179)	183 (68.3)	54	M
75A116- 75A120	20333	60 (152)	97 (36.2)	66	F
76A121- 76A124	20375	L00	L00	53	M
76A126- 76A132	20401	71 (180)	179 (66.8)	65	M
76A133	20404	69 (175)	180 (67.2)	54	M
76A134	20407	67 (170)	104 (38.8)	72	F
76A135	20413	53 (135)	140 (52.3)	58	F
76A136	20418	67.2 (170.6)	198 (73.9)	88	M
76A137- 76A143	20429	60.3 (153)	48 (21.9)	89	F
76A144	20447	66.3 (168.3)	166 (61.9)	45	M
76A145- 76A151	20459	62.8 (159.5)	177 (65.9)	78	F
76A152- 76A158	20460	63.1 (160)	L00	66	F
76A159	20468	69.5 (177)	108 (40.3)	41	M
76A160- 76A166	20474	59 (150)	107 (39.9)	76	F

\*LOSS OF DATA





TABLE 2 CADAVER AXIAL KNEE IMPACT DAT.

TEST NUMBER	LEG	IMPACTOR VELOCITY ft/sec (m/sec)	PEAK FORCE lb (N)	INITIAL FORCE DURATION msec	ENERGY ft-lb (Joules)	MOMENTUM slug-ft/sec (kg·m/sec)	COMMENTS
Y-1L	L	22.6 ( 6.9)	2300 (10231)	8.5	365 ( 494)	32.3 (143.7)	No fracture. One inch Ensolite.
Y-1R	R	23.3 ( 3.1)	2700 (12010)	9.0	388 ( 526)	33.3 (148.1)	No fracture. One inch Ensolite.
Y-2	L	20.7 ( 6.3)	4000 (17792)	9.5	306 ( 415)	29.6 (131.7)	No fracture. One inch Ensolite.
Y-3L	L	21.9 ( 6.7)	3376 (15017)	14	344 ( 466)	31.3 (139.2)	No fracture. One inch Ensolite.
Y-3R	R	35.8 (10.9)	4961 (22068)	11	917 (1243)	51.2 (227.7)	No fracture. One inch Ensolite.
Y-4	R	38.1 (11.6)	4400 (19572)	8	1037 (1406)	54.44(242.2)	Fracture. One inch Ensolite.
Y-5	R	34.2 (10.4)	5500 (24465)	10	834 (1131)	48.87(217.4)	No Fracture. One inch Ensolite.
M-2	R	L00*	860 ( 3825)	18	L00	L00	No Fracture. One inch Ensolite.
M-3	R	30.0 ( 9.1)	3800 (16903)	14	638 ( 865)	42.5 (189.0)	No Fracture. One inch Ensolite.
M-4	R	38.1 (11.5)	4050 (18015)	8	1031 (1398)	54.1 (240.6)	Fracture. One inch Ensolite.
74A006	R	12.4 ( 3.8)	600 ( 2669)	22	111 ( 150)	17.7 ( 78.7)	No Fracture. One inch Ensolite.
74A007	R	31.8 ( 9.7)	3540 (15747)	11	718 ( 973)	45.2 (201.1)	No Fracture. One inch Ensolite.
74A008	L	24.6 ( 7.5)	2980 (13256)	14	431 ( 584)	35.0 (155.7)	No Fracture. One inch Ensolite.
74A009	L	37.7 (11.5)	5510 (24510)	11	1012 (1372)	53.7 (238.4)	No Fracture. One inch Ensolite.
75A033	R	24.5 ( 7.5)	1480 ( 6583)	9.4	428 ( 580)	34.9 (155.2)	No Fracture. One inch Ensolite.
75A034	R	43.4 (13.2)	3500 (15569)	15.9	1341 (1818)	61.8 (274.9)	Right femur fractured at the neck at knee end. Patella uninjured. One inch Ensolite.
75A069	L	31.8 ( 9.7)	1690 ( 7517)	10.0	720 ( 976)	45.3 (201.5)	Femur fractured at target bolt hole. 1" Ensolite.
75A070	L	23.8 ( 7.3)	1600 ( 7117)	12.0	403 ( 546)	33.9 (150.8)	Femur fractured at target bolt hole. 1" Ensolite.
75A071	R	35.4 (10.8)	4050 (18015)	2.6	892 (1209)	50.4 (224.2)	Fracture of femur just above patella; patella split vertically in 2 places. Rigid impactor.
75A072	L	34.9 (10.6)	3300 (14678)	L00	867 (1175)	49.7 (221.1)	No fracture. One inch Ensolite.
75A073	L	33.7 (10.3)	3840 (17080)	6.6	806 (1093)	47.9 (213.1)	Left patella fractured into 5 pieces. Rigid impactor.
75A074	R	37.8 (11.5)	5330 (23708)	6.3	1014 (1375)	53.7 (238.9)	Right patella fractured into 4 pieces. Rigid impactor.
75A075	R	26.9 ( 8.2)	5100 (22685)	5.6	512 ( 694)	38.1 (169.5)	No fracture. Rigid impactor.
75A076	L	26.9 ( 8.2)	3640 (16192)	7.0	512 ( 694)	38.1 (169.5)	No fracture. Rigid impactor.
75A077	L	30.6 ( 9.3)	4720 (20995)	6.0	664 ( 900)	43.4 (193.1)	No fracture. Rigid impactor.
75A078	L	34.2 (10.4)	4410 (19616)	5.2	828 (1123)	48.5 (215.7)	Left patella bruised on front; grazed on rear; left femur broken into 3 pieces: 1 horizontal fracture intersecting with 1 vertical split. Rigid impactor.
75A097	L	31.5 ( 9.6)	L00	L00	705 ( 956)	44.7 (198.8)	Supra condular fractures of femur around patella. No patella fracture. 2" alum honeycomb plus 1" Ensolite.
75A098	R	29.9 ( 9.1)	L00	L00	635 ( 861)	42.5 (189.0)	No patella fracture. Supra condular fractures of femur around patella. No patella fracture. 2" alum honeycomb, plus 1" Ensolite.
75A099	R	38.8 (11.8)	4470 (19883)	8.2	1069 (1449)	55.1 (245.1)	Horizontal fracture of femur just above patella. 1" Ensolite. 20° back.
75A100	L	33.3 (10.1)	3050 (13566)	7.3	787 (1067)	47.3 (210.4)	1 horizontal and 1 vertical fracture of femur; broke into 3 pieces. 1" Ensolite. 20° back.

\*LOSS OF DATA



TABLE 2 CADAVER AXIAL KNEE IMPACT DATA (CONTINUED)

75A101	R	32.5 ( 9.9)	3520 (15657)	6.3	750 (1017)	46.2 (205.5)	No fracture. 2" Hexcel. 20" back
75A102	L	31.6 ( 9.6)	3080 (13700)	5.0	709 ( 961)	44.8 (199.3)	No fracture. 2" Hexcel and 1" Ensolite. 20" back.
75A103	R	40.5 (12.3)	2900 (12899)	10.7	1165 (1580)	44.9 (199.7)	No fracture. 1" Ensolite. 20" back.
75A104	L	40.1 (12.2)	2320 (10319)	10.7	1142 (1548)	57.0 (253.5)	Femur fractured across lower half. No patella injury. Fractured in bending. 2" Hexcel.
75A117	R	31.7 ( 9.7)	2600 (11565)	8.5	709 ( 961)	44.8 (199.3)	No fractures, but contusions & lacerations at point of impact. 1" Ensolite.
75A118	L	32.0 ( 9.8)	2400 (10675)	7.3	740 (1003)	45.3 (201.5)	No fractures, but contusions & lacerations at point of impact. 1"
75A122	L	37.0 (11.3)	5400 (24019)	8.5	965 (1308)	52.2 (232.2)	No fracture. 1" Ensolite.
75A123	R	55.6 (16.9)	6400 (28467)	5.3	1638 (2221)	58.9 (262.0)	Patella fractured into 6 pieces. Four fractures in femur. 1" Ensolite.
76A131	R	62.0 (18.9)	3600 (16013)	4.7	1026 (1391)	33.1 (147.2)	Patella fractured; "emulsified." 1" Ensolite.
76A132	L	58.8 (17.9)	L00	L00	923 (1251)	31.4 (139.7)	Patella fractured; "emulsified." 1" Ensolite.
76A142	R	76.0 (23.2)	L00	L00	1103 (1495)	29.0 (129.0)	Many fractures of condyles. 1" Ensolite.
76A143	L	65.8 (20.1)	1660 ( 7384)	4.0	827 (1121)	25.1 (111.7)	Many fractures of condyles. 1" Ensolite.
76A150	R	39.4 (12.0)	L00	L00	1067 (1447)	54.2 (241.1)	Fractured patella. 1" Ensolite.
76A151	L	46.0 (14.0)	3000 (13344)	7.4	1502 (2036)	65.3 (290.5)	Crushed patella. 5 fractures of femur area around patella. 1" Ensolite.
76A157	R	35.5 (10.8)	1800 (8006)	5.9	895 (1213)	50.4 (224.2)	Split patella. 1/2 inch Ensolite.
76A158	L	36.7 (11.2)	1740 (7740)	4.3	957 (1298)	52.1 (231.8)	Fractured patella. Femur fractured behind knee. 1/2 inch Ensolite.
76A163	R	45.6 (13.9)	1400 (6227)	5.3	1430 (1939)	62.7 (278.9)	Fractured patella. Fracture of rear quarter of femoral condyle. 1/2 inch Ensolite.
76A164	L	41.3 (12.6)	1540 (6850)	4.7	1173 (1590)	56.8 (252.7)	Fractured patella. Fracture of lower femur around patella. 1/2" Ensolite.

\*LOSS OF DATA

TABLE 3 ABDUCTED KNEE IMPACT DATA

TEST NUMBER	LEG	IMPACTOR VELOCITY ft/sec (m/sec)	PEAK FORCE lb (N)	PEAK FORCE AXIAL COMP. lb (N)	INITIAL FORCE DURATION msec	ENERGY ft-lb (Joules)	MOMENTUM slug-ft/sec (kg-m/sec)	COMMENTS	ABDUCTION ANGLE
75A035	L	25.0 ( 7.6)	1200 ( 5338)	1088 ( 4838)	13.0	445 ( 603)	17.8 ( 79.2)	No leg fracture. 1" Ensolite.	25°
75A036	L	48.8 (14.8)	3280 (14590)	2972 (13211)	13.1	1682 (2280)	34.6 (154.0)	No leg fracture. 1" Ensolite.	25°
75A037	L	18.7 ( 5.7)	720 ( 3203)	706 ( 3140)	13.7	249 ( 338)	13.3 ( 59.3)	No leg fracture. 1" Ensolite.	11°
75A038	L	45.8 (14.0)	1860 ( 8274)	1825 ( 8118)	10.9	1494 (2026)	32.6 (144.7)	Left patella fractured & left femur fractured & shattered at the knee end. Osteoporotic. One inch Ensolite.	11°
75A039	R	20.2 ( 6.2)	880 ( 3914)	864 ( 3843)	12.8	291 ( 395)	14.4 ( 63.7)	No leg fracture. 1" Ensolite.	11°
75A040	R	49.6 (15.1)	2400 (10676)	2356 (10480)	10.9	1752 (2375)	35.3 (157.3)	Right patella fractured & right femur fractured & shattered at the knee end. Osteoporotic. 1" Ensolite.	11°
75A058	L	32.4 ( 9.9)	4330 (19261)	4330 (19261)	35.0	750 (1017)	23.1 (102.7)	No fracture. 1" Ensolite.	25° (Axial)
75A059	R	34.7 (10.6)	3400 (15124)	3400 (15124)	18.0	858 (1163)	24.7 (109.7)	Right patella intact. Femur fractured. 1" Ensolite.	25° (Axial)
75A062	L	51.25 (15.6)	1250 ( 5560)	1250 ( 5560)	45.0	1873 (2539)	36.5 (162.8)	No fracture. 4" Starfoam. (Extra padding) 1" Ensolite	25° (Axial)
75A063	R	51.25 (15.6)	L00	L00	L00	1873 (2539)	36.5 (162.8)	No fracture. 4" Starfoam. (Extra padding) 1" Ensolite	25° (Axial)

