

Study on Abdominal Pressure Injury of Child Occupant Based on ECE R129 Regulation

Xu Zhe, Gao GuanYu, Liu DongChun

China Automotive Technology and Research Center Co. Ltd, Tianjin, CHINA, 300300

Email: xuzhe@catarc.ca.cn

Abstract: In the car collision accident, the abdomen of the child is the third most vulnerable site after the head and chest. However, there are still relatively few studies on children's abdominal injuries at home and abroad. Based on the latest European ECE R129 regulations, this article focuses on the study of the injury mechanism and biomechanical response of children's abdomen in frontal and side collisions. Through several tests and using Q-series dummy, we explored the protective effect of child restraint system on children's abdomen with different installation methods in front and side collisions, and explored the law of abdominal injury. Studies shows that in the shield installation mode, the difference in the way of collision has the greatest impact on abdominal pressure, followed by the five-point seat belt mode and the three-point seat belt mode. In the frontal collision, the abdominal pressure caused by the shield installation method is largest, about 3 times that of the three-point belt. In the side impact, the abdominal pressure caused by the three fixed methods is relatively close, and the abdominal pressure caused by the shield installation method is significantly smaller than that in the frontal collision. For the integral child restraint system with five-point fixed, abdominal injury tends to increase with the age of the child; for children of the same age, the rearward facing installation is beneficial to the protection of the child's abdomen.

Keywords: ECE R129; child restraint system; abdominal injury ; installation methods; Collision mode

基于 ECE R129 法规的儿童腹部压力损伤研究

徐哲,高冠宇,刘东春

中国汽车技术研究中心有限公司,天津市, 中国,300300

Email: xuzhe@catarc.ca.cn

摘要: 在汽车碰撞事故中, 儿童腹部是继头、胸部之后第三大最易受伤的部位, 但是目前国内外对于儿童腹部损伤的研究还比较少。本文基于最新的欧洲 ECE R129 法规, 着重研究儿童乘员在不同碰撞方式和安装方式下腹部的损伤机理和生物力学响应。通过多次试验, 利用 Q 系列儿童假人, 探究了在正面和侧面碰撞中, 不同安装方式的儿童约束系统对儿童乘员腹部的保护效果, 并探究腹部损伤规律。研究表明: 在前置护体安装方式下, 碰撞方式的不同对腹部压力的影响最大, 五点式安全带固定次之, 三点式安全带固定最小。在正面碰撞中, 前置护体式安装方式造成的腹部压力较大, 是三点式固定方式的 3 倍左右; 在侧面碰撞中, 三种固定方式造成的腹部压力比较接近, 且前置护体固定方式下的腹部压力明显小于正面碰撞。对于五点式固定的整体式儿童约束系统, 腹部损伤随儿童年龄的增大有增大的趋势; 对于相同的年龄的儿童, 后向安装有利于儿童腹部的保护。本电子文档定义了学术会议论文集的文章格式。

关键词: ECE R129; 儿童约束系统; 腹部损伤; 安装方式; 碰撞方式

1 前言

在交通事故中, 儿童作为弱势群体, 其伤亡的概率远大于成年人^[1]。美国 NASS 通过调查分析道路交通事故事

故中人体各部位损伤的数据得出：头部损伤比例占 35.3%，胸部损伤比例占 26.7%，腹部损伤比例占 18.2%，下肢损伤比例占 5.1%，颈部损伤比例占 4.6%，上肢损伤比例占 4.1%，面部损伤比例占 2.8%^[2]，可见交通事故中除了头胸部易受损伤外，腹部是人体第三处易受损伤的部位^{[3][4]}。同时，儿童的腹部在整个身体中所占比例比成人的要大，但腹部骨结构对腹部内脏的保护要少，在发生碰撞或撞击时，腹部内脏组织更容易发生压缩变形，造成组织的损伤及血管的破裂^{[5][8]}。

