

An Overview of Study on Correlation between NCAP Score System and Real-world Car-to-car Accidents

CHEN Huipeng, WANG Wenxia, ZHENG Heyue, FU Lianxue, LI Hongguang, XING Fuliang
(China Automotive Technology & Research Center, Tianjin, 310062, China)

Abstract: During last several years, many research based on real life car to car crashes have been made to study the safety level provided by the crash testing as a valid prediction for occupant injury risk in accidents. Assessment of vehicle occupant injury outcomes from the analysis of real crash data is important not only for measuring the safety performance of particular vehicle models but also for monitoring the design improvements in vehicles over time. This paper is to review research achievements in correlation between NCAP score system and real-world car-to-car accidents, including several methods used by Australia, Japan and Europe, absolute and relative injury risk based on paired comparison, logic regression technology, and mass influence adjustment.

Keywords: car-to-car accidents, correlation, injury risk, New Car Assessment Program

乘用车事故中乘员损伤风险与试验评价体系的相关性研究现状

陈辉鹏, 王文霞, 郑贺悦, 傅连学, 李宏光, 邢富亮
(中国汽车技术研究中心, 天津 310062)

摘要: 过去多年, 对于碰撞试验程序评出的车辆安全性是否合理地反映了真实事故中的乘员损伤风险, 许多研究采用真实的乘用车事故数据进行了分析。利用交通事故数据评估车辆乘员损伤结果不仅可以衡量车型的安全性能, 而且可以追踪车型的改进设计。本文综述了乘用车事故中乘员损伤风险与新车评价体系的相关性研究现状, 包括澳大利亚, 日本与欧洲采用的几种乘员损伤风险的计算方法, 基于成对比较的绝对与相对损伤风险, 逻辑回归, 以及质量影响的调整等。

关键词: 车-车事故, 相关性, 损伤风险, 新车评价体系

2 引言

新车评价体系 (NCAP) 已经问世多年, 作为提供给消费者汽车安全性评级的参考资源, 该程序促进了汽车安全的发展, 并激励了汽车制造商关注汽车的安全性能。过去多年, 对于碰撞试验程序评出的车辆安全性是否合理反映了真实事故中的乘员损伤风险, 许多研究采用真实的乘用车事故数据进行了分析, 并发布了许多研究结果。近十多年澳大利亚MONASH大学一直采用英国、德国、法国、澳大利亚和新西兰的大量事故数据计算车辆的乘员损伤风险和损伤严重性, 来对比澳大利亚的ANCAP和欧洲Euro NCAP试验结果^[1-5]。2002年, 瑞典国家公路管理局发布了ANDERS LIE对Euro NCAP的试验结果和瑞典的真实事故进行的相关性研究的报告, 该研究涉及了一万多例交通事故数据^[6-7]。1994年, 美国高速公路管理局NHTSA也发布了Charles J. Kahane的基于两车碰撞事故的研究报告^[8]。日本汽车研究所采用ITARD的四千多起行人事故数据研究了事故中行人致死率/重伤率与JNCAP行人头部保护性能评价等级的相关性, 同时分析了行人致死率/重伤率与车型有无行人保护设计的关系, 研究中调整了包括行人性别、年龄、行人是否有过失、车辆行驶速度、事故发生时白天/夜晚等因素的影响^[9]。

1.1 目前存在的安全评级系统

利用真实交通事故数据评估车辆乘员损伤结果不仅可以衡量特定车型的安全性能, 而且可以追踪车型之后的改进设计。为此, 出现了许多通过分析警方事故数据损伤结果来评价车辆相对安全等级的机构。发达国家的这些机构定期发布车辆安全评级, 为消费者提供信息参考。欧洲有三个这样的研究组织: 芬兰奥卢大学的道路交通实验室 (Huttula, Pirtala and Ernvall 1997); 英国环境交通部 (DETR) (1995); 和瑞典 Folksam 保险公司 (Hägg et al 1992; Kullgren 1999)。另外两家安全等级评价系统国际组织为: 澳大利亚的莫纳什大学事故研究中心 (MUARC), (Newstead, Cameron and Le 2000), 以及德国大众汽车公司 (Achmus and Zobel 1997)。