TABLE 4 LOWER LEG IMPACT DATA

TEST NUMBER	LEG	DIRECTION	IMPACTOR VELOCITY ft/sec (m/sec)	PEAK FORCE lb (N)	INITIAL FORCE DURATION msec	ENERGY ft-lb (joules)	MOMENTUM slug-ft/sec (kg-m/sec)	COMMENTS
75A055	L	Front	36.4 (11.1)	5000(22241)	6.8	940 (1274)	51.7 (230.0)	No fracture. Rigid impactor.
75A056	R	Front	34.4 (10.5)	1660 (7384)	8.2	840 (1139)	48.8 (217.0)	No fracture. Rigid impactor.
75A057	L	Front	40.2 (12.3)	1800 (8006)	22.1	1148 (1556)	57.1 (254.0)	Fracture of tibia from 6 cm to 10 cm below knee. Rigid impactor.
75A060	R	Front	33.5 (10.2)	2200 (9786)	1.2	772 (1047)	46.1 (205.1)	Compound fracture of tibia 6" below knee, no foam.
75A061	L	Front	33.5 (10.2)	3000(13345)	5.8	772 (1047)	46.1 (205.1)	Fracture of tibia 5" from patella, no foam.
75A065	L	Front	32.6 (9.9)	1720 (7651)	13.6	731 (991)	44.8 (199.3)	No fracture. One inch Ensolite.
75A066	R	Front	32.3 (9.8)	2000 (8896)	10.0	717 (972)	44.4 (197.5)	No fracture. One inch Ensolite.
75A067	R	Front	43.4 (13.2)	2300 (10230)	5.5	1295 (1756)	59.7 (265.6)	Compound fracture of fibula & tibia. One inch Ensolite.
75A068	L	Front	42.3 (12.9)	1690 (7517)	L00	1230 (1668)	58.2 (258.9)	Compound fracture of tibia. 1" Ensolite
75A129	L	Outside	33.8 (10.3)	2900 (12899)	8	805 (1091)	47.6 (211.7)	No fracture. Rigid impactor.
75A130	R	Outside	37.5 (11.4)	L00	9	991 (1344)	52.8 (234.9)	Tibia fractured completely in 2 places. One fracture of fibula. Rigid impactor.
75A140	R	Outside	35.3 (10.8)	400 (1779)	4	878 (1190)	49.7 (221.1)	Tibia fractured once. Fibula fractured twice. Bumper type.
76A141	L	Outside	30.5 (9.3)	400 (1779)	4	656 (889)	43.0 (191.3)	Tibia fractured once. Fibula fractured once. Bumper type.
76A148	L	Outside	26.3 (8.0)	600 (2669)	13.2	476 (645)	36.2 (161.0)	No fracture. Bumper type.
76A149	R	Inside	33.5 (10.2)	600 (2669)	6.3	772 (1047)	46.1 (205.0)	No fracture. Bumper type.
76A155	L	Inside	32.5 (9.9)	900 (4003)	9.3	726 (984)	44.7 (198.8)	Three fractures of tibia. Bumper type.
76A156	R	Inside	30.8 (9.4)	800 (3559)	9.8	652 (884)	42.4 (188.6)	Dislocation. Bumper type.
76A161	L	Outside	35.5 (10.8)	500 (2224)	15.1	866 (1174)	48.8 (217.1)	Fractures at top front part of tibia. Bumper type.
76A162	R	Inside	27.4 (8.4)	650 (2891)	10.2	516 (700)	37.7 (167.7)	No fracture. Bumper type.



TEST NO.	SEX	AGE (yr)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	LENGTH (cm)	SKULL DIMENSIONS			CAUSE OF DEATH
						MAX. BREADTH (cm)	AVE. THICKNESS (cm)	MAX. CIRCUMFERENCE (cm)	
75A113	M	54	179	63.0	18.0	15.5	0.60	53.3	Pneumonia
75A116	F	66	152	44.0	15.7	14.0	0.50	46.4	Myocardial Infarction
76A126	M	65	180	61.2	18.8	15.2	0.57	57.2	Respiratory Failure
76A133	M	54	175	61.6	16.5	14.7	0.57	55.2	Strangulation
76A134	F	72	170	47.2	16.0	14.7	0.56	53.3	Pneumonia
76A135	F	58	160	63.5	15.0	13.5	0.77	55.2	Pneumonia
76A136	M	62	170	76.2	19.1	15.0	0.56	57.8	Sepsis
76A137	F	89	152	21.8	17.3	14.5	0.43	52.1	Myocardial Degeneration
76A144	M	45	168	75.3	18.5	14.0	0.60	56.3	Embolism
76A145	F	78	160	80.3	17.5	14.5	0.53	54.6	Lung Cancer
76A152	F	66	160	-	17.0	13.7	0.64	31.4	Acute Cardiac Arrest
76A159	M	41	177	49.0	18.2	14.7	0.64	61.5	Acute Pulmonary Edema
76A167	F	55	161	43.1	18.2	14.5	0.39	52.6	Renal Failure
76A169	F	75	169	76.2	18.5	14.5	0.65	54.6	Ventricular Fibrillation
76A171	M	57	168	75.7	17.5	14.2	0.52	-	Lung Cancer

TABLE 3. TEST SUMMARY

TEST NO.	PEAK FORCE (kN)	FORCE DURATION (msec)	IMPULSE (N-sec)	PEAK RESUL. LINEAR VEL. (m/sec)	PEAK RESUL. LINEAR ACC. (g's/m/sec <sup>2</sup> )	RESUL. LIN. ACC. RATE OF ONSET (k g/sec)	PEAK RESUL. ANG. VEL. (rad/sec)	PEAK RESUL. ANG. ACC. (k rad/sec <sup>2</sup> )	PEAK PRESSURE (kPa x 10 <sup>-3</sup> )	AIS NO
75A113	4.82	9.7	24.7	5.97	124.8/1251	31	21.2	5.00	--	4
75A116	4.65	9.1	21.4	7.08	178.8/1784	22	36.5	8.42	--	0
76A126	6.64	9.4	27.7	6.07	190.9/1900	24	15.0	9.57	--	4
76A133	7.70	8.4	24.1	5.92	209.1/2060	30	22.0	6.65	--	3
76A134	4.21	10.6	20.7	6.20	137.6/1371	26	32.6	6.65	--	2
76A135	4.38	10.9	23.2	6.56	141.4/1391	27	19.1	5.45	--	0
76A136	6.83	9.4	28.7	6.10	162.0/1588	16	23.3	7.89	--	3
76A137	5.36	9.1	22.5	8.83	229.9/2276	47	18.5	6.50	--	4
76A144	14.6	3.75	21.5	6.26	515.3/4816	516	19.8	14.62	--	2
76A145	9.59	6.87	22.3	6.82	532.0/5188	516	33.7	37.55	140	5
76A152	7.15	6.87	19.5	7.17	262.3/2538	266	38.1	22.81	70	5
76A159	13.0	9.4	38.6	6.30	237.3/2348	78	43.6	10.24	--	4
76A167	5.39	10.3	22.6	7.96	207.5/2076	26	38.4	8.93	29	0
76A169	9.61	2.19	11.7	6.35	359.8/3489	290	12.3	13.62	--	4
76A171	7.56	8.4	26.9	5.50	161.26/1620	37	25.8	8.62	52	4

TABLE 4. INJURY SCALING

Test No.	AIS
75A113	0
1. No external damage	0
2. Hemorrhaging in the arachnoid-left frontal lobe	4
3. Highly localized hemorrhages on left and right mid-parietal lobes	3
OVERALL	4
76A116	0
1. No external damage	0
2. No visible brain injury	0
OVERALL	0
76A126	1
1. Contusion on forehead 5 cm long	1
2. Highly localized subarachnoid hemorrhage - right front temporal lobe	3
3. Highly localized hemorrhage - right frontal lobe	3
4. Highly localized subarachnoid hemorrhage - mid-right parietal lobe	3
OVERALL	4
76A133	0
1. No external damage	0
2. Focussed hemorrhage - right occipital lobe (contre-coup)	3
OVERALL	3
76A134	0
1. No external damage	0
2. Diffuse subarachnoid hemorrhage - left, mid-right parietal lobe	2
OVERALL	2
76A135	0
1. No external damage	0
2. No visible brain injuries	0
OVERALL	0
76A136	0
1. No external damage	0
2. Epidural hemorrhage - midsagittal plane	2
3. Highly localized hemorrhage - mid-left parietal lobe	3
OVERALL	3
76A137	0
1. No external damage	0
2. Subarachnoid hemorrhage - right and left posterior parietal lobes	3
3. Highly localized hemorrhage - right temporal, parietal and cerebellum	4
OVERALL	4

TABLE 4. INJURY SCALING (Continued)

Test No.	AIS
76A144	2
1. Deep forehead laceration	2
2. No visible brain injury	0
OVERALL	2
76A145	2
1. Blood from external acoustic meatus, squamosa fracture	2
2. Comminuted fracture of temporal bone into ear canal	3
3. Highly localized hemorrhage - right frontal lobe	3
4. Diffuse subdural hemorrhage - left anterior tip of temporal lobe	4
5. Highly localized hemorrhage - cerebellum	4
OVERALL	5
76A152	2
1. Blood from external acoustic meatus, squamosa fracture	2
2. Compound fracture of temporal bone	3
3. Simple fracture of left side of occipital bone	3
4. Diffuse subarachnoid hemorrhage over entire brain	3
OVERALL	5
76A159	0
1. No external damage	0
2. Highly localized hemorrhage - right and left frontal lobes	4
3. Diffuse subarachnoid hemorrhage over entire brain	3
OVERALL	4
76A167	0
1. No external damage	0
2. No visible brain injury	0
OVERALL	0
76A169	0
1. No external damage	0
2. Simple fracture of occipital bone	3
3. Highly localized hemorrhage - right frontal lobe	3
4. Diffuse subarachnoid hemorrhage over right side of brain	3
OVERALL	4
76A171	1
1. Bruise on forehead	1
2. Subdural hemorrhage - left frontal lobe	4
3. Subdural hemorrhage - left or occipital lobe brain tumor just under the lesion	4
OVERALL	4

Case Test	Passenger Car	Vehicle Impact Speed [ m/s ]	Braking Deceler. at Imp. [ m/s <sup>2</sup> ]	Body Stat [m]	Ped Imp Dir [Clock]	Pedestr Impact Speed [m/s]	Position of lower Extrem.
1	Opel Kadett B	8.4-10.0	7.3-8.9	1.29	8	slow run	RL f LL
1.1		9.2	7.8	1.21	8	standing	"
1.2		8.4	7.3	1.21	8	"	"
1.3		8.5	7.2	1.21	8	"	"
2	Opel Kadett B	8.2-10.9	5.0-6.0	1.25	9	running	unknown
2.1		10.1	6.6	1.21	9	standing	LL f RL
2.2		10.2	6.6	1.21	9	"	"
3	Renault R 4	11.3-12.5	7.1-8.0	1.10	3	running	RL f LL
3.1		11.8	6.3	1.21	3	standing	"
3.2		11.8	5.9	1.21	3	"	"
3.3		12.4	5.8	1.21	3	"	"
4	Renault R 4	7.8- 9.6	7.1-8.7	1.33	9	running	RL f LL
4.1		9.1	6.6	1.21	9	standing	"
4.2		9.0	6.9	1.21	9	"	"
5	Opel Rekord C	7.5-10.0	5.0-6.5	1.21	9	running	RL f LL
5.1		9.3	7.6	1.21	9	standing	"
5.2		7.7	6.6	1.21	9	"	"
6	Opel Rekord C	10.1-11.0	7.1-8.0	1.20	3	slow run	LL f RL
6.1		10.7	7.4	1.21	3	standing	"
6.2		11.0	7.1	1.21	3	"	"
6.3		11.3	7.1	1.21	3	"	"
7	Renault R 16	7.6- 8.7	7.1-8.7	1.18	3	running	LL f RL
7.1		9.4	8.1	1.21	3	standing	"
7.2		8.7	8.1	1.21	3	"	"
8	VW K 70	11.8-13.0	7.3-8.9	1.12	10	slow run	RL f LL
8.1		12.2	7.4	1.21	10	standing	"
8.2		11.8	7.5	1.21	10	"	"
8.3		12.7	7.4	1.21	10	"	"
9	VW K 70	13.4-15.4	7.3-8.9	1.12	3	running	RL r LL
9.1		12.7	7.7	1.21	3	standing	"
9.2		13.0	7.5	1.21	3	"	"
9.3		13.1	7.3	1.21	3	"	"
10	Opel Kadett A	11.2-12.4	7.1-8.0	1.28	9	running	RL f LL
10.1		11.9	8.3	1.21	9	standing	"
10.2		11.8	7.9	1.21	9	"	"

Fig. 2 - Accidental data of the real child pedestrian accidents as well as of the carried out repetition tests