目前针对人体腹部损伤的研究多集中在成人，比如在 CNCAP 中国新车评价规程中对于成人假人利用腹部变形量来评价腹部损伤；Rouhana 等人^{[9][11]}在侧碰条件下使用麻醉后的兔子进行的试验证明损伤程度与最大碰撞速度 V 和最大压缩量 C 的乘积有很大关系， VC_{max} 是时间函数，比 V_{max} 和 C_{max} 更能洞悉腹部损伤情况；欧洲侧碰规则 ECE R95 提出腹部加载的极限水平的概念，使用 Euro-SID 假人得出的腹部力峰值要小于等于 2.5KN 内力^{[12][13]}等等，但是目前对于儿童腹部损伤的研究还比较少。各国儿童约束系统法规和评价体系中仅仅 ECE R129 法规中提出了在动态试验过程中要考核儿童的腹部损伤指标，提出了腹部压力的指标和限值。

为此，本文基于 ECE R129 法规要求，利用 Q 系列儿童假人，针对不同的碰撞方向、不同安装方式进行测试，分析在正面和侧面碰撞中，不同安装方式下对儿童腹部的保护效果，探究儿童腹部损伤规律，也为儿童约束系统的设计开发提供参考。

2 假人腹部压力传感器

2.1 儿童与成人腹部结构

新生儿的肝脏主要特征是占腹腔容积比例相当大，约有 2/5 左右。肝在腹部上部占有的位置比成年人得多，以致明显的影响到腹部外形，腹前壁隆起，使腹部成为躯干体腔最宽之处。另外，儿童时期，肝脏的比邻关系与成年人有很大的区别。肝是腹腔内最大的器官，且位于右上腹部，在碰撞过程更容易受到损伤，损伤严重时会造成儿童死亡。其腰椎的横突和棘突没有成人的发育完全，在尺寸上比成人的短。儿童的肋骨和胸骨较软，加之胸廓位置较高，肝和脾的大部分位于胸廓之外，因此儿童腹部脏器与成人的相比较，大部分得不到骨骼的保护。儿童腹部肌肉发育也不完全，相对成人的肌肉要薄、弱一些，加之缺少脂肪组织，也不能很好的保护腹腔脏器^[14]，如图 1 和图 2。

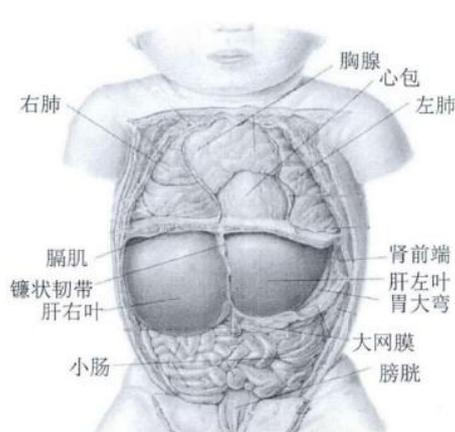


Figure 1. torso anatomy of children
图 1 儿童躯干解剖图

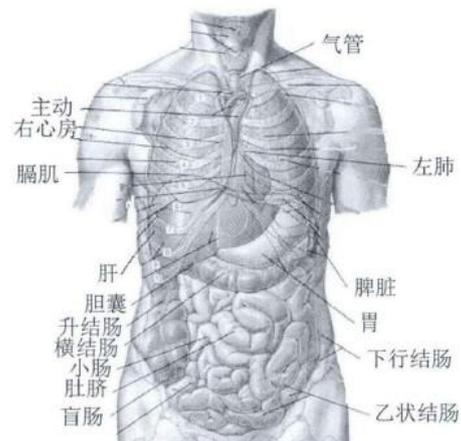


Figure 2. torso anatomy of adult
图 2 成人躯干解剖图

2.2 假人腹部压力传感器

在 ECE R44 中，P 系列儿童假人是使用腹部黏土的变形来定量的表征儿童腹部的伤害情况，而 ECE R129 使用 Q 系列儿童假人，并配备了新型的腹部压力传感器，来定量的考察儿童腹部损伤。和普通的传感器不同，