3 研究方法

目前采用的统计分析方法的基础是成对比较分析, 即采用两车相撞的事故数据来分析两车之间的相对安全性。通过比较事故车辆和对方车辆的乘员损伤状况来计算车辆中乘员损伤的相对风险。然后, 由于各事故的条件是不一样的, 且其中某些条件因素可能会明显影响乘员损伤风险和损伤严重性, 因此, 为了客观地研究各类车辆的乘员相对损伤风险, 需要通过逻辑回归调整这些因素的影响。

2.1 损伤风险的计算方法

在成对分析方法中, 碰撞结果被分成四组, 即: 两车都有驾驶员损伤, 仅事故车辆中驾驶员损伤, 仅对方车辆中驾驶员

损伤，两车中均无驾驶员损伤。假设共有涉及车型 k 的 N 起两车事故， P_{1k} 为 k 车驾驶员平均损伤概率， P_{2k} 为与 k 车相撞的所有对方车辆的驾驶员平均损伤概率。假设 P_{1k} 、 P_{2k} 相互独立，按照 k 车和对方车辆驾驶员是否有损伤加以分类，列出 2×2 表格为事故频数的期望值，见表 1。

表 1 两车事故 (k 车和对方车辆) 的期望值

事故车辆 k	对方车辆		
	损伤	未损伤	
损伤	$N P_{1k} P_{2k}$	$N P_{1k} (1-P_{2k})$	$N P_{1k}$
未损伤	$N (1-P_{1k}) P_{2k}$	$N (1-P_{1k}) (1-P_{2k})$	$N (1-P_{1k})$
	$N P_{2k}$	$N (1-P_{2k})$	N

把事故频数的观察值分别代入表 1，得到表 2。若数据系统中没有无损伤事故的统计，则 n_{nnk} 未知。

表 2 两车事故 (k 车和对方车辆) 的观察值

事故车辆 k	对方车辆		
	损伤	未损伤	
损伤	n_{iik}	n_{ink}	$n_{iik} + n_{ink}$
未损伤	n_{nik}	n_{nnk}	$n_{nik} + n_{nnk}$
	$n_{iik} + n_{nik}$	$n_{ink} + n_{nnk}$	N

当 n_{nnk} 已知时，N 便已知，由表 2 可以得出 k 车驾驶员损伤风险的无偏估计量。澳大利亚(Newstead et al, 2002)和芬兰(Huttula et al, 1997)汽车耐撞性评价机构也使用此估计量，其定义和期望值为

$$R_{Ck} = \frac{n_{iik} + n_{ink}}{N} \quad E(R_{Ck}) = p_{1k}$$

即 R_{Ck} 为 k 车驾驶员损伤风险的无偏估计量。

近来，车辆安全等级评价机构开始关注车辆对与其相碰撞的对方车辆驾驶员造成的损伤风险，即侵略性。同表 1，Cameron 提出了一种基于包含有损伤和无损伤的两车事故的侵略性计算方法。侵略性损伤风险定义及其数学期望值为

$$R_{Ak} = \frac{n_{iik} + n_{nik}}{N} \quad E(R_{Ak}) = p_{2k}$$

同耐撞性损伤风险计算一样， R_{Ak} 为 k 车对相撞车辆驾驶员损伤风险的无偏估计量。侵略性提出之前，经常假设所有车型的 P_{2k} 是相同的。然而，Cameron 用真实事故数据计算侵略性，揭示不同车型的侵略性差别很大。鉴于欧洲耐撞性计算方法仅基于损伤数据，侵略性非常重要。