Case Test	Primary Head Injury	Head Imp. Dir. [Clock]	<sup>a</sup> Kr Peak 3ms [g]	<sup>a</sup> Kr 3ms [g]	<sup>a</sup> Kei [g]	t <sub>i</sub> [ms]	<sup>a</sup> Kev [g]	t <sub>v</sub> [ms]	SI	HIC	Vehicle Damage b Head Imp Dept [cm]
1	Scull Brain Trauma	7/8									1.0med.
1.1	laceration left	7	147	67	50	13	17	75	530	345	0.3med.
1.2	Fractial, Scull Cal.	7	136	73	48	15	24	77	640	339	0.3med.
1.3	Fract. left paret.	7	104	78	58	12	28	64	610	365	1.0med.
	av AIS 3		129	73					593	350	
2	Scull Brain Trauma	9									2.5soft
2.1	Subdural Haematoma	9	66	57	52	17	38	67	840	683	2.0soft
2.2	Scull Frac. le. pare.	9/10	233	102	70	18	52	56	2260	1283	2.5soft
	av AIS 5		150	80					1530	974	
3	Scull Brain Trauma	6									3.0soft
3.1	Bruise on Scull	5	112	68	58	17	41	55	1020	764	3.3soft
3.2	occipital	5	69	59	46	19	38	55	720	613	2.6soft
3.3	"	5	105	73	41	24	39	62	1050	747	3.5soft
	av AIS 2		95	67					930	708	
4	Scull Brain Trauma	12									0.5soft
4.1	Bruise with lacerat	1	50	41	27	18	20	73	220	164	1.0soft
4.2	on Forehead	12/1	45	33	22	21	19	70	180	147	0.9soft
	av AIS 2		48	37					200	156	
5	Scull Brain Trauma	9/10									0.2med.
5.1	Bruise left lateral	9	223	121	73	17	36	70	2330	1881	0.3med.
5.2	"	9	182	126	59	18	31	72	1470	1134	0.3med.
	av AIS 2		203	124					1900	1508	
6	Scull Brain Trau	2/3									0.5soft
6.1	Subdural Haematoma	1	141	98	65	13	40	57	1170	650	0.4soft
6.2	Bruise with lacerat	1	156	121	77	13	49	54	1710	1023	0.5soft
6.3	on Forehead	1	154	102	77	16	57	51	2050	1520	0.5soft
	av AIS 5		150	107					1643	1067	
7	Scull Brain Trauma	11									0.8soft
7.1	Abraison on Fore-	11/12	194	140	56	18	31	76	1770	1380	0.5soft
7.2	head	12	138	84	45	18	24	86	780	449	0.2soft
	av AIS 2		166	112					1275	914	
8	Scull Brain Trauma	11									1.0med.
8.1	Bruise on Forehead	11	108	76	73	15	46	70	1590	1131	0.3med.
8.2	Lost of one Incisor	11	141	120	64	15	51	51	1660	1023	0.3med.
8.3	"	11	204	137	87	14	65	52	3140	2191	0.7hard
	av AIS 2		151	111					2130	1448	
9	Scull Brain Trauma	5/6									0.5soft
9.1	Bruise on Scull	5/6	218	98	94	12	55	56	2780	1552	0.9soft
9.2	occipital	5/6	283	103	96	12	60	55	3690	1826	0.8soft
9.3	"	5	330	186	133	11	67	58	3304	1103	1.1med.
	av AIS 2		177	129					4267	2493	
10	Scull Brain Trauma	12/1									0.7soft
10.1	Laceration on For-	10	124	77	54	18	39	57	1120	622	1.3soft
10.2	head	10/1	1146	84	51	15	33	52	970	572	1.0soft
	av AIS 2		135	81					1045	597	

<sup>a</sup>Kei effective resultant head acceleration by direct contact

<sup>a</sup>Kev effective resultant head acceleration by the whole veh. impact

t<sub>i</sub> , t<sub>v</sub> puls time durations

Fig. 3 - Comparison of test results with data of the real child pedestrian accidents regarding the head reg:

Table 2. Thoracic results of subjects drop tests.

Test N°	Drop height (m)	Configuration	Acceleration (g)			Force (daN)		Deflection				Padding deformation (mm)	Injuries	
			$\gamma_R$ max.	$\gamma_R$ 3 ms	S.I.	Measured	Normalized	$\frac{1}{2}$ thorax $\delta$ mm	Thorax $\delta$ %	$\frac{1}{2}$ thorax $\delta$ mm	Thorax $\delta$ %		N. of rib fractures	AIS
1* — Subjects with deflection measurement														
104	1	Aa	62	55	187	590	690	52	38	81	30		14	4
105	1	Aa	56	50	189	700	870	66	48	86	32		13	3
109	1	Ab	34	29	62	—	—	36	26	48	17.5		15	4
111	1	Ab	47	43	126	460	580	30	22	42	15		5	3
155	1	Ab	48	40	110	700	740	17	12	29	10		0	0
156	1	Ab	73	55	276	—	—	30	22	50	18.5		1	1
118	0.5	Bb	34	29	45	550	730	18	12	26	11		0	0
119	0.5	Bb	27	26	33	240	360	43	34	44	18		0	0
120	2	Cb	40	32	100	890	930	79	52	104	35		13	3
121	2	Cb	42	37	114	1,020	1,020	44	28	66	20	67	4	3
122	2	Cb	44	40	147	560	760	28	22	44	17	59	0	0
128	2	Db	68	60	280	810	1,061	56	40	90	32	17	8	3
129	2	Db	83	65	371	680	970	27	18	70	25	32	6	3
130	2	Db	62	50	210	840	954	38	30	70	26	20	4	3
131	2	Db	62	50	120	740	1,040	27	18	62	21	27	8	3
132	2	Db	74	50	300	950	1,356	40	30	75	28	27	7	3
133	2	Db	64	55	200	1,000	1,147	—	—	—	—	—	17	4
2* — Subjects without deflection measurement														
92	2	Fa	69	59	324	1,090	—	—	—	—	—	—	18	4
100	2	Fb	54	51	209	630	770	—	—	—	—	—	12	4
101	2	Fb	42	38	131	800	1,020	—	—	—	—	—	20	5
88	3	Fb	84	65	436	950	—	—	—	—	—	—	18	4
95	3	Fa	83	74	410	1,240	—	—	—	—	—	—	12	4
96	3	Fa	128	90	688	1,160	—	—	—	—	—	—	21	4
102	3	Eb	82	60	345	870	1,100	—	—	—	—	—	23	5
107	3	Eb	75	70	392	640	940	—	—	—	—	—	15	4
108	3	Eb	70	62	335	840	1,100	—	—	—	—	—	25	5

Table 3. Pelvic results of subjects' drop tests (test configurations are illustrated in Tables 2, 3 and 4).

Test No	Drop Height (m)	Configuration	Age	Sex	Impacted Side	Weight (kg)	Accelerations (g)		AIS	Injuries
							$\gamma_R$ Max.	$\gamma_R$ 3ms		
104	1	Aa	70	M	R	59	55	40	0	
105	1	Aa	47	M	R	54	153	66	0	
109	1	Ab	68	F	R	49	90	70	3	F, little displacement, R ischio and ilio-pubic branches
111	1	Ab	52	M	R	53	89	47	0	
155	1	Ab	32	M	L	69	75	57	0	
156	1	Ab	25	F	L	57	69	55	0	
118	0.5	Bb	46	M	L	49	82	33	0	
119	0.5	Bb	52	M	L	41	34	30	0	
92	2	Fa	69	F	L	-	82	50	2	F, R + L ischio and ilio-pubic branches
100	2	Fb	34	M	R	56	44	38	0	
101	2	Fb	41	M	R	52	110	77	0	
88	3	Fb	71	F	L	-	65	60	0	
95	3	Fa	55	M	L	-	120	105	3	F, little displacement L ischi pubic branch
96	3	Fa	53	M	L	-	135	90	0	
102	3	Eb	69	M	R	53	62	57	3	F, R ilio-pubic branch, F, R iliac wing, F, + displacement R, cotyle, F, ischio and ilio-pubic branches
107	3	Eb	55	F	R	42	77	66	2	
108	3	Eb	64	M	R	50	74	53	0	
120	2	Cb	51	M	L	70	37	30	0	
121	2	Cb	57	M	L	75	32	31	0	
122	2	Cb	42	F	L	45	34	34	0	
128	2	D <sub>0</sub>	47	M	L	50	48	40	0	
129	2	Db	57	M	L	44	48	34	0	
130	2	Db	45	F	L	62	-	-	0	
131	2	Db	47	M	L	45	50	45	0	
132	2	Db	38	M	L	44	60	47	0	
133	2	Db	67	M	L	61	84	74	0	

F = Fracture, R = Right, L = Left

TEST N°	SEX	BODY WIGHT (kg)	SLED VEL. (m/s)	SLED ACCEL. (m/s <sup>2</sup> )	WEIGHT X VELOC. (kg.m/s)		ACCELERATION (m/s <sup>2</sup> )		SEVERITY INDEX		MAX. BELT LOAD (Newton)			AORT. PRESS. (mmHg)	DEFLEXION ABSO. (cm)	DEFLEXION INT. (%)	DEFL. SPEED (m/s)
					STER.	SPINE	STER.	SPINE	STER.	SPINE	UPP.	LOW.	AVER.				
<b>LIVING</b>																	
8	F	45.8	12.38	- 290	567	-	-	-	-	-	4470	4730	4600	-	-	-	-
9	F	45.2	12.16	- 290	550	464	446	1381	471	488	6470	5460	5965	8836	441	16.50	97.6
12a	F	49.4	13.55	- 290	669	421	-	488	-	-	5340	5460	5400	-	360	-	-
14b	F	63.5	11.05	- 270	702	395	315	285	229	229	5730	5160	5445	-	338	-	-
16	M	52.0	11.36	- 240	591	-	335	-	213	213	5330	5620	5475	8836	-	13.61	71.6
18c	F	34.0	12.30	- 240	418	345	331	339	198	198	4340	4380	4360	6078	140	10.95	75.6
20	F	43.5	14.27	- 290	621	-	434	-	521	521	5870	5990	5930	-	574	-	-
21	M	35.0	12.44	- 270	436	396	374	396	361	361	4160	3680	3920	5690	-	11.00	76.9
23d	F	34.0	15.00	- 290	510	498	468	645	477	477	4320	4940	4630	5633	-	12.30	74.5
26	M	36.0	13.86	- 260	499	437	-	387	-	-	5180	4420	4800	6342	463	11.94	64.7
28	F	33.0	15.00	- 300	546	436	500	505	555	555	4690	4970	4830	6789	324	-	-
30	M	39.0	13.75	- 290	536	432	395	551	361	361	4150	4840	4495	5951	162	13.26	82.9
average		42.5	13.09	- 277	545	425	400	553	376	376	5004	4971	4988	6769	350	12.79	77.7
<b>DEAD</b>																	
10	F	40.0	12.22	- 280	489	500	460	737	596	596	5950	5160	5555	8121	250	9.52	54.2
11a	F	51.4	13.69	- 300	704	456	-	503	-	-	5920	5770	5845	-	301	-	-
13	F	56.0	13.47	- 320	754	456	332	476	342	-	-	-	-	-	-	-	-
15b	F	77.4	11.19	- 270	866	595	404	663	314	314	7370	7850	7610	-	110	-	-
19c	F	34.0	12.27	- 260	417	351	345	319	312	312	4150	4150	4150	6408	-	8.82	50.4
22	M	42.5	13.75	- 270	584	485	414	531	478	478	5920	6210	6065	8683	721	8.02	50.1
24d	F	34.0	15.27	- 310	519	532	440	603	522	522	4720	4900	4810	6362	316	10.81	54.7
25	F	34.0	13.83	- 240	470	323	350	297	284	284	4310	4480	4395	5436	485	7.33	46.5
29	F	36.0	15.16	- 315	546	449	442	563	598	598	5660	6770	6215	8974	147	10.06	64.9
average		45.0	13.43	- 285	594	461	398	521	431	431	5500	5661	5581	7331	388	9.09	53.5
global average		43.6	13.24	- 280	566	443	399	537	402	402	5203	5247	5225	7010	367	11.09	66.5

(a, b, c, d : pairs of siblings)

Table 1 : Test condition parameters and peak variable values

TEST NUMBER	SKEL. AIS	INJURIES number	VISC. AIS	INJURIES number	MAIN INJURY LOCATION
<b>LIVING</b>					
8	2	1	4	1	liver
9	3	6	5	1	liver
12a	2	1	3	1	heart
14b	2	1	5	5	heart, liver
16	1	1	3	1	lung
18c	1	1	1	1	haematoma
20	4	9	6	5	heart, aorta, vena cava
21	0	0	0	0	-
23d	2	4	5	5	liver and spleen
26	1	3	4	3	liver
28	0	0	4	3	spleen
30	1	1	2	1	lung
<b>DEAD</b>					
10	2	4	0	0	sternum
11a	2	2	3	2	lung
13	3	2	4	2	heart
15b	3	2	4	3	liver
19c	2	1	3	1	lung
22	0	0	3	1	lung
24d	3	8	5	3	liver
25	0	0	4	1	spleen
29	2	2	5	3	liver

(a, b, c, d : pairs of siblings)

Table 3 : AIS values and main injury locations



Table 2 - AIS values, number of injuries and main injury locations

TEST NUMBER	SKEL. AIS	INJURIES number	VISC. AIS	INJURIES number	MAIN INJURY LOCATION
LIVING					
8	2	1	4	1	liver
9	3	6	5	1	liver
12a	2	1	3	1	heart
14b	2	1	5	5	heart,liver
16	1	1	3	1	lung
18c	1	1	1	1	haematoma
20	4	9	6	5	heart,aorta,vena cava
21	0	0	0	0	-
23d	2	4	5	5	liver and spleen
26	1	3	4	3	liver
28	0	0	4	3	spleen
30	1	1	2	1	lung
DEAD					
10	2	4	0	0	sternum
11a	2	2	3	2	lung
13	3	2	4	2	heart
15b	3	2	4	3	liver
19c	2	1	3	1	lung
22	0	0	3	1	lung
24d	3	8	5	3	liver
25	0	0	4	1	spleen
29	2	2	5	3	liver

(a, b, c, d : pairs of siblings)