腹部压力传感器的外形是一个圆柱形的聚氨酯水囊，内部装有无毒液体，在水囊上有一个铝制的盖子，在盖子中嵌有压力感知单元，如图 3。



Figure 3. Abdominal Pressure Twin Sensors
图 3 腹部压力传感器

腹部压力传感器（Abdominal Pressure Twin Sensors）是成对的使用，对于不同假人分不同的尺寸规格，比如 Q1.5 使用直径为 30mm，Q3 和 Q6 使用直径为 40mm，Q10 直径为 50mm。如图 4。

Nominal diameter	APTS 30mm	APTS 40mm	APTS 50mm
Dummy	Q1.5	Q3、Q6	Q10
Illustrations			

Figure 4. size of Abdominal Pressure Twin Sensors for each dummy
图 4 各个假人的腹部压力传感器尺寸

传感器平行的安装在假人腹部的两个盲孔中，如图 5。

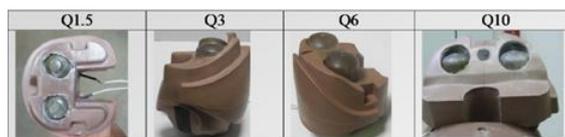


Figure 5. installation of Abdominal Pressure Twin Sensors for each dummy
图 5 各个假人腹部压力传感器安装

同时，ECE R129 中首次提出了腹部压力损伤的限值，并强制考察，如表 1。

Table 1. limit of Abdominal Pressure Twin Sensors for each dummy
表 1 各个假人腹部压力限值

指标	单位	Q0、Q1	Q1.5	Q3	Q6	Q10
腹部压力	Bar	NA	1.2	1.0	1.0	1.2

3 试验方法

本文基于 ECE R129 法规，利用加速式台车进行正面和侧面碰撞试验，将正面和侧面碰撞夹具安装在台车台面上，正面碰撞速度为 50-52km/h，侧面碰撞速度是 6.375-7.25m/s，如图 6 和图 7 所示。



Figure 6. Frontal collision
图 6 正面碰撞



Figure 7. Side collision
图 7 侧面碰撞

试验利用不同安装方式的儿童约束系统分别进行正面和侧面碰撞试验，包括五点式安全带固定儿童、三点式安全带固定儿童、前置护体式固定儿童三种，测试均使用 Q3 假人，测试矩阵如表 2 所示。

Table 2. Collision test matrix
表 2 碰撞测试矩阵

序号	碰撞方向	固定方式
1	正碰	五点式
2		三点式
3		前置护体(shield)
4	侧碰	五点式
5		三点式
6		前置护体(shield)

4 试验结果

4.1 不同碰撞方式下腹部压力对比

正面碰撞是发生概率最高的一种碰撞形式，而 CASIMIR (Child Accident Study Investigating Fatal Incident on Road) 的一项统计中指出，对于儿童，侧面碰撞是发生频率仅次于正面碰撞的一种碰撞类型^[15]，因此本文选取正面碰撞和侧面碰撞的工况，对比每一种安装方式下的腹部损伤。

对于儿童固定的方式来讲，一般为三点式安全带固定、五点式安全带固定、以及前置护体固定。如图 8-9 所示，使用三点式安全带固定儿童，分别进行正面和侧面碰撞，并得到腹部压力损伤值，如图 10 所示。因腹部压力传感器是成对使用的，会采集到左右两个值，在法规中考察最大值是否超出限值。可以看到在使用三点式安全带固定时，在正碰和侧碰中左侧的腹部压力值都略大于右侧，这可能与安全带的佩戴方向有关。侧面碰撞下腹部压力值略大于正碰，正面碰撞最大腹压值为 0.26Bar，侧面碰撞最大腹压值为 0.32Bar，总体上讲腹部压力值都比较小，远小于 ECE R129 法规中的限值要求，说明在三点式安全带安装方式下，不同碰撞方式对腹部压力的影响并不大。