以上的耐撞性和侵略性的计算都是基于 n_{nnk} 已知的情况，即研究的事事故数据库包含有损伤和无损伤的两车事故。而欧洲耐撞性计算方法仅基于损伤数据（只考虑至少有一车驾驶员受伤的两车事故），即 n_{nnk} 和总数 N 均为未知，针对这种情况，以下几个研究机构提出了各自的计算方法。

2.1.1 Folksam

Folksam 车辆安全等级评价机构定义 k 车的相对损伤风险估计量为

$$R_{Fk} = \frac{n_{iik} + n_{ink}}{n_{iik} + n_{nik}}$$

即 k 车有驾驶员损伤的事故起数/与 k 车相撞的所有车辆中有驾驶员损伤的事故起数。Folksam 描述其为 k 车的驾驶员损伤风险相对于对方车辆整体的平均驾驶员损伤风险。 R_{Fk} 的期望值为

$$E(R_{Fk}) = \frac{N P_{1k}}{N P_{2k}} = \frac{P_{1k}}{P_{2k}}$$

2.1.2 DETR

英国 DETR 损伤风险计算方法定义 R_{Dk} 及其期望值为：

$$R_{Dk} = \frac{n_{iik} + n_{ink}}{n_{iik} + n_{ink} + n_{nik}} \quad E(R_{Dk}) = \frac{P_{1k}}{P_{1k} + P_{2k} - P_{1k} P_{2k}}$$

设一起 k 车参与的事故中至少一车驾驶员有损伤， R_{Dk} 为 k 车的损伤风险。从 R_{Dk} 的期望值可见，同 Folksam 方法一样，DETR 既是耐撞性 P_{1k} ，也是侵略性 P_{2k} 的函数。同 DETR 损伤风险，Broughton (1996) 提出了侵略性计算方法，其定义和

相应的期望值为:

$$A_{Dk} = \frac{n_{iik} + n_{nik}}{n_{iik} + n_{nik} + n_{ink}} \quad E(A_{Dk}) = \frac{P_{2k}}{P_{1k} + P_{2k} - P_{1k}P_{2k}}$$

A_{Dk} 并非 R_{Dk} 的倒数, 是依照 Folksam 侵略性计算方法推导出来的, Broughton (1996) 还提出 A_{Dk} 与 R_{Dk} 完全不独立。

2.1.3 Oulu

Oulu 损伤风险计算方法的定义和相应的期望值为

$$R_{Ok} = \frac{n_{iik} + n_{ink}}{2n_{iik} + n_{nik} + n_{ink}} \quad E(R_{Ok}) = \frac{P_{1k}}{P_{1k} + P_{2k}}$$

从概念上来看, Oulu 损伤风险是两车事故中 k 车驾驶员损伤数与两车驾驶员损伤总数的比值。同 DETR、Folksam 方法一样, Oulu 损伤风险计算方法也是耐撞性、侵略性混合函数。

2.1.4 Monash (一种基于损伤事故数据的安全评级体系)

以上三种车辆耐撞性计算方法, 都克服了事故数据仅含至少一车驾驶员有损伤的局限。都在无损伤事故数据缺乏的情况下找到了计算驾驶员损伤风险的方法。然而, 这些方法只是在计算和概念上不同, 在利用事故数据得出驾驶员损伤风险的估计值方面都具有不足。Folksam 相对损伤风险计算方法不仅是耐撞性 P_{1k} , 也是侵略性 P_{2k} 的函数。如果两个车型具有相同的驾驶员损伤风险、不同的侵略性, 侵略性越高的车型在 Folksam 体系中等级越好。若使所有车型的相对损伤风险 R_{Fk} 具有可比性, 前提是每一种车型的侵略性损伤风险 P_{2k} 要一致。Folksam 认为事实即是如此, 每一种车型都与一个相同的车辆整体相撞。然而, 此假设忽略了不同的车型与他们相撞的车型之间具有不同的驾驶员损伤风险, Cameron (1998) 对此假设提出质疑。根据假设定义, 每一车型具有相同的侵略性, 设为 P_{2k} , 因此, 若 Folksam 的相对损伤风险计算方法被采用, 那么 Folksam 得出车辆侵略性没有相应的独立。