Table 3 - Test conditions and parameter peak values

TEST N°	SEX	BODY WGT. (kg)	SLED VEL. (m/s)	SLED ACCEL. (m/s <sup>2</sup> )	WEIGHT X VELOC.		ACCELERATION		SEVERITY INDEX		MAX. BELT LOAD (Newton)			AORT. PRESS. (mmHg)	DEFLEXION ABSO. (cm)	DEFLEXION INT. (°)	DEFL. SPEED (m/s)
					(kg.m/s)	(m/s <sup>3</sup> )	STER.	SPINE	STER.	SPINE	UPP.	LOW.	AVER.				
LIVING																	
8	F	45.8	12.38	290	567	-	-	-	-	-	4470	4730	4600	-	-	-	-
9	F	45.2	12.16	290	550	464	446	1381	471	6470	5460	5965	8836	441	16.50	97.6	3.86
12a	F	49.4	13.55	290	669	421	-	488	-	5340	5460	5400	-	360	-	-	-
14b	F	63.5	11.05	270	702	395	315	285	229	5730	5160	5445	-	338	-	-	-
16	M	52.0	11.36	240	591	-	335	-	213	5330	5620	5475	8836	-	13.61	71.6	2.74
18c	F	34.0	12.30	240	418	345	331	339	198	4340	4380	4360	6078	140	10.95	75.6	-
20	F	43.5	14.27	290	621	-	434	-	521	5870	5990	5930	-	574	-	-	-
21	M	35.0	12.44	270	436	396	374	396	361	4160	3680	3920	5690	-	11.00	76.9	2.86
23d	F	34.0	15.00	290	510	498	468	645	477	4320	4940	4630	5633	-	12.30	74.5	3.52
26	M	36.0	13.86	260	499	437	-	387	-	5180	4420	4800	6342	463	11.94	64.7	3.15
28	F	33.0	15.00	300	546	436	500	505	555	4690	4970	4830	6789	324	-	-	-
30	M	39.0	13.75	290	536	432	395	551	361	4150	4840	4495	5951	162	13.26	82.9	3.12
average		42.5	13.09	277	545	425	400	553	376	5004	4971	4988	6769	350	12.79	77.7	3.21
DEAD																	
10	F	40.0	12.22	280	489	500	460	737	596	5950	5160	5555	8121	250	9.52	54.2	2.58
11a	F	51.4	13.69	300	704	456	-	503	-	5920	5770	5845	-	301	-	-	-
13	F	56.0	13.47	320	754	456	332	476	342	-	-	-	-	-	-	-	-
15b	F	77.4	11.19	270	866	595	404	663	314	7370	7850	7610	-	110	-	-	-
19c	F	34.0	12.27	260	417	351	345	319	312	4150	4150	4150	6408	-	8.82	50.4	-
22	M	42.5	13.75	270	584	485	414	531	478	5920	6210	6065	8683	721	8.02	50.1	2.20
24d	F	34.0	15.27	310	519	532	440	603	522	4710	4900	4810	6362	316	10.81	54.7	3.27
25	F	34.0	13.83	240	470	323	350	297	284	4310	4480	4395	5436	485	7.33	46.5	2.13
29	F	36.0	15.16	315	546	449	442	563	598	5660	6770	6215	8974	147	10.06	64.9	2.58
average		45.0	13.43	285	594	461	398	521	431	5500	5661	5581	7331	388	9.09	53.5	2.55
global average		43.6	13.24	280	566	443	399	537	402	5203	5247	5225	7010	367	11.09	66.5	2.91

(a, b, c, d : pairs of siblings)

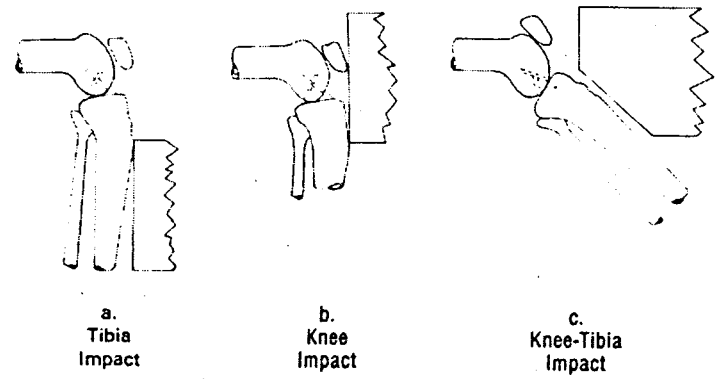


Fig. 1 — Orientation of the bolster impact simulations conducted on the lower extremity of human cadavers and a Hybrid III dummy: a) lower leg impact, b) knee impact, and c) knee-tibia impact.

Table 1  
Lower Leg Impact Responses

Experiment No.	Cadaver Characteristics					Impact Biomechanics				Gross Injuries
	Specimen No.	Sex (M/F)	Age (yr)	Mass (kg)	Height (m)	Velocity (m/s)	Peak Acceleration (g)	Primary Pulse Duration (ms)	Peak Contact Force (kN)	
77L001	20817/R	M	45	55	1.70	5.84	7.8	--	4.27	Lateral ligament avulsion at head of fibula
77L003	20823/L	F	67	65	1.64	6.28	11.4	13	6.24	Multiple fractures of tibia-fibula
77L005	20824/R	F	85	59	1.51	6.27	6.0	13	3.28	Multiple fractures of tibia-fibula
77L007	20827/R	M	78	89	1.79	6.32	12.6	--	6.89	Posterior cruciate ligament avulsion; lateral ligament tear; fracture of the tibia head
77L009	20869/L	F	79	60	1.50	6.25	8.7	13	4.76	Multiple fractures of tibia-fibula
77L011	20881/R	M	69	75	1.71	6.37	10.5	16	5.74	No indicated damage
78L015	20896/R	M	58	73	1.73	6.43	8.9	20	4.87	No indicated damage
Averages (Standard Deviation)		4/3	68.7 (+13.8)	68.0 (+11.8)	1.65 (+0.11)	6.25 (+0.19)	9.4 (+2.3)	15.0 (+3.1)	5.15 (+1.23)	

Table 2  
Knee Impact Response:

Experiment No.	Cadaver Characteristics					Impact Biomechanics				Gross Injuries
	Specimen No.	Sex (M/F)	Age (yr)	Mass (kg)	Height (m)	Velocity (m/s)	Peak Acceleration (g)	Primary Pulse Duration (ms)	Peak Contact Force (kN)	
77L010	20869/R	F	79	60	1.50	6.42	10.8	17	5.91	Femoral condyles and shaft fracture
77L012	20881/L	M	69	75	1.71	6.43	14.3	26	7.82	Posterior cruciate ligament central tear
77L016	20896/L	M	58	73	1.73	6.43	10.5	30	5.91	No indicated damage
78L017	20901/L	F	39	54	1.62	6.25	11.3	--	6.38	Lateral tibial plateau avulsion fracture
78L018	20904/R	F	82	64	1.55	6.31	13.4	31	7.57	Patella dislocated; posterior cruciate ligament avulsion
78L019	20904/L	F	82	64	1.55	6.31	14.8	24	8.36	Patella dislocated; posterior cruciate ligament avulsion
78L032	20922/R	F	55	64	1.69	6.32	11.0	27	6.88	Tibial plateau avulsion fracture
78L033	20922/L	F	55	64	1.69	6.32	13.7	29	7.32	Tibial plateau avulsion fracture
Averages (Standard Deviation)		2/4	63.7 (+16.0)	65.0 (+7.9)	1.63 (+0.09)	6.35 (+0.07)	12.5 (+1.8)	26.3 (+4.8)	7.02 (+0.90)	

Table 5  
Isolated Knee Joint Tolerances

Specimen No.	Cadaver Characteristics					Linear Response			Ultimate Level		Gross Injury
	Sex (M/F)	Age (yr)	Mass (kg)	Height (m)	Force (kN)	Disp. (cm)	Stiffness (kN/cm)	Force (kN)	Disp. (cm)		
20817/L	M	45	55	1.70	1.43	0.95	1.49	2.22	1.65	Posterior cruciate ligament central tear	
20823/R	F	67	65	1.64	1.43	1.42	1.13	2.61	3.18	Tibial fracture at pottting	
20824/L	F	85	59	1.51	1.67	1.07	1.75	1.67	1.07	Avulsion fracture of tibial Plateau	
20827/L	M	78	89	1.79	2.56	1.80	1.56	2.89	3.45	Posterior cruciate ligament avulsion and tibial fracture at pottting	
20881/R	M	69	75	1.71	1.96	3.00	1.53	3.00	1.96	Posterior cruciate ligament central tear	
Averages (St. Dev.)		3/2	68.8 (+15.1)	68.6 (+13.7)	1.67 (+0.10)	2.02 (+0.72)	1.44 (+0.44)	1.49 (+0.23)	2.48 (+0.54)	2.26 (+1.02)	



1. Summary of response data utilized in correlation and regression analyses:

Animal No.	Impact Velocity (m/s)	Peak Sternal Accel. (g)	Peak Spinal Accel. (g)	Peak Force** (kN)	Maximum Externally Normalized Total Deflec.	Maximum Fluid Press. (mmHg)	AIS Rating	No. Rib Fractures	
BYU I	1L	7.1	243	29	4.45	0.20	74	2*	2*
	2L	3.1	76	17	1.46	0.05	27	0	0
	3L	3.7	93	29	1.98	0.09	128	0	0
	4L	3.0	60	14	1.96	0.10	30	0	0
	5L	5.1	72	32	2.21	0.15	44	1*	0
	1H	12.2	1144	47	8.23	0.40	255	4	9
	2H	9.3	593	60	6.51	0.22	71	3	3
	3H	9.1	139	94	7.21	0.27	540	4	11
	4H	9.2	243	46	7.12	0.29	440	4	5
	5H	9.2	591	106	7.29	0.36	223	4	10
BYU II	16(L-4)	--	--	--	--	--	--	3	8
	17(L-5)	8.8	350	65	5.20	0.32	191	3	5
	18(L-4*)	8.2	420	155	5.90	0.29	119	3	3
	19(L-4*)	8.1	602	95	5.90	0.24	123	3	4
	10(L-1)	9.5	910	116	8.66	0.37	171	4	9
	12(L-2)	10.6	700	82	6.20	0.37	292	4	11
	15(L-3)	9.6	693	94	7.60	0.42	189	5	8
	20(L-3*)	10.3	966	153	6.90	0.44	978	4	9
	13(C-4)	8.4	693	123	5.90	0.25	650	3	8
	14(C-5)	8.3	472	202	7.30	0.20	380	3	2
	8(C-1)	10.4	806	80	8.50	0.36	1340	6	13
	9(C-2)	10.4	714	75	8.70	0.35	670	4	12
	11(C-3)	--	--	--	--	--	--	5	13

\* Revised from previous publication [1] of data.

\*\* Corrected from previous publication to reflect inertial compensation of load cell.

SUMMARY TABLE 7

Dependence of Average Impact Responses on the Location  
of Blunt Sternal Impact of Anesthetized Pigs

	Location of Blunt Sternal Impact		
	Above Midsternum	Midsternum	Below Midsternum
Impact velocity (m/s)	9.8	9.9	10.7
Peak Force (kN)	6.5	6.7	6.0
Plateau Force (kN)	6.3	5.2	5.5
*Sternal Acc. (g)	205	628	699
Spinal Acc. (g)	52	86	74
*Deflection (cm)	9.0	9.9	11.4
*Ext. Norm. (P/D)	.31	.35	.41
*Int. Norm. (P/D')	.67	.75	.80
*Fluid Overpress. (mmHg)	119	321	505
*Rib Fracture (#)	0.7	7.4	5.5
*Skeletal AIS	0.5	3.4	3.3
Nonskeletal AIS	4.0	4.0	4.3
Maximum AIS	4.0	3.7	4.3
*MCD	1.0	4.1	3.5

\* Biomechanical response, gross injury and myocardial conducting system dysfunction parameters exhibiting a practical dependence on the location of the blunt sternal impact.

