

Research on The Occupant Injury of Slide Impact Based on 2018 C-NCAP

ZhiNan QI, Xingyu MING, Shuang LU, Dong CUI

China Automotive Technology and Research Center , Tian Jin , 300300

Email: qizhinan@catarc.ac.cn

Abstract: This paper compares and analyzes the similarities and differences between 2015 C-NCAP and 2018 C-NCAP, and builds side impact restraint system of THUMS and WorldSid driver model according to the requirement of side impact. By comparing the driver's injury, it is validated that the THUMS are far more intuitive and comprehensive than WorldSid dummy in predicting injuries, on the other hand, it explains that the driver's neck, ribs and visceral organs of 2018 C-NCAP are more severe than the 2015 C-NCAP, and the driver's neck ligaments are likely to be tearing, it is recommended that the side impact should add the neck survey indicators.

Keywords: side Impact ; THUMS ; occupant injury

基于 2018 版 C-NCAP 侧碰乘员伤害研究

祁志楠, 明星宇, 鲁爽, 崔东

中国汽车技术研究中心, 天津, 300300

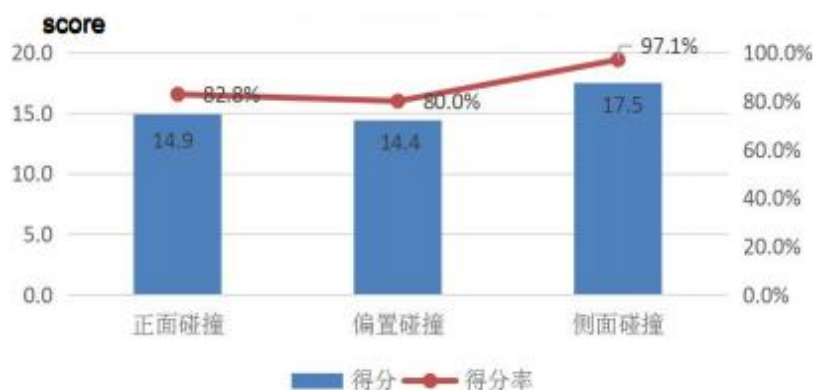
Email: qizhinan@catarc.ac.cn

摘要:对比分析了 2015 版 C-NCAP 和 2018 版 C-NCAP 侧面碰撞的差异, 并根据碰撞工况要求分别建立 THUMS 和 WorldSid 驾驶员模型的整车侧碰约束系统。通过对比驾驶员模型的伤害, 一方面验证了 THUMS 人体模型相比 WorldSid 假人在评价人体损伤方面更加直观和全面, 另一方面说明了 2018 版 C-NCAP 侧碰对驾驶员颈部、胸部肋骨以及内脏等器官的损伤更加恶劣, 且 2018 版 C-NCAP 侧碰容易造成驾驶员颈部韧带撕裂, 建议侧面碰撞增加颈部考察指标。

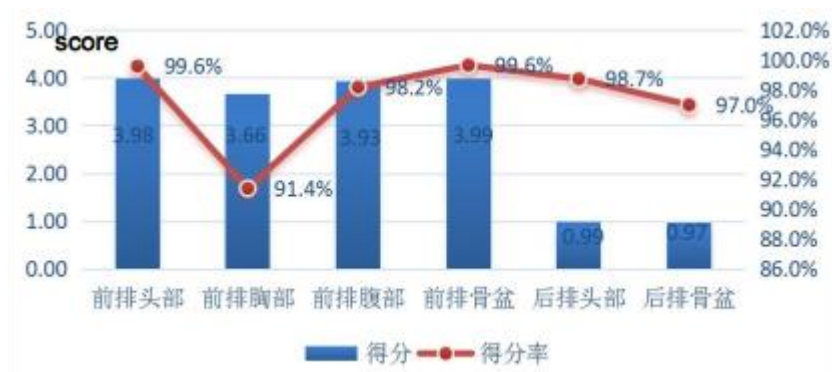
关键词: 侧面碰撞; THUMS 人体模型; 乘员损伤

1 引言

随着交通日益发达, 交通事故发生率逐年上升, 交通事故的恶劣程度有增无减, 现有的汽车碰撞试验工况很难预测更加恶劣的交通事故。根据 2015 版 C-NCAP 的试验数据统计, 三种工况 (FF、ODB、MDB) 的得分率均在 80% 以上, 其中侧面碰撞试验的得分率更是高达 97%, 侧碰试验中前后排假人各部位的得分率均超过 90%, 如图 1 所示。