与 Folksam 一样, 上述三种基于两车损伤事故的耐撞性评价方法都是耐撞性和侵略性的混合函数, 为了解决这个问题, MONASH 提出了一种新的计算损伤风险的方法, 克服了现有三种方法的一个重要缺陷。按照表 1 中的基本概念, 其定义和相应的期望值为

$$R_{Nk} = \frac{n_{iik}}{n_{iik} + n_{nik}} \quad E(R_{Nk}) = P_{1k}$$

R_{Nk} 为 p_{1k} 的无偏估计量, 与 p_{2k} 无关。新方法是绝对对损伤概率的估计值, 所以可以应用逻辑回归的方法。它允许同时调整影响损伤风险除车型外的其他伴随因素, 比如驾驶员年龄、性别、事故环境, 英国、澳大利亚的耐撞性评级体系也是应用此方法。所研究车辆的二分类的损伤结果成为逻辑回归模型中的独立变量。

2.2 非车辆因素的调整

2.2.1 影响因素与逻辑回归

由于各事故的条件是不一样的, 且其中某些条件因素可能会明显影响乘员损伤风险和损伤严重性。因此, 为了客观地研究各类车辆的乘员相对损伤风险, 需要调整和排除这些因素对研究结果的干扰。将这些被认为影响了乘员损伤严重程度的参数放到逻辑回归模型中, 以计算出车辆安全性的无偏估计。图1为影响事故中乘员损伤风险的各种因素。在这些因素中, 车辆的安全性能是研究的最终目标, 因此除了车辆的安全性能以外的其它因素的影响都需要在逻辑回归分析中进行调整。式(1)为逻辑回归方程, 式中P是乘员损伤风险, 它等于有乘员损伤的车辆数除以涉及的车辆总数, β_1 至 β_k 为影响乘员损伤严重性的各因素。逻辑方程中调整的影响因素包括乘员性别, 年龄, 驾驶员责任, 车辆行驶速度, 白天或黑夜等等。在统计分析软件SAS或SPSS中, 通过逐步选择的方法来选择这些变量。

$$\ln \frac{P}{1-P} = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \dots + \beta_k \cdot X_k \quad (1)$$