TABLE IV - FRONTAL COLLISIONS WITH RESTRAINED CADAVERS  
RESULTS LINKED TO SUBMARNING IN PERTAINING CASES

CASE	IN SIDE VIEW SLOPE OF PELVIC STRAP WHEN SUBMARNING OCCURS (°)		ABDOMINAL INTRUSION BEYOND EIAS X - DIRECTION (mm)		MAX. RESTRAINT FORCES WHEN STRAP IS ABOVE EIAS (daN)		ESTIMATE OF FORCES DEFINED IN FIGURE (daN)		ABDOMINAL AND LUMBAR SPINE INJURIES		
	Outer side	Middle of the car	Outer side	Middle of the car	Outer side	Middle of the car	Outer side	Middle of the car	ATS	Description	Observations
<u>Lesions caused by submarning</u>											
2	24	-	40	-	-	-	-	-	5	Tear of mesentery perforation of colon, wounds of liver, F transverse process L4	Pelvis fractures
12	35	32	-	50	-	-	-	-	4	Tear of mesentery	
127-4	29	20	55	75	380	900	160	420	3	Fracture+compression L1	
154-4	36	32	40	70	650	500	390	300	5	Wound of liver fracture L2+compression+lesion of medulla	
182	35	30	41	57	420	(420)	180	(120)	3	Fracture+compression L1	
<u>Cases with occurence of submarning and no lesions</u>											
1	30	-	37	-	-	-	-	-	0		
6	35	26	35	-	(220)	220	(150)	(180)	0		
34	33	35	-	30	240	(240)	130	(150)	0		
124-2	26	(20)	25	-	280	(280)	60	(130)	0		
148-2	32	30	33	27	220	250	90	100	0		
148-4	25	34	28	20	260	200	80	60	0		

1  
2  
3  
4

408 S.164

TABLE 1 - CADAVER ANTHROPOMETRIC DATA

Test No	Age	Sex	SKULL DIMENSIONS (cm)			WEIGHTS (kg)			
			Length	Breadth	Circumference	Head + Neck	Head	Skull	Brain
159	60	M	20.5	16	60.6	5.61	4.41	0.995	1.54
160	56	M	20.6	16.2	57.2	5.45	4.25	0.975	1.48
162	64	M	19.2	15	54.4	4.86	3.62	0.636	1.19
163	63	M	20	17	59.4	6.56	4.59	0.785	1.45
165	66	M	20.5	15	57.5	5.95	4.31	0.93	1.36
166	59	F	18	15.2	56.4	5.14	4.10	0.688	1.6
172	50	M	19	17	57.5	5.4	4.17	0.69	1.34
174	65	M	18.5	16	55.3	4.78	3.96	0.76	1.05
175	73	M	20.5	15.5	53.6	4.27	3.22	0.785	1.22
176	53	M	20	16.5	57.4	5.69	4.26	0.80	1.6
177	64	F	19	15.5	53.6	4.24	3.30	0.67	1.28

TABLE 2 - RESULTS OF FRONTAL IMPACTS ON CADAVER HEADS - FREE FALL HEIGHT: 3 METERS

Test No	Type of Jerk	JERK		HEAD RESULTANT ACCELERATION		HIC		CEREBRAL INJURIES	AIS
		Value $10^3$ g/s	Duration of calculation	$\bar{Y}$ max (g)	$\bar{Y}$ 3 ms (g)	Value	Duration of calculation		
159	moderate	0.415	3.3 ms	214	117	1078	4.5 ms	no injury	0
160	moderate	0.32	5.4 ms	180	135	<del>1378</del> 1334	5.7 ms	no injury	0
162	moderate	0.518	2.2 ms	192	132	1334	5.5 ms	no injury	0
163	high	1.17	0.7 ms	150	102	750	6.2 ms	very little hemorrhage in the brain stem	2 or 3
165	high	1.25	0.5 ms	163	109	691	6. ms	no injury	0
166	high	1.588	1.1 ms	212	132	1270	5.9 ms	little extravasation in the pons	3
172	high	1.523	0.9 ms	201	101	1042	4.3 ms	no injury	0
174	high	0.996	1.4 ms	230	170	1620	5.7 ms	some extravasations in the pons	4
175	high	1.30	0.9 ms	190	130	1500	5.3 ms	little hemorrhages; right anterior hippocampus + left posterior quadrigeminal tuberculum	2 or 3
176	high	1.00	0.9 ms	240	140	1500	5.5 ms	no injury	0
177	high	1.14	0.9 ms	255	168	2138	4.8 ms	no injury	0

TABLE 4 - CADAVER LATERAL DROP TESTS ON THE ABDOMEN - ANTHROPOMETRIC DATA AND INJURIES

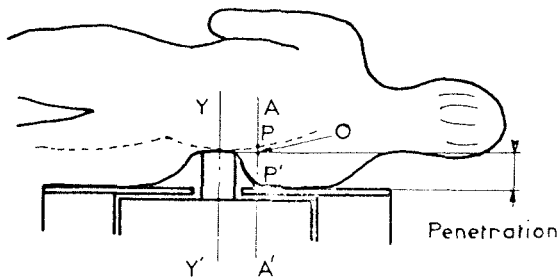
Test No	ANTHROPOMETRIC DATA					N. of rib fractures	Abdominal injuries (liver)	Abd AIS	Observat.
	Age Sex	Weight Kg	Abdomen at the 9th rib level		thick-ness				
			cm	cm	cm				
205	62F	32	13.5	24.2	67.1	3	No injury		0
206	66M	82	24	31	98.7	9	Wound on inf. face of right lobe		4
209	54M	51	20	29	88	4	Wound on sup. face of right lobe + many internal injuries		4
210	61M	71	26.3	29	93.5	4	Wound on anterior border of right lobe		3
211	46M	43	18.5	26	79.5	0	No injury		0
212	45F	45	21	22	75.5	5			- atrophic cirrhosis
219	68F	52	18.5	29	87	12			
213	67M	77	24.5	34	112	8	Contusion on inf. face of right lobe		3
215	52M	53	20.5	28	88.5	7	Little wound due to a rib + wound on sup. face of right lobe + wound on inf. face of right lobe + fissure on inf. border + many internal injuries		5
216	56M	49	20.7	29.5	89.2	11			- atrophic cirrhosis
217	55M	58	25	32.5	104	11	Deep wound on sup. face of right and left lobes + fissure on inf. face of right lobe		5

TABLE 5 - CADAVER DROP TESTS ON THE ABDOMEN - TEST CONDITIONS AND MEASUREMENT RESULTS

Test No.	Height of fall (m)	Protrusion of armrest (x) (mm)	Supporting material for armrest(x)	APPLIED FORCE (daN)			PENETRATION (1)		PENETRATION + DEFLECTION (2)		Abd. AIS
				F. max Measured	F. Max Normalized	F. normalized at P'time (1)	DP' (xx) mm	DP' relative(%)	PP' (xx) mm	PP' relative(%)	
205	1	31	rigid	160	282	270	31	25,6	34	28	0
206	1	51	rigid	535	504	470	51	33	74	48	4
209	1	51	polystyrene	380	491	490	40	27,6	52	36	4
210	1	51	polystyrene	415	430	385	37	25,5	51	35,5	3
211	1	53	phenespan	170	246	225	51	39	66	51	0
212	1	55	polystyrene	150	211	190	29	26,6	29	26,6	-
219	1	41	rigid	195	249	225	41	28,3	26	18,3	-
213	2	55	polystyrene	490	481	330	23	13,5	27	16	3
215	2	31	rigid	510	643	580	31	22,9	48	34	5
216	2	51	rigid	420	558	485	51	34,6	56	38	-
217	2	41	rigid	500	593	600	41	25,6	47	29	5

(x) see figure 1

(1) OP' = penetration defined on figure 5 - (2) PP' = penetration + deflection defined on figure 5 (xx) relative to the half-abdomen at the 9th rib level





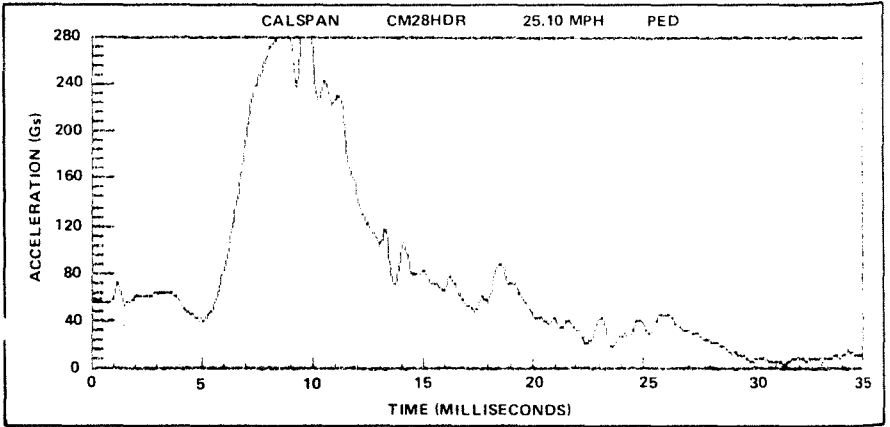


Figure 8. Acceleration versus time. (CM27, PED, 34.5fps velocity at impact. HIC = 761)

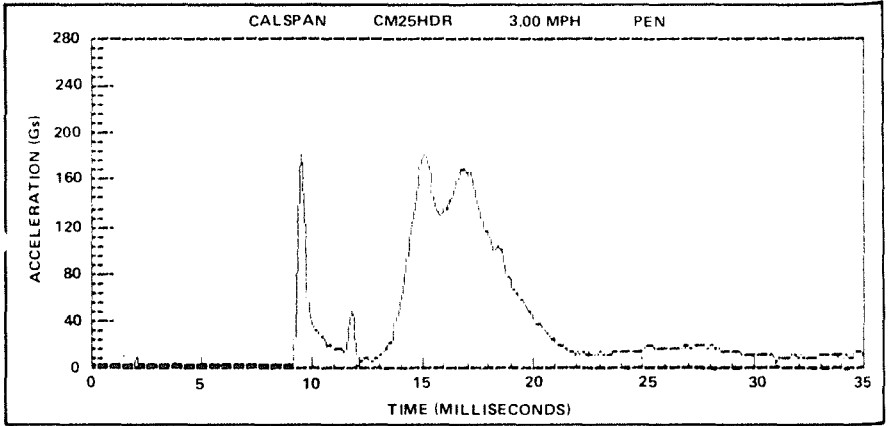


Figure 9. Acceleration versus time. (CM28, PED, 34.6fps velocity at impact. HIC + 4787)

Table 1. Test matrix

Subject	Test Type	Velocity Ips	Padding	Age	Sex	Height in	Weight lb
CM20	PED	33.0	NONE	72	M	72.0	161
CM21	PED	29.6	NONE	77	F	60.0	123
CM22	PED	28.5	NONE	71	F	62.0	156
CM23	PED	35.2	NONE	77	M	68.5	155
CM24	PED	28.0	NONE	46	M	70.0	132
CM25	IMP	13.2	NONE	58	M	72.0	188
CM26	PED	35.8	NONE	77	M	68.0	157
CM27	PED	34.5	NONE	63	M	71.0	194
CM28	PED	34.6	NONE	79	F	62.0	121
CM29	IMP	13.1	NONE	71	M	67.0	151
CM30	IMP	13.1	NONE	66	M	69.0	185
CM31	IMP	13.2	NONE	57	M	67.5	161
CM32	IMP	7.3	NONE	60	F	65.5	126
CM33	IMP	12.9	NONE	70	F	67.0	131
CM34	IMP	11.0	NONE	55	M	71.0	141
CM35	IMP	13.1	NONE	69	M	69.0	150
CM36	IMP	12.8	2.0 IN	61	M	69.0	160
CM37	IMP	12.8	1.0 IN	57	F	62.0	103

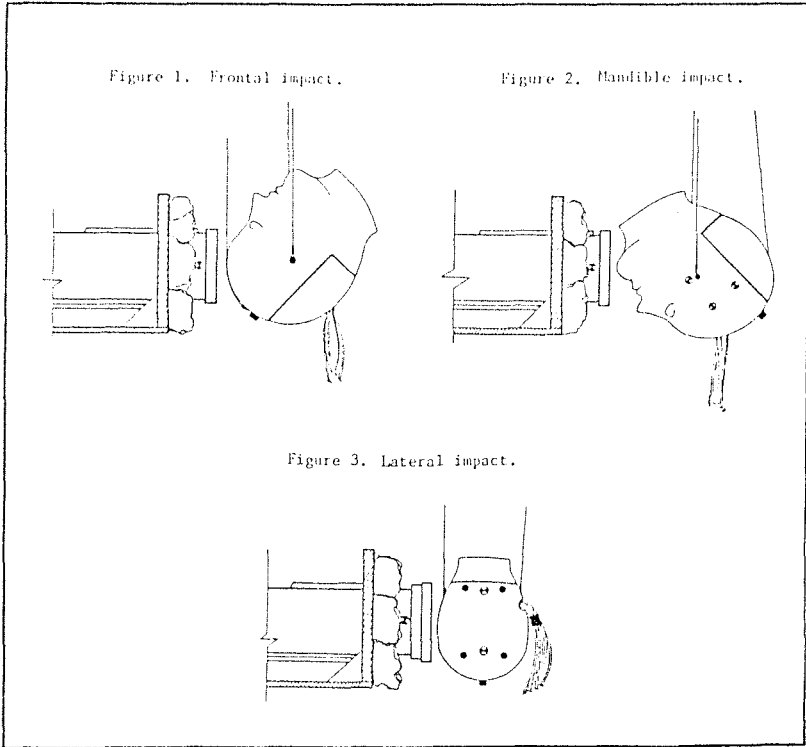


Table 1 Padding

Symbol	Material	Thickness cm (in)
A	ensolite	2.54 (1.0)
B	polystyrene	2.29 (0.9)
C	polystyrene	4.57 (1.8)

Table 2 Head Mass

Test Subject	Head Mass (slugs)	Scale Factor
Part 572	.328	1.0
Hybrid III	.296	.904
Embalmed No 1	.321	.979
Unembalmed No 1	.293	1.199
Unembalmed No 2	.321	.979
Unembalmed No 3	.291	.887

TABLE 3 Test Results  
Resultant Scaled Pk.G's and  
Computed Maximum Intracranial Pressures (cont.)