Figure 8. three-point seat belt fixed in frontal collision
图 8 三点式安全带固定下正面碰撞



Figure 9. three-point seat belt fixed in side collision
图 9 三点式安全带固定下侧面碰撞

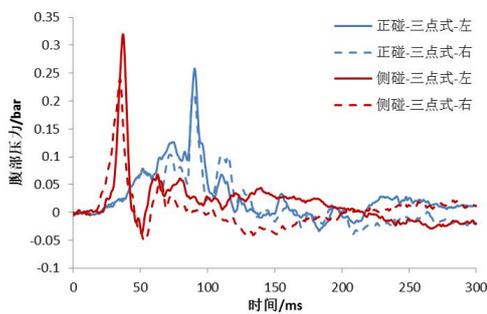


Figure 10. abdomen pressure comparison (three-point seat belt fixed)
图 10 三点式安全带固定下腹部压力对比

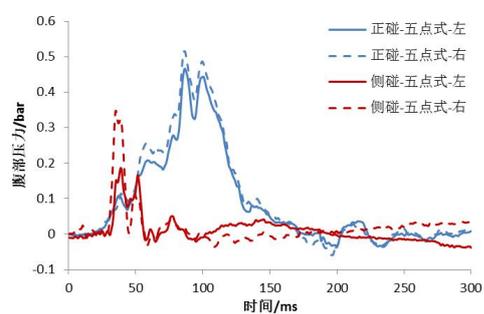


Figure 11. abdomen pressure comparison (five-point belt fixed)
图 11 五点式安全带固定腹部压力对比

使用五点式安全带固定儿童，分别进行正面和侧面碰撞，并得到腹部压力损伤值，如图 11 所示。可以看到，在五点式安装方式下，正碰中左右腹部压力值接近，而侧碰中右侧的腹部压力明显大于左侧，因为右侧是碰撞侧，在碰撞的一瞬间会出现一个比较大的峰值，而非碰撞侧左侧则并没有一个十分明显的峰值，曲线是两个较小的峰值，与正碰的曲线形状相似，这与五点式安全带两条肩带和腰带的结构有关。同时，在五点式安全带方式下，正碰腹部压力明显大于侧碰，正碰最大腹压值为 0.52 Bar，侧碰最大腹压值为 0.35 Bar，在五点式安装方式下，不同碰撞方式对腹部压力的影响较大。

如图 12-13 所示，使用前置护体安装方式固定儿童，分别进行正面和侧面碰撞，并得到腹部压力损伤值，如图 14 所示。可以看到，在前置护体安装方式下，正碰中左右腹部压力值十分接近，而侧碰中右侧碰撞侧的腹部压力明显大于左侧。同时，在前置护体安装方式下，正碰腹部压力值明显大于侧碰，正碰最大腹压值为 0.81 Bar，侧碰最大腹压值为 0.38Bar，差异十分明显。可见，在前置护体安装方式下，不同碰撞方式对腹部压力的影响最大。



Figure 12. shield fixed in frontal collision
图 12 前置护体固定下正面碰撞



Figure 13. shield fixed in side collision
图 13 前置护体固定下侧面碰撞

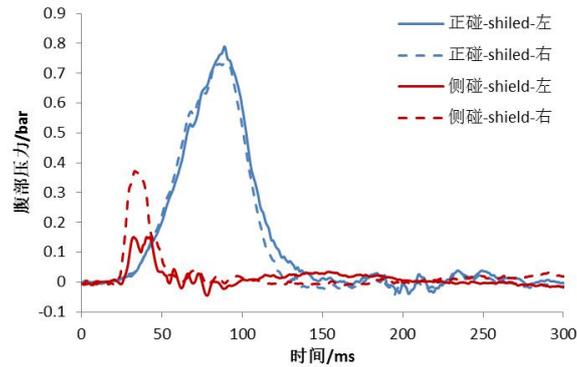


Figure 14. abdomen pressure comparison (shield fixed)
图 14 前置护体固定下腹部压力对比

4.2 不同安装方式下腹部压力对比

通过以上对比可以发现，在相同的儿童固定方式下，碰撞方式不同对腹部损伤的影响不同。而在相同的碰撞方式下，儿童固定方式不同会对儿童腹部损伤产生什么样的影响是接下来要探究的。如图 15 所示，在正面碰撞中，选取每种儿童固定方式下左右腹部压力的最大值进行对比，可以看到，三点式安全带固定时腹部压力为 0.26Bar，五点式安全带固定时腹部压力为 0.52Bar，前置护体固定时腹部压力为 0.81Bar，前置护体固定腹部压力值最大，约是三点式安全带固定方式的 3 倍，最为接近法规限值 1.0Bar 的要求。