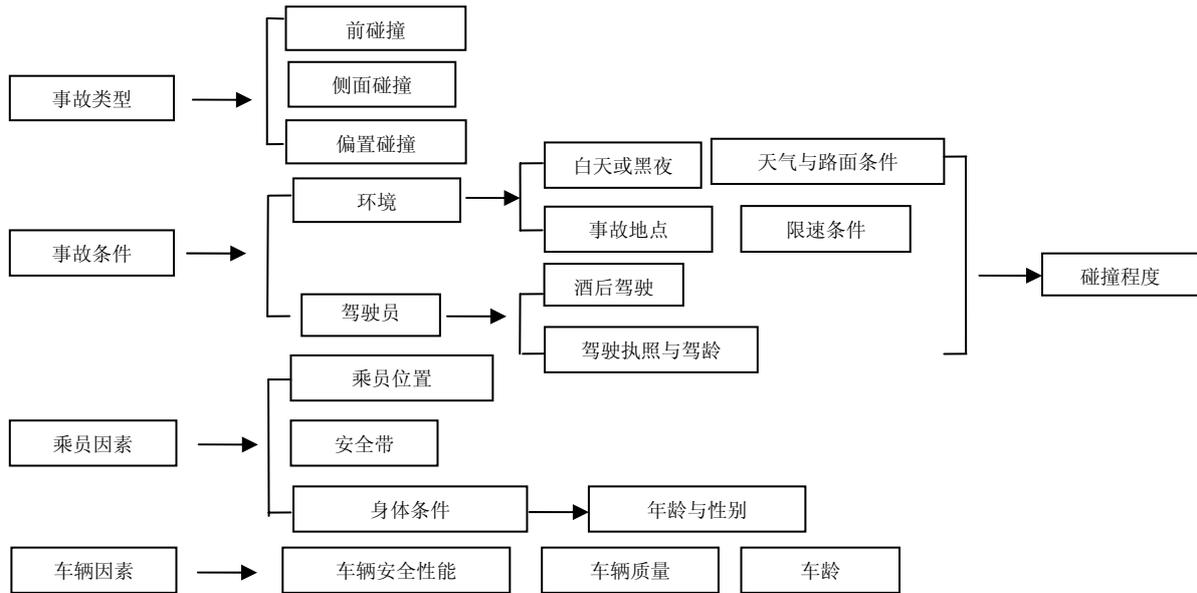


图1 影响事故中乘员损伤风险的各种因素

2.2.2 质量补偿

若事故车辆与对方车辆质量有差异，那么两车碰撞严重程度与当两车质量相等时的情况是不同的。如果事故车辆轻于平均车重，速度变化 ΔV 将大于平均车辆的 ΔV ，同时，对方车辆的速度变化将小于平均车辆。因此，质量对相对损伤风险有双重影响，必须考虑车辆质量的影响。

障碍物碰撞试验相当于该车碰撞一台同质量的车辆，此时车辆质量不会影响其在试验中的碰撞严重性，然而在真实事故中车辆重量会影响其碰撞严重度。为了完全移除质量的影响，允许把障碍物碰撞试验与真实事故直接比较，车辆质量应该得到补偿。Anders Lie的研究认为车辆质量与平均质量每相差100kg，其平均损伤风险（包括严重损伤和致命损伤）将提高或降低7%，采用这一结论建立的补偿方程见式（2）。

$$R_{comp} = R_1 \frac{1.07^{((M_{case} - M_{avg})/100)}}{1.07^{((M_{opp} - M_{avg})/100)}} \quad (2)$$

由于两车的质量不同，导致两车的速度变化 ΔV 不同。当运用成对比较方法计算某类车型的平均损伤风险时，可以推导出基于速度变化 ΔV 的损伤风险函数，它可以揭示损伤风险和速度变化的关系。这种方法应用的是车-车事故中两车质量间的差异，根据动量守恒定理，车辆的速度变化取决于两车的相对质量和质量比例，见式（3）。

$$\Delta v = v_{rel} \left(M_2 / (M_1 + M_2) \right) \quad (3)$$

在MONASH的研究中，采用了逻辑回归法来调整车辆质量对事故耐撞性评级的影响，见式（4）。式中 C_j^{MA} 为调整后的耐撞性， C_j 为实际耐撞性， C_j^m 为该质量代入方程的耐撞性（即该质量所代表的车辆平均耐撞性）， C_a 为所有车辆平均质量代入方程的耐撞性。

$$\text{logit}(p) = \ln(p/(1-p)) = \alpha + \beta W_j \quad C_j^{MA} = C_j - C_j^m + C_a \quad (4)$$

4 研究结果

MONASH大学事故研究中心1997年发布的研究结果显示：欧洲的数据表明随着安全性评级的提高汽车在事故中的耐撞性也是提高的，但澳大利亚和新西兰的数据显示相关性不是那么强。所有国家都有一个共性的研究结果，即并不是任何一个NCAP评级低的车型其事故中耐撞性一定低。英国和法国的前碰撞的数据显示的相关性很弱，针对英国的侧面碰撞的计算结果显示了很强的相关性，星级评价平均每增加一级，损伤风险大约降低20%。总体结论为随着安全性评级的提高汽车在事故中的耐撞性也会更高，但这种关系不是线性的。研究结果还显示，NCAP的推出促进了汽车安全性的提高，对于英国和法国的严重损伤的事故来说，这种提高更明显。总的来说，法国和德国的相关性最强，其中法国对于严重损伤的定义更严格（驾驶员住院6天以上）。但是Euro NCAP的试验结果与澳大利亚和新西兰的数据之间几乎没有相关性，可能是因为在这两个国家能用来分析的合适车辆很少，汽车模型的分析范围与欧洲相比有很大的区别，损伤的分级也不一样。需要注意的是