Test Subject	Case No.	Pad	Impact Site	Impactor Vel Km/h (mph)	Scaled Pk.G's	Duration (ms)	Pressure G/cm (psi)	
Emb No 1	140	B	F	16.9 (10.5)	257.	6.2		
	142	B	F	20.1 (12.5)	447.	5.7		
	143	C	F	19.6 (12.2)	133.	11.7		
	144	C	F	25.1 (15.6)	258.	10.0		
	145	B	F	25.1 (15.6)	389.	6.2		
	146	C	F	16.1 (10.0)	70.	16.1		
	147	C	M	16.1 (10.0)	76.	17.0		
	148	B	M	16.7 (10.4)	85.	13.0		
	149	B	M	20.4 (12.7)	96.	11.5		
	150	C	M	20.0 (12.4)	86.	10.6		
	151	C	M	25.1 (15.6)	100.	14.3		
	152	B	M	25.1 (15.6)	126.	13.2		
	153	C	L	25.1 (15.6)	168.	12.9		
	154	B	L	26.1 (16.2)	321.	8.3		
	155	B	L	20.1 (12.5)	296.	9.0		
	156	C	L	21.1 (13.1)	102.	16.3		
	157	C	L	17.4 (10.8)	67.	18.0		
	158	B	L	17.2 (10.7)	90.	10.7		
	Unemb No 1	163	B	F	17.2 (10.7)	169.	13.0	10.1 (14.7)
		164	C	F	17.2 (10.7)	70.	19.2	3.9 ( 5.7)
165		C	F	19.6 (12.2)	105.	16.9	6.2 ( 9.0)	
166		H	F	19.6 (12.2)	260.	4.7	24.8 (36.0)	
167		B	F	24.9 (15.5)	390.	4.5	32.9 (47.7)	
168		C	F	24.9 (15.5)	316.	12.0	9.5 (13.8)	
169		C	L	24.9 (15.5)	191.	12.9	8.0 (11.6)	
170		B	L	24.9 (15.5)	280.	8.0	14.1 (20.5)	
171		B	L	19.6 (12.2)	200.	6.4	8.4 (12.2)	
172		C	L	21.1 (13.1)	124.	14.9	4.6 ( 6.7)	
173		C	L	17.2 (10.7)	83.	18.1	3.9 ( 5.7)	
174		B	L	17.4 (10.8)	143.	10.8	6.2 ( 9.0)	
175		B	M	17.2 (10.7)	155.	6.2	2.5 ( 3.7)	
176		C	M	16.9 (10.5)	47.	20.7	1.5 ( 2.2)	
177		C	M	22.0 (13.7)	141.	15.5	2.4 ( 3.5)	
178		B	M	20.9 (13.0)	102.	14.1	3.4 ( 5.0)	
179		B	M	25.1 (15.6)	106.	15.3	4.2 ( 6.1)	
180		C	M	23.7 (14.7)	90.	18.9	2.4 ( 3.5)	
Unemb No 2		181*	B	F	16.7 (10.4)	232.	4.1	17.6 (25.6)
		182	C	F	17.1 (10.6)	59.	19.1	2.5 ( 3.7)
	183	C	F	22.8 (14.2)	112.	15.3	5.5 ( 8.0)	
	184*	B	F	22.8 (14.2)	420.	2.4	28.5 (41.3)	
	185*	B	F	24.9 (15.5)	641.	2.4	44.6 (64.8)	
Unemb No 2	186	C	F	24.9 (15.5)	152.	12.7	8.5 (12.3)	
	187	C	L	16.7 (10.4)	170.	9.1	9.9 (14.4)	
	188*	B	L	17.1 (10.6)	357.	5.0	19.2 (27.9)	
	189*	B	L	22.8 (14.2)	283.	5.0	28.3 (41.1)	
	190	C	L	22.8 (14.2)	200.	12.7	10.1 (14.6)	
	191*	C	L	24.9 (15.5)	161.	4.7	10.0 (14.5)	
	192*	C	L	24.9 (15.5)	206.	6.1	13.1 (19.0)	
	193	B	M	17.2 (10.7)	47.	16.5	4.3 ( 6.2)	
	194	B	M	17.2 (10.7)	61.	12.4	4.8 ( 7.0)	
	195	B	M	22.0 (13.7)	73.	16.9	5.9 ( 8.6)	
	196	C	M	22.8 (14.2)	55.	13.9	4.9 ( 7.1)	
	197	C	M	24.9 (15.5)	82.	11.9	6.9 (10.0)	
	198	B	M	24.9 (15.5)	93.	10.9	7.4 (10.8)	
	Unemb No 3	199	B	F	17.2 (10.7)	247.	3.1	8.7 (12.6)
		200	C	F	17.2 (10.7)	81.	13.8	3.8 ( 5.5)
		201	C	F	20.5 (12.7)	115.	14.5	9.4 (13.6)
202		B	F	22.8 (14.2)	340.	3.6	41.9 (60.8)	
203		B	F	24.9 (15.5)	363.	6.7	30.5 (44.2)	
204		C	F	24.9 (15.5)	142.	13.5	10.3 (15.0)	
205		C	L	27.4 (17.0)	181.	12.0	12.2 (17.7)	
206		B	L	24.9 (15.5)	347.	5.4	26.8 (38.9)	
207		B	L	21.1 (13.1)	202.	8.8	13.9 (20.2)	
208		C	L	20.4 (12.7)	94.	15.1	6.4 ( 9.3)	
209		C	L	17.2 (10.7)	66.	17.5	4.5 ( 6.5)	
210		B	L	17.9 (11.1)	147.	10.7	9.8 (14.2)	
211		B	M	17.2 (10.7)	151.	8.0	5.6 ( 8.1)	
212		C	M	17.4 (10.8)	52.	15.8	2.6 ( 3.8)	
213	C	M	20.1 (12.5)	101.	14.5	3.7 ( 5.4)		
214	B	M	20.4 (12.7)	194.	7.8	12.8 (18.6)		
215	C	M	25.1 (15.6)	112.	13.8	9.0 (13.0)		
216	B	M	24.9 (15.5)	105.	14.6	10.2 (14.8)		

\* unreliable

Table 1 Test characteristics of 11 selected runs with two human volunteers in frontal impacts.

Subject	Test number	Sled velocity change (m/s)	Peak sled acc. (m/s <sup>2</sup> )	Rate of onset* (m/s <sup>3</sup> )
H00083	LX 3530	7.5	49	982
H00083	LX 3536	10.5	73	1613
H00083	LX 3544	12.4	92	2205
H00093	LX 3531	7.6	51	1050
H00093	LX 3537	10.1	71	1585
H00093	LX 3548	12.2	90	2142
H00093	LX 3550	13.3	98	2498
H00093	LX 3558	14.3	110	2903
H00093	LX 3578	16.0	132	3898
H00093	LX 3583	16.7	142	4269
H00093	LX 3616	17.2	150	4873

\* Slope of the best least square line fit of the rising portion of the sled acceleration profile between 20% and 50% of the peak sled acceleration.

Table 2 Test characteristics of earlier tests with 10 different subjects in frontal impacts (6).

Subject	Sled velocity change m/s	Peak sled acc. (g)	Rate of onset g/s
003	13	9.5	350
004	13	9.4	330
007	14	9.6	630
009	13	9.0	330
010	13	8.9	330
011	12.5	8.9	380
012	13.5	9.8	530
013	12.5	9.1	530
015	14	9.9	460
016	12	8.4	340

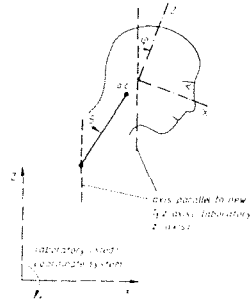


Fig. 6. Mechanical analog for head-neck motion in frontal impacts.

Table 3 Initial and maximum values for the head rotation  $\phi$  and the link rotation  $\theta$ .

Subject (test number)	Sled velocity change (m/s)	Peak sled acceleration (g)	$\phi_0$ (deg.)	$\phi_{max}$ (deg.)	$(\phi_{max}-\phi_0)$ (deg.)	$\theta_0$ (deg.)	$\theta_{max}$ (deg.)	$(\theta_{max}-\theta_0)$ (deg.)
003	13	9.5	3	81	78	36	90	54
004	13	9.4	-7	80	87	34	98	64
007	14	9.6	-3	90	93	10	110	100
009	13	9.0	-6	71	77	27	102	75
010	13	8.9	-15	71	86	19	105	86
011	12.5	8.9	0	72	72	32	108	76
012	13.5	9.8	-13	72	85	9	112	103
013	12.5	9.1	0	76	76	28	100	72
015	14	9.9	3	80	77	28	104	76
016	12	8.4	3	71	68	34	103	69
Mean values 1973 database			-4	76	80	26	103	78
H00083 (LX 3544)	12.4	9.4	-3	66	69	3	87	84
H00093 (LX 3548)	12.2	9.2	2	45	43	18	84	66
(LX 3550)	13.3	10.0	-5	40	45	18	86	66
(LX 3558)	14.3	11.2	-4	46	50	17	86	67
(LX 3578)	16.0	13.5	-6	51	57	17	95	78
(LX 3583)	16.7	14.5	-6	57	63	21	97	76
(LX 3616)	17.2	15.3	-11	56	67	21	100	79

Table 2 - Test Characteristics of 16 Selected Runs with 6 Human Volunteers

Subject	Run Number	Sled Velocity Change (m/s)	Peak Sled Acc. (m/s <sup>2</sup> )	Rate of Onset* (m/s <sup>3</sup> )
H00044	LX1504	6.6	60	1246
H00044	LX1512	6.2	69	1519
H00044	LX1528	6.3	74	1644
H00064	LX1507	6.5	59	1202
H00064	LX1513	6.2	69	1506
H00065	LX1505	6.6	61	1233
H00065	LX1510	6.2	69	1526
H00067	LX1509	6.2	68	1498
H00067	LX1525	6.2	74	1708
H00083	LX1831	6.5	49	3229
H00083	LX2013	6.3	49	1079
H00083	LX2124	3.1	89	9435
H00083	LX2302	6.4	69	1497
H00093	LX2151	3.3	100	11075
H00093	LX2326	6.5	60	5764
H00093	LX2355	6.5	50	4961

\* Slope of the best least square line fit of the rising portion of the sled acceleration profile between 20% and 50% of the peak sled acceleration.

Table 3 - Human Subject Anthropometry

Subject Number	Standing Height (cm)	Weight (kg)	Sitting Height (cm)	Sitting Height (%)	Head Circumference (cm)	Head Breadth (cm)	Head Length (cm)
H044	175.8	70.7	93.2	64	54.5	14.6	19.3
H064	181.7	87.1	99.3	98	57.2	15.3	19.7
H065	162.1	78.7	88.2	11	58.8	15.1	20.8
H067	180.4	74.8	93.9	72	56.3	14.8	20.1
H083	180.0	75.7	92.4	53	54.7	15.5	18.3
H093	173.0	72.5	93.5	--	52.1	14.4	17.8

Table 4 - Estimations for Masses and Moments of Inertia in the Neck Load Calculations

Subject	Without Instrumentation				Corrected for Instrumentation			
	M (kg)	I <sub>xx</sub> (kgm <sup>2</sup> )	I <sub>yy</sub> (kgm <sup>2</sup> )	I <sub>zz</sub> (kgm <sup>2</sup> )	M (kg)	I <sub>xx</sub> (kgm <sup>2</sup> )	I <sub>yy</sub> (kgm <sup>2</sup> )	I <sub>zz</sub> (kgm <sup>2</sup> )
H00044	3.84	0.0164	0.0183	0.0122	4.37	0.0239	0.0258	0.0127
H00064	4.37	0.0203	0.0231	0.0151	4.90	0.0278	0.0306	0.0156
H00065	4.58	0.0219	0.0260	0.0162	5.11	0.0294	0.0335	0.0167
H00067	4.13	0.0187	0.0215	0.0137	4.66	0.0262	0.0290	0.0142
H00083	4.00	0.0176	0.0186	0.0129	4.53	0.0251	0.0261	0.0134
H00093	3.50	0.0134	0.0140	0.0105	4.03	0.0209	0.0215	0.0107

## ÜBERSICHT

der bisher in dieser Reihe erschienenen Berichte

### Nr. Thema

#### 1 Kurse für auffällige Kraftfahrer

Statistische Grundlagen für die Zuweisung alkohol-auffälliger Kraftfahrer  
Jacobshagen  
1977 vergriffen

#### 2 Örtliche Unfallerehebungen

Behrens, Gotzen, Richter, Stürtz, Suren, Wanderer, Weber  
1978 vergriffen

#### 3 Möglichkeiten zur Verbesserung der Fahrer-ausbildung

Graf, Keller  
1976 vergriffen

#### 4 Beseitigung von Unfallstellen

Band 2  
Bewertung von Maßnahmen zur Beseitigung von Unfall-stellen  
Klöckner  
1977 vergriffen