如图 16 所示，在侧面碰撞中，三种儿童固定方式的腹部压力值接近，都集中在 0.35Bar 左右，说明侧碰中不同固定方式对腹部损伤的影响不大。

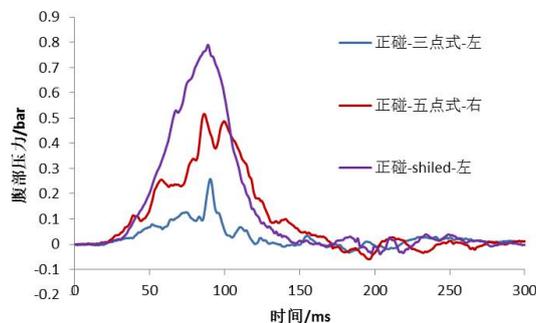


Figure 15. abdomen pressure comparison under different installation methods in frontal collision
图 15 正碰中不同安装方式下腹部压力对比

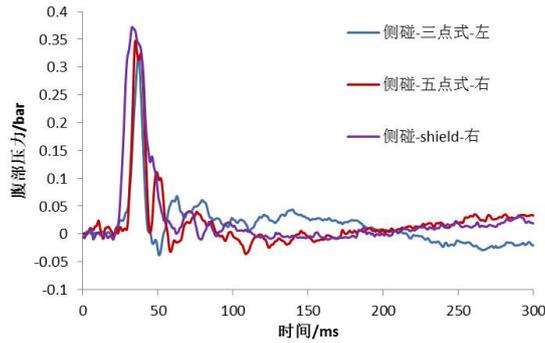


Figure 16. abdomen pressure comparison under different installation methods in side collision
图 16 侧碰中不同安装方式下腹部压力对比

4.3 五点式安装方式下腹部压力规律

五点式安全带固定方式属于整体式儿童约束系统，为了探究五点式固定的整体式儿童约束系统对儿童腹部损伤的影响，又进行了如下测试，如表 3。测试分为 A、B、C、D 类，为了探究一般性规律，每一类进行多次试验，形成腹部压力损伤曲线，如图 17 所示。可以看到，五点式安全带固定的整体式儿童约束系统下腹部损伤整体分布在 0.6Bar 以下，Q3 假人的腹部压力明显大于 Q1.5 岁假人，假人越大腹部损伤越大；对于相同的假人，后向安装的腹部压力明显小于正向安装，说明后向安装有利于儿童腹部的保护。

Table 3. Collision test matrix
表 3 碰撞测试矩阵

序号	假人	安装方向	碰撞方向
A	Q3	正	正
B	Q1.5	正	正
C	Q1.5	后	正
D	Q1.5	后	后

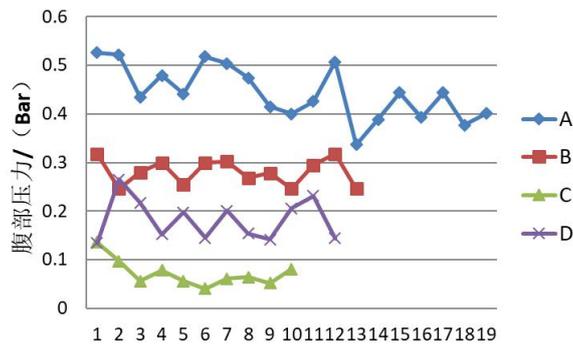


Figure 17. abdomen pressure injury distribution of different dummy and test state
图 17 不同假人和状态腹压损伤分布