这只是一个平均性和整体性的结论，对于每个个体的车辆，其结论有很大的差异。

MONASH大学1999年发布的进一步研究结果显示（增加了单独对于前碰撞和侧面碰撞的研究）：比起完全的前碰撞，ANCAP偏置碰撞的试验结果与真实事故具有更强的相关性；对于所有的碰撞类型，ANCAP试验结果与真实事故损伤风险和损伤严重性都具有很强的相关性，两车迎面相撞的相关性比其它碰撞更强一点。质量调整后相关性会更强。NCAP完全前碰撞的大腿轴向力实验结果与真实事故中的腿部最大AIS值之间有很好的相关性，同时HIC值也与事故结果有微弱的相关性。对于偏置碰撞，头部区域的得分也与真实事故中的最大AIS值之间有很强的相关性，而胸部和腿部区域的相关性较弱。同时，前碰撞试验的大腿载荷和事故中的腿部平均最大AIS，以及偏置碰撞试验胸部载荷和事故中的胸部最大AIS之间也有很好的联系。ANCAP的说明明确提出“试验可以较好地评价乘员保护的效能，但是这是在不考虑汽车重量的前提下的，在不同质量车辆的完全前碰撞中，较轻的车会遭遇更大的乘员损伤风险，因此NCAP的试验结果对于车重在同一范围内的汽车之间的比较更有意义。”

2002年瑞典交通部发布的研究结果表明，对于汽车与汽车相撞的交通事故，当考虑严重或致命损伤时，Euro NCAP的试验车型评价结果能合理地预测瑞典的真实事故中的乘员损伤风险。但是对于轻微损伤事故，各车型的乘员损伤风险没有明显的区别。在车车相撞的事故中，三星和四星的车型大约比两星或未做评级的车型的安全性高出30%。对于严重和致命损伤的事故，每个星级的车型的相对损伤风险大约相差12%。

NHTSA的研究结果表明，在不考虑驾驶员的性别、年龄和汽车重量的情况下，对于系安全带的驾驶员，其车型的NCAP得分与头部损伤、胸部加速度和大腿轴向力之间有重大的联系。在相同汽车重量的情况下，得分较高的NCAP车的驾驶员比起得分较低的车型的驾驶员，其致命损伤的风险大约低20%-25%。甚至仅对于某一体区域（如头部、胸部或腿部），如果试验评分较高，致命损伤的风险也会明显降低。对于不同的汽车制造年限，1991年生产的车型比起1979年的车型，在车车碰撞中的致命损伤风险大约降低了20%-25%，其中主要的下降集中于1982年后生产的车型。研究认为随着试验标准的提高，在实际事故中车内乘员的损伤风险在明显降低。

JARI的研究揭示了致死率/重伤率与行人头部保护性能评价星级的相关性，发现行人保护星级得分越高的乘用车在真实交通事故中能更好地保护行人免于严重伤害。同时，无行人保护设计的车型的致死率/重伤率高于考虑了行人保护设计的车型，即在行人事故中，有行人保护设计的乘用车更加安全。

5 结论

本文综述了乘用车事故中乘员损伤风险与新车评价体系的相关性研究现状，包括基于成对比较的几种损伤风险算法，逻辑回归，以及质量影响的调整等。通过大量的事故数据分析，国外的这些研究结果确认了试验评估程序的推出促进了车辆安全性的提高，揭示了试验评价等级和事故乘员损伤风险的相关性。虽然有部分研究结论和预期的不完全一致，特别是单独对于前碰撞或侧面碰撞，或单独对于某个国家或地区的数据，且结论并不完全适用于每辆车，但总的来看，试验中安全性评级高的车型在事故中车辆耐撞性会更高。