#### 5 Beeinflussung und Behandlung alkohol-auffälliger Kraftfahrer

PG ALK  
1978 vergriffen

#### 6 Innerstädtische Planung als Einflußgröße der Verkehrssicherheit

Band 1  
Strack, Streich  
1978 vergriffen

#### 7 Gesamtwirkung von unfallinduzierten Schäden auf den volkswirtschaftlichen Produktionsprozeß

Jäger  
1977 vergriffen

#### 8 Einführung in den motorisierten Straßen-verkehr

Band IV  
Teil 6  
Edelmann  
1978

#### 9 Leistungsmöglichkeiten von Kindern im Straßenverkehr

Fischer, Cohen  
1978 vergriffen

#### 10 Kriterien für Gestaltung, Einsatz und Wirksamkeit von Verkehrssicherheitsplakaten

Graf, Keller  
1977 vergriffen

#### 11 Der Einfluß des Rauchens auf das Fahr-verhalten und die Verkehrssicherheit

Pupka V.  
1977 vergriffen

#### 12 Innerstädtische Planung als Einflußgröße der Verkehrssicherheit

Band 2  
Stengel, Fahnberg, Märschalk  
1978 vergriffen

#### 12a Innerstädtische Planung als Einflußgröße der Verkehrssicherheit

Band 2  
Anlage 1  
Stengel, Fahnberg, Märschalk  
1978 vergriffen

#### 13 Einbau- und Anlegeverhalten Sicherheitsgurte

Voiks  
1978 vergriffen

#### 14 Beseitigung von Unfallstellen

Band 3  
Identifikation von Unfallstellen  
Benner, Bock, Brühning, Klöckner, Riediger, Siegener  
1978 vergriffen

#### 15 Untersuchungen zum Rettungswesen

Bericht 4  
Kontrolle des Ausbildungserfolges in  
"Sofortmaßnahmen am Unfallort"  
Jungchen  
1978 vergriffen

#### 16 Nachtunfälle

Eine Analyse auf der Grundlage der Daten der amtlichen Straßenverkehrs-unfallstatistik  
Brühning, Hippchen, Weißbrodt  
1978

#### 17 Belastung und Beanspruchung am Steuer eines Kraftfahrzeuges

Untersuchungen mit Meßfahrzeugen  
IAAP-Kongreß  
1979 vergriffen

#### 18 Schutzwirkung von Sicherheitsgurten

Band 2  
Literaturanalyse  
Rüter  
1978 vergriffen

#### 19 Untersuchungen von Einzelementen zur Erhöhung der Wirksamkeit von Sicherheitsgurten

Rüter, Hontschik, Schicker  
1977 vergriffen

#### 20 Analyse des Entwicklungsstandes des passiven Unfallschutzes für motorisierte Zweiradfahrer

Jeszl, Rüter  
1978 vergriffen

#### 21 Fahrversuche mit Beta-Rezeptorenblockern

Braun, Reker, Friedel, Kockelke  
1978 vergriffen

#### 22 Beseitigung von Unfallstellen

Band 4  
Typologie von Verkehrssicherheitsmaßnahmen  
Büschges  
1978 vergriffen

#### 23 Beseitigung von Unfallstellen

Band 5  
Nutzwertanalytische Bewertung von Unfallstellen mit Linksabbiegeverkehr  
Seeger, Zangemeister  
1978 vergriffen

#### 24 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"

Band 1  
Forschungsstand, Erklärungsansätze und Modell-entwicklung  
Karstedt-Henke  
1979 vergriffen

- 25 Schutzwirkung von Sicherheitsgurten**  
Band 3  
Auswertung von Gurtunfällen  
Appel, Vu-Han  
1979  
vergriffen
- 26 Einführung in den motorisierten Straßenverkehr**  
Band V  
Teil 7  
Edelmann, Pfafferott  
1979  
vergriffen
- 27 Mitführen von Feuerlöschern in Personenkraftwagen**  
Nicklisch, Krupp  
1979
- 28 Einfluß auf die Verkehrssicherheit infolge nachts ausgeschalteter Signalanlagen**  
Kockelke, Haas  
1979  
vergriffen
- 29 Einfluß der psychophysischen Leistungsfähigkeit der Verkehrsteilnehmer auf das Unfallgeschehen**  
Lewrenz  
1979
- 30 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 5  
Beobachtung des Verhaltens am Unfallort  
Metreveli  
1979
- 31 Einführung in den motorisierten Straßenverkehr**  
Band VI  
Teil 8  
Koch  
1979
- 32 Räumliches Orientierungsverhalten von Kraftfahrern**  
Eilinghaus  
1979  
vergriffen
- 33 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 6  
Simulation von Rettungssystemen  
Rüffer, Schmitt, Siegener  
1979
- 34 Schutzwirkung von Sicherheitsgurten**  
Band 1  
Gurtunfälle  
Herzog, Spann  
1980
- 35 Experimentelle Evaluation des Tübinger Elterntrainingsprogramms für die Verkehrserziehung von Kindern im Vorschulalter**  
Limboung, Gerber  
1979
- 36 Sicht aus Kraftfahrzeugen**  
Literaturstudie  
Einfluß eingefärbter Scheiben auf die Sicht bei Dunkelheit  
Albrecht, Burrow, Tupowa, Engel  
1979
- 37 Nutzungskonkurrenz in Verkehrsräumen**  
Baier, Switaiski, Westenberger, Zündorf  
1979  
vergriffen
- 38 Psychologische Erprobungsstudie mit dem Fahrerleistungsmeßfahrzeug**  
Echterhoff  
1980
- 39 Sammlung und Bewertung ausländischer Maßnahmen zur Erhöhung der innerörtlichen Verkehrssicherheit**  
Ruwenstroth, Fleischhauer, Kuller  
1979
- 40 Erprobung des Kinder-Verkehrs-Clubs**  
Briels, Lennertz  
1978  
vergriffen
- 41 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 2  
Einfluß der Trinkgewohnheiten bestimmter Fahrergruppen auf die Verkehrssicherheit  
Gebauer, Büschges  
1976  
vergriffen
- 42 Innerstädtische Planung als Einflußgröße der Verkehrssicherheit**  
Band 3  
Einfluß der Siedlungsentwicklung auf die Verkehrssicherheit  
Henning, Uhlbrock  
1980  
vergriffen
- 43 Wirksamkeit von Lichtsignalanlagen zur Sicherung von Bahnübergängen**  
Erke, Wimber  
1980  
vergriffen
- 44 Kriterien für Gestaltung, Einsatz und Wirksamkeit von Verkehrssicherheitsplakaten**  
Teil 1 - 3  
Graf, Keller  
1980
- 45 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 3  
Analyse der Unfalldaten  
Theoretische Konzeption  
Bomsdorf, Schmidt, Schwabl  
1980
- 46 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 4  
Analyse der Unfalldaten  
Untersuchungsjahr 1977  
Bomsdorf, Schmidt, Schwabl  
1980
- 47 Zahl und Struktur der Führerscheininhaber in der Bundesrepublik Deutschland**  
Hautzinger, Hunger, Frey  
1980  
vergriffen
- 48 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 5  
Literatúrauswertung über Ursachen der Alkoholdelinquenz im Straßenverkehr  
Gebauer  
1980  
vergriffen
- 49 Einfluß von Radwegen auf die Verkehrssicherheit**  
Band 1  
Untersuchungen von Außerortsunfällen im Landkreis Karlsruhe und im Rhein-Neckarkreis  
Köhler, Leutwein  
1981  
vergriffen

- 50 Innerstädtische Planung als Einflußgröße der Verkehrssicherheit**  
Band 4  
Sicherheit und Verhalten in verkehrsberuhigten Zonen  
Eichenauer, Streichert, von Winning  
1980
- 51 Repräsentativbefragung zur präklinischen Notfallversorgung**  
Sorgatz, Riegel  
1980
- 52 Lehrziele in der schulischen Verkehrserziehung**  
Bestandsaufnahme und Klassifikation  
Erläuterungen und Anhang A  
Heinrich, Hohenadel  
1981 vergriffen
- 52a Lehrziele in der schulischen Verkehrserziehung**  
Bestandsaufnahme und Klassifikation  
Anhang B  
Heinrich, Hohenadel  
1981 vergriffen
- 53 Informelle Zeichengebung im Straßenverkehr**  
Merten  
1981
- 54 Informationsverarbeitung und Einstellung im Straßenverkehr**  
Bliersbach, Dellen  
1981
- 55 Frage der Ausdehnung der Schutzhelmtragepflicht**  
Krupp, Löffelholz, Marburger  
1980 vergriffen
- 56 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 6  
Beobachtung am Beispiel von Trinkmusterstudien  
Schanz  
1981
- 57 Maßnahmen zur Sicherung des innerörtlichen Fahrradverkehrs**  
Henning, Schmitz, Faludi  
1981 vergriffen
- 57a Maßnahmen zur Sicherung des innerörtlichen Fahrradverkehrs**  
– Anlagen  
Henning, Schmitz, Faludi  
1981 vergriffen
- 58 Vier-Länder-Vergleich von Kenngrößen der Straßenverkehrssicherheit**  
Japan, Großbritannien, Niederlande, Bundesrepublik Deutschland vergriffen
- 59 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 7  
Medienanalyse  
Schanz, Kutteroff, Groß  
1981
- 60 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 8  
Analyse der Unfalldaten  
Untersuchungsjahr 1978  
Bomsdorf, Schmidt, Schwabl  
1980
- 61 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 9  
Analyse der Unfalldaten  
Untersuchungsjahr 1979  
Bomsdorf, Schmidt, Schwabl  
1981
- 62 Einfluß von Radwegen auf die Verkehrssicherheit**  
Band 2  
Radfahrerunfälle auf Stadtstraßen  
Knoche  
1980 vergriffen
- 63 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 7  
Organisation und Kosten des Rettungsdienstes  
Teil 1 und 2  
Kühner  
1981
- 64 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 8  
Zu Kostenbegriffen im Rettungswesen  
Kühner  
1981
- 65 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 9  
Tarife und Tarifsysteme im Rettungsdienst  
Kühner  
1981
- 66 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 10  
Zur Anwendung des Simulationsmodells Rettungswesen  
Anwendung in Karlsruhe  
Schmiedel, Puhán, Siegener  
1981
- 67 Internationale Erfahrungen mit der Gurtanlagepflicht**  
Marburger, Krupp, Löffelholz  
1982
- 68 Verkehrsbewährung in Abhängigkeit von Leistungsmotivation, Zielsetzungsverhalten und Urteilsfähigkeit**  
Sömen  
1982
- 69 Methoden und Kriterien zur Überprüfung des Erfolges von Aufklärungskampagnen**  
Pfaß  
1982
- 70 Ältere Menschen und Verkehrsaufklärung**  
Huber  
1982 vergriffen
- 71 Kriterien für Gestaltung und Einsatz der Anlagen des Fußgängerquerverkehrs**  
Rose, Schönharting, Uschkamp  
1982 vergriffen
- 72 Führung des Radverkehrs im Innerortsbereich**  
Teil 1  
Einbahnstraßen  
Ruwenstroth, Habermeier  
1982
- 73 Möglichkeiten zu einer Neugestaltung des Fahrerausbildungssystems**  
Heinrich, Hundhausen  
1982



- 74 Fahrverhalten von Kraftfahrern bei der Begegnung mit Kindern nach der StVO-Änderung**  
Kockelke, Ahrens  
1982  
vergriffen
- 75 Wirkungszusammenhang Fahrer – Fahrzeug**  
Ellinghaus  
1982
- 76 Interaktion von Kraftfahrzeuginsassen**  
Färber, Pullwitt, Cichos  
1982  
vergriffen
- 77 Umfang und Schwere dauerhafter Personenschäden im Straßenverkehr**  
Krupp, Joo  
1982  
vergriffen
- 78 Ermittlung der an Fahr-Prüfungsorte zu stellenden Anforderungen**  
Hampel, Küppers  
1982  
vergriffen
- 79 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 11  
Organisationsformen im Rettungsdienst  
Kühner  
1983
- 80 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 12  
Dokumentationsstudie Rettungsdienst und Krankentransport  
Bonn  
1982
- 81 Sicherheitsorientierte Ausbildung von Berufskraftfahrern**  
Rüter  
1983
- 82 Verhaltensorientierte Verkehrserziehung im Vorschulalter**  
Limbourg  
1983
- 83 Einflüsse von Fahrer- und Straßenmerkmalen auf die Fahrgeschwindigkeit in Ortschaften**  
Haas, Herberg  
1983
- 84 Medienangebote und Mediennutzung durch Kinder**  
**Orientierungsrahmen für Verkehrsaufklärung**  
Hagen, Beike, Blothner, Kellner  
1983
- 85 Funktion und Wirkung von Aufklebern an Personenkraftwagen**  
Haas  
1983  
vergriffen
- 86 Streuung von Schutzkriterien in kontrollierten Aufprallversuchen gegen die starre 30-Grad-Barriere**  
Färber  
1983  
vergriffen
- 87 Wirksamkeitsuntersuchung zum ADAC-Motorradsicherheitstraining**  
Große-Bernd, Niesen  
1983  
vergriffen
- 88 Einfluß von Verkehrssicherheitsinformationen auf unfallbeteiligte Kraftfahrer**  
Echterhoff  
1983  
vergriffen
- 89 Klassifikation und Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen**  
v. Benda, Graf Hoyos, Schaible-Rapp  
1983
- 90 Untersuchung der Vorfahrtregelung "Rechts vor Links" unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit**  
Kockelke, Steinbrecher  
1983
- 91 Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer**  
Band 1  
Jessi, Flögl, Hontschik, Rüter  
1983
- 92 Junge Kraftfahrer in Japan**  
Renge  
1983
- 93 Führung des Radverkehrs im Innerortsbereich**  
Teil 2: Fußgängerzonen  
Harder  
1983
- 94 Beeinflussung von Lichtsignalanlagen durch Rettungsfahrzeuge im Einsatz**  
Bossert, Hubschneider, Leutzbach, Mott, Swiderski, Zmeck  
1983
- 95 Förderung des sozialen Verständnisses von Grundschulern im Straßenverkehr**  
Baumgardt-Elms, Küting, Müller,  
1984
- 96 Führung des Radverkehrs im Innerortsbereich**  
Teil 3: Knotenpunkt  
Angenendt  
1984
- 97 Verkehrserziehung in der Sekundarstufe I**  
Jansch, Schippers, Spoerer  
1984
- 98 Führung des Radverkehrs im Innerortsbereich**  
Teil 4: Sicherung in verkehrsberuhigten Straßen  
Adelt, Hoffmanns, Kaulen, Richter-Richard  
1984
- 99 Verkehrssicherheit in Wohngebieten**  
Einflußgrößen, Bewertung und Planungshinweise  
Cerwenka, Henning-Hager  
1984
- 100 Einflußgrößen auf das nutzbare Sehfeld**  
Cohen  
1984