5 结论

本文依据 ECE R129 法规要求分别进行了正面、侧面碰撞方式，以及三点式安全带固定、五点式安全带固定以及前置护体固定的儿童约束系统测试，分析了在不同碰撞方式，以及不同的固定方式下，对儿童腹部的保

护效果,探究儿童腹部损伤规律,得到以下结论。

1) 在三点式安全带安装方式下,不同碰撞方式对腹部压力的影响并不大,在五点式安装方式下,不同碰撞方式对腹部压力的影响较大,在前置护体安装方式下,不同碰撞方式对腹部压力的影响最大。

2) 在正面碰撞中,五点式安全带和三点式安全带固定方式造成的腹部压力相对较小,而前置护体式安装方式造成的腹部压力较大,是三点式固定方式的3倍左右;在侧面碰撞中,三种固定方式造成的腹部压力比较接近,前置护体固定方式下的腹部压力明显小于正面碰撞。

3) 对于五点式固定的整体式儿童约束系统而言,儿童越大造成的腹部损伤越大;对于相同的年龄的儿童,后向安装有利于儿童腹部的保护。本文的研究成果对于R129儿童约束系统产品的设计和改进行具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 蔡步健,郑昌龙,张俊杰,黄建峰,曾令松,苍安国.基于ECE R44设备实现ECE R129侧向撞击能力的研究[J].机电工程技术,2018,47(03):22-26.
- [2] HuJingwen, Kathleen D Klinich. Toward designing pedestrian-friendly vehicles [R].Michigan:The University of Michigan Transportation Research Institute, 2012: 1-53.
- [3] Durbin D R, Arbogast K B, Moll E K.Seat belt syndrome in children: a case report and review of the literature[J].Pediatric emergency care, 2001,17(6):474-477.
- [4] ROUHANA S W, FOSTER M E. Lateral Impact: an Analysis of the Statistics in the NCSS [C]// Proc. 29th Stapp Car Conference, SAE 851727: 79-98.
- [5] 卢瑞瑞.三岁儿童乘员腹部有限元模型的构建及损伤分析[D].天津:天津科技大学,2015.
- [6] Rothrock S G, Green S M, Morgan R. Abdominal trauma in infants and children: prompt identification and early management of serious and life-threatening injuries.Part II: Specific injuries and ED management[J].Pediatric emergency care, 2000, 16(3): 189-195.
- [7] Huber C, Yang K H. Pediatric material properties: a review of human child and animal surrogates[J]. Critical ReviewsTMin Biomedical Engineering, 2007, 35(3-4).
- [8] 兰凤崇,蔡志华,陈吉清,等.汽车碰撞中胸-腹部的生物力学响应与损伤评价[J].华南理工大学学报(自然科学版),2012,40(12):70-78.
- [9] Rouhana S W, Lau I V, Ridella S A. Influence of velocity and forced compression on the severity of abdominal injury in blunt, nonpenetrating lateral impact[J].The Journal of trauma, 1985, 25(6): 490-500.
- [10] NUSHOLTZ G S, KAIKER P S, LEHMAN R J. Steering System Abdominal Impact Trauma Final Report [R].Motor Vehicle Manufacturers Association, Report No.UMTRI-88-19, Detroit, MI.
- [11] VIANO D C, KING A L, MELVIN J W et al. Injury Biomechanics Research: An Essential Element in the Prevention of Trauma [J]. Journal of Biomechanics, 1989, 22(5): 403-417.
- [12] 孙田军.基于有限元法的六岁儿童乘员腹部碰撞与损伤机理研究[D].天津:天津科技大学,2015.
- [13] GB 20071-2006, 汽车侧面碰撞的乘员保护[S].
- [14] 陈吉清,杜天亚,兰凤崇,马正伟.汽车碰撞中乘员腹部损伤机理及生物力学响应研究进展[J].汽车工程学报,2015,5(2):79-89.
- [15] 刘军,晏晓娟,贾林夕,王利明,程伟.侧面碰撞中儿童约束系统的仿真研究[J].汽车技术,2017,1:52-57.