参考文献

- [1] Stuart Newstead, Amanda Delaney, Max Cameron and Linda Watson, Study of the Relationship between Injury Outcomes in Police Reported Crash Data and Crash Barrier Test Results in Europe and Australia. Report No.248, Monash University Accident Research Center, Australia, 2006, 03.
- [2] Max Cameron, Sanjeev Narayan, Stuart Newstead, Comparative Analysis of Several Vehicle Safety Rating Systems. The 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Amsterdam, the Netherlands, June 4 - 7, 2001. Paper Number 2001-S4-O-68.
- [3] Stuart Newstead, Max Cameron, Updated Correlation of Results from the Australian New Car Assessment Program with Real Crash Data from 1987 to 1996. Report No.152, Monash University Accident Research Center, Australia, 1999, 03.
- [4] Stuart Newstead, Amanda Delaney, Klaus Langwieder, Injury Risk Assessment from Real World Injury Outcomes in European Crashes and Their Relationship to EuroNCAP Test Scores. The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Washington D.C. June 6-9, 2005. Paper Number 05-0071.
- [5] Stuart Newstead, Max Cameron, Correlation of Results from the New Car Assessment Program with Real Crash Data. Report No.115, Monash University Accident Research Center, Australia, 1997, 06.
- [6] Anders Lie, Claes Tingvall, How Do EuroNCAP Results Correlate with Real-Life Injury Risks? A Paired Comparison Study of Car-to-Car Crashes. Traffic Injury Prevention, 2002.
- [7] Anders Lie, Anders Kullgren, Claes Tingvall. Comparison of Euro NCAP Test Results with Folksam Car Model Safety Ratings. The 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Amsterdam, the Netherlands, June 4 - 7, 2001. Paper number 277.
- [8] Charles J. Kahane. Correlation of NCAP Performance with Fatality Risk in Actual Head-On Collisions. DOT HS 808 061,

- NHTSA Technical Report, 1994, 01.
- [9] Kei Takeuchi, Takahiro Ikari, Correlation between JNCAP Pedestrian Head Protection Performance Tests and Real-World Accidents. The 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Conference (ESV) in Lyon, France, June 18-21, 2007. Paper Number 07-0203
 - [10] Michael Kleinberger, Emily Sun, Rolf Eppinger, Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint Systems. NHTSA Technical Report, 1998, 09.
 - [11] Jean-Louis Martin, Yves Derrien, Bernard Laumon, Estimating Relative Driver Fatality and Injury Risk According to Some Characteristics of Cars and Drivers Using Matched-Pair Multivariate Analysis. The 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) Proceedings - Nagoya, Japan, May 19-22, 2003. Paper No. 364.
 - [12] Vesa Laine, Timo Ernvall, Max Cameron, Stuart Newstead, Aggressivity Variables and Their Sensitivity in Car Aggressivity Ratings. The 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Amsterdam, The Netherlands, June 4 - 7, 2001. Paper Number 2001-S4-O-190.
 - [13] Krafft M*, Kullgren A*, Lie A**, Tingvall C***, Injury Risk Functions for Individual Car Models. The 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Amsterdam, The Netherlands, June 4 - 7, 2001. Paper number 168.
 - [14] Max Cameron, Magda Les, Timo Ernvall, Empirical Comparison of Vehicle Aggressivity Rating Systems. The 17th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Amsterdam, The Netherlands, June 4 - 7, 2001. Paper Number 2001-S7-O-133.
 - [15] Douglas Gabauer, Robert Thomson, Correlation of Vehicle and Roadside Crash Test Injury Criteria. The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) - Washington D.C. June 6-9, 2005. Paper Number 05-0283.
 - [16] Klaus Langwieder, Hans Biumler, Brian Fildes, Quality Criteria for Crashworthiness Assessment from Real Accidents. The 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) Proceedings - Windsor, Ontario, Canada, May 31- June 4, 1998. Paper Number 98-S11-O-08.