- 101 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 13  
Ablauforganisation in Rettungsleitstellen  
Witte  
1984
- 102 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 10  
Analyse der Unfalldaten  
Untersuchungsjahr 1980  
Bomsdorf, Schwabl  
1984
- 103 Akzeptanz flächenhafter Verkehrsberuhigungsmaßnahmen**  
Bechmann, Hofmann  
1984
- 104 Fahrzeugwerbung und Verkehrssicherheit**  
Inhaltsanalyse und Folgerungen  
Pflafferott  
1984
- 105 Untersuchungen zu Medikamenten und Verkehrssicherheit**  
Norpoth  
1984
- 106 Führung des Radverkehrs im Innerortsbereich**  
Teil 5: Radwegtrassen  
Ruwenstroth  
1984
- 107 Schutzkleidung für motorisierte Zweiradfahrer**  
Danner, Langwieder, Polauke, Sporer  
1984
- 108 Zum Einfluß zusätzlicher hochgesetzter Bremsleuchten auf das Unfallgeschehen**  
Marburger  
1984
- 109 Typisierung von Straßen im Innerortsbereich nach dem Nutzerverhalten**  
Golle, Molt, Patscha  
1985
- 110 Überprüfung des Unfallursachenverzeichnis**  
Erke  
1985
- 111 Genauigkeit der amtlichen Straßenverkehrs-unfallstatistik**  
Barg, Hautzinger, Ottmann, Polderin, Stenger  
1985
- 112 Verkehrssicherheit von städtischen Altbaugebieten**  
Müller, Stete, Topp  
1985
- 113 Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer**  
Band 2  
Otte, Suren  
1985
- 114 Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer**  
Band 3  
Unfallanalyse  
Beier, Helbling, Mattern, Schmidt, Schüler, Schuller, Spann  
1985
- 115 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 11  
Gesetzgebung, Polizeiliche Überwachung und Strafgerichtsbarkeit in der Bundesrepublik Deutschland  
Dornick, Feltes, Kerner, Philipp, Triebler  
1985
- 116 Die Häufigkeit von Verkehrssituationen**  
von Benda  
1985  
vergriffen
- 117 Stichproben- und Hochrechnungsverfahren für Verkehrssicherheitsuntersuchungen**  
Hautzinger  
1985
- 118 Sicherheitsrelevante Ausstattung von Fahrrädern**  
von der Osten-Sacken, Schuchard  
1985
- 119 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 12  
Die Entwicklung des Alkoholkonsums in der Bundesrepublik Deutschland  
Pery  
1985
- 120 Fußgängersicherheit an Haltestellen**  
Rainer R. Haman  
1984
- 121 Sicherung liegendebliebener Kraftfahrzeuge**  
Willing  
1985
- 122 Verletzung durch einen Kraftfahrzeugunfall als Ausgangspunkt für die Sicherheitswerbung**  
Echterhoff  
1985
- 123 Sichere Gestaltung markierter Wege für Fahrradfahrer**  
Band 1  
Angenendt, Hausen, Jansen, Wutschka  
1985

- 124 Der Einfluß der Anpassungsfähigkeit des Auges auf die visuelle Wahrnehmung**  
Hesse, Krueger, Zülich  
1985
- 125 Flächenhafte Verkehrsberuhigung Unfallanalyse Berlin - Charlottenburg**  
Brillon, Kahrmann, Senk, Thiel, Werner  
1985
- 126 Unfälle beim Transport gefährlicher Güter auf der Straße 1982 - 1984**  
Bressin  
1985
- 127 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 14  
Effektivität der Erste-Hilfe - Ausbildung  
Sefrin, Schäfer, Zenk  
Januar 1986
- 128 Untersuchungen zu "Alkohol und Fahren"**  
Band 13  
Orientierungs- und Verhaltensmuster der Kraftfahrer  
Kretschmer - Bäuml, Karstedt - Henke  
1986
- 129 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 15  
Überprüfung von Erste-Hilfe - Kästen in Kraftfahrzeugen  
Wobben  
1986
- 130 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 16  
Literaturanalyse "Wirksamkeit des Rettungswesens"  
Garms - Homolová, Schaeffer, Schepers  
1986
- 131 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 17  
Unfallursachen bei Unfällen von Rettungsfahrzeugen im Einsatz  
Schmidel, Unterkofler  
1986
- 132 Bestandsaufnahme von Art und Dauer der Fahrerschulerausbildung. Für die Fahrerlaubnisklassen 3, 1 und 1b**  
Haas  
1986
- 133 Verbrauch psychotroper Medikamente durch Studenten Ergebnis einer Befragung**  
Joó  
1986
- 134 Analyse von Unfalldunkelziffern**  
Lenhart, Siegener  
1986
- 135 Flächenhafte Verkehrsberuhigung Methodenstudie zur Gefahrenbewertung für verkehrsberuhigte Bereiche**  
Fechtel, Ruske  
1986  
vergriffen
- 136 Geschwindigkeitsverhalten auf Mischflächen**  
Ahrens, Kockelke  
1986
- 137 Prüfverfahren zur Seitenkollision Versuche mit der Krebsgangbarriere**  
Pulschitt, Seifert  
1986
- 138 Führung des Radverkehrs im Innerortsbereich**  
Teil 6: Gemeinsame Verkehrsflächen für Fußgänger und Radfahrer  
Eger, Retzko  
1986
- 139 Bewertung der Lichtsignalsteuerung mit Hilfe der Verkehrskonflikttechnik**  
Hoffmann, Slapa  
1986
- 140 Unfallsituationen und -folgen von Fahrradfahrern**  
Arlaut, Otte  
1986
- 141 Verbesserung der Sichtbedingungen aus Nutzfahrzeugen**  
Henseler, Heuser, Krüger  
1986
- 142 Regelabweichendes Verhalten von Fahrradfahrern**  
Kuller, Gersemann, Ruwenstroh  
1986
- 143 Untersuchung zur Auswirkung der vorübergehenden Anordnung von Tempo 100 auf Bundesautobahnstrecken im Rahmen des Abgas - Großversuchs auf das Unfalgeschehen**  
Marburger, Meyer, Ernst  
1986
- 144 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 18  
Erste Hilfe in der Bundesrepublik Deutschland - Situationsanalyse -  
Kuschinsky, Schmidel, Unterkofler  
1986
- 145 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 19  
Effizienz der Rettungsorganisation  
Borjans  
1986

- 146 **Verkehrserziehung in der Primarstufe: Sozial- kognitive Anforderungen und Konzeption**  
Kötling  
1986
- 147 **Statistische Verfahren zur Analyse qualitativer Variablen**  
Amminger, Kuster  
1985
- 148 **Einführung in das Arbeiten mit GLIM zur Analyse mehrdimensionaler Kontingenztafeln mittels loglinearer und Logit - Modelle**  
Ernst, Brühning  
1987
- 149 **Analyse und Beseitigung von Unfallstellen im außerörtlichen Straßennetz**  
Kraus, Tapp  
1986
- 150 **Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer Band 4 Helmvisiere**  
Buser, Christ, Jessi, Stangl  
1987
- 151 **Wirkung von Neuroleptika auf relevante Aspekte der Fahrüchtigkeit bei schizophrenen Patienten**  
Grübel - Mathyl  
1987
- 152 **Datenbank internationaler Verkehrs- und Unfalldaten**  
Brühning, von Fintel, Nußbaum  
1987
- 153 **Fahrerhaltensuntersuchungen zur Verkehrssicherheit im Bereich von Ortseinfahrten**  
Kockelke, Steinbrecher  
1987
- 154 **Bedeutung, Besonderheiten und Rekonstruktionen der Mehrfachkollisionen von Personenkraftwagen**  
Appel, Otte, Schlichting  
1987
- 155 **Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 20  
Ermittlung abgestufter Richtwerte für die Bereitstellung von Fahrzeugen im Rettungsdienst  
Lenhart, Puhán, Siegner  
1987
- 156 **Sicherheitswidrige und sicherheitsgemäße Reaktionen auf den eigenen Kraftfahrzeugunfall**  
Echterhoff  
1987
- 157 **Fahrersuche und Labortests unter Einfluß von Diazepam**  
Reiter  
1987
- 158 **Untersuchungen zu Determinanten der Geschwindigkeitwahl**  
Band 1  
Auswertung von Geschwindigkeitsprofilen auf Außerortsstraßen  
Bald  
1987
- 159 **Aktion "Minus 10 Prozent" in Österreich**  
Risser, Michalik  
1987
- 160 **Technikwissen und Fahrverhalten junger Fahrer**  
Kuster, Reiter  
1987
- 161 **Straßenverkehrsbeteiligung von Kindern und Jugendlichen**  
Wittenberg, Wintergerst, Passenberger, Büschges  
1987
- 162 **Bedeutung der Fahrstundenzahl für die Gefährdung von Fahranfängern - Methodenentwicklung und Ergebnisse -**  
Haas  
1987
- 163 **Einsatzkriterien für Anlagen des Fußgängerquerverkehrs - Ergänzungsuntersuchung -**  
Neumann  
1987
- 164 **Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 21  
Analyse und Beurteilung der Notfallrettung in Berlin  
Garms - Homolová  
1987
- 165 **Ein Beitrag zur Beschreibung des Sicherheitsempfindens von Fußgängern auf innerstädtischen Straßen**  
Ahrens  
1987
- 166 **Vorher/Nachher - Untersuchungen zu Umbaumaßnahmen an Ortseinfahrten im Kreisgebiet Neuss**  
Kockelke, Rossbander, Steinbrecher  
1987

- 167 Methodik und Analyse von (simultanen) Wirksamkeitsuntersuchungen**  
Brühning, Ernst, Arminger  
1987
- 168 Blickverhalten und Informationsaufnahme von Kraftfahrern**  
Cohen  
1987
- 169 Untersuchungen zu Determinanten der Geschwindigkeitswahl**  
Bericht 2  
Streckencharakteristik und Geschwindigkeitswahl  
Otten, Schrollf  
1988
- 170 Wirksamkeit der Nachschulungskurse bei erstmals alkoholauffälligen Kraftfahrern**  
- Bestandsaufnahme nach drei Jahren -  
Stephan  
1988
- 171 Verantwortliches Handeln im Straßenverkehr**  
- Literaturstudie -  
Schmidt  
1988
- 172 Untersuchungen zum Rettungswesen**  
Bericht 22  
Analyse und Beurteilung der Notfallrettung in Berlin  
Stellenwert des NAW-Dienstes im Einsatzspektrum des  
Notfallrettungsdienstes  
Hütter  
1988
- 173 Biomechanische Belastungsgrenzen**  
Aktualisierte Literaturstudie zur Belastbarkeit des  
Menschen beim Aufprall  
Güllich  
1988

Ab der lfd. Nr. 93 werden die Forschungsberichte des Bereiches Unfallforschung der Bundesanstalt für Straßenwesen zum Preis von DM 10,— (sehr umfangreiche Berichte DM 15,—) verkauft.

Vorherige Hefte werden, soweit nicht vergriffen, zum Stückpreis von DM 5,— abgegeben. Die vergriffenen Veröffentlichungen können in der BAST eingesehen werden.

Bei Interesse am Dauerbezug besteht die Möglichkeit des Abonnements, gegen Vorauszahlung eines Betrages von DM 100,— jährlich, werden alle im betreffenden Jahr erscheinenden Hefte beider Reihen kostenfrei zugesandt. Einzelhefte und Abonnements sind zu beziehen durch: Verlag G. Mainz, Neupforte 13, 5100 Aachen, Telefon 0241/27305