(1) 三工况得分分布



(2) 侧碰各部位得分分布

Figure 1. 2015 C-NCAP scoring distribution

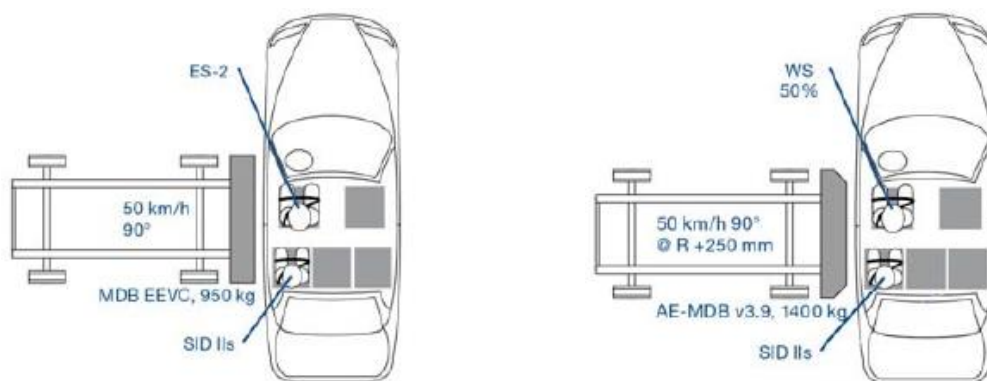
图 1.2015 版 C-NCAP 得分分布

为了应对日益严重的交通事故，促进车企按照更高的安全标准开发和生产，从而有效减少道路交通事故的伤害和损失，2018 版 C-NCAP 做出了更加严格的调整，本文主要针对侧面碰撞乘员损伤进行阐述分析。

本文主要对比分析 2015 版和 2018 版的 C-NCAP 侧面碰撞工况异同，并依托 THUMS 人体模型能够全面、准确、直观评价人体损伤的特点，分别建立 2015 版 C-NCAP 和 2018 版 C-NCAP 侧碰约束系统模型。通过对比驾驶员模型的损伤情况，比较两版 C-NCAP 人体损伤的差异，为侧面碰撞约束系统匹配提供准确的方向和思路。

2 2018 版 C-NCAP 侧碰工况分析

2015 版 C-NCAP 和 2018 版 C-NCAP 侧碰的主要变化在于碰撞台车和前排假人。如图 2 所示，2018 版 C-NCAP 的台车质量从原来的 950kg 增加至 1400kg，前端吸能壁障的平均离地高度上升了 50mm，前端吸能壁障从 EEVC-2000 更换为刚度更大的 AE-MDB V3.9，撞击位置靠后了 250mm，吸能壁障前端造型从方形更换为楔形^{[1][2]}，新旧版 C-NCAP 详细的试验参数对比如表 1 所示。



(1)2015 版 C-NCAP 侧碰

(2) 2018 版 C-NCAP 侧碰

Figure 2. Comparison of side impact

图 2.侧碰工况对比

Table 1.Comparison of test parameters between 2015 and 2018 C-NCAP

表 1. 2015 版 C-NCAP 与 2018 版 C-NCAP 试验参数对比

	台车质量/kg	防撞梁下端高度	防撞梁上端高度	前端前减震器高度	防撞梁中心高度	前端吸能壁障	试验撞击位置	座椅行程位置
2015 版 C-NCAP	950	300	550	800	450	EEVC-2000	R 点	前后中间, 上下中间
2018 版 C-NCAP	1400	400	600	850	500	AE-MDB V3,9	R+250	中间偏后 20mm, 上下最低

2018 版 C-NCAP 侧碰前排假人由 ESII 假人更换为 WorldSid 假人, ESII 假人使用的是欧洲男性的平均身材, 而 WorldSid 假人使用的是全世界男性的平均身材, 因此 WorldSid 假人身材相对矮小^[3], 表 2 通过假人尺寸对比更准确地体现了两种假人外形上的差异。

Table 2.Comparison of size between ESII and WorldSide dummy (unit: mm)

表 2. ESII 假人与 WorldSid 假人尺寸对比 (单位: mm)

假人	ESII	WorldSID
肩部宽度	485	480
胸部宽度	337	371
骨盆宽度	355	410
坐高	660	600
坐高 (挺直)	920	870
腿长	452	555

随着侧碰假人的更换, 假人的伤害评价指标也随之改变, 新旧版本 C-NCAP 侧碰假人伤害指标对比如表 3 所示, 头部、胸部、颈部、腹部以及骨盆的评价指标均发生了明显的变化, 其中 2018 版 C-NCAP 对胸部压缩量的要求相对降低, 腹部评价指标用腹部压缩量和粘性指数替代了腹部力, 骨盆耻骨力的评价更加苛刻, 将肩部力作为胸部评价的修正项, 取消了背板力和 T12 的胸部分数修正要求, 因此 2018 版 C-NCAP 侧面碰撞开发难度相对更大。

Table 3.Comparison of injury index between 2015 and 2018 C-NCAP

表 3. 2018 版 C-NCAP 与 2015 版 C-NCAP 侧碰假人伤害评价指标对比

损伤部位	ESII 假人	World SID 假人
头部	HIC36: 650-1000 3ms 合成加速度: 72-88g	HIC15:500-700 3ms 合成加速度: 72-80g
胸部	压缩量: 22-50mm 粘性指数 VC: 0.32m/s-1.0m/s	压缩量: 28-50mm 粘性指数 VC $\geq$ 1m/s, 得分为 0
腹部	腹部力: 1.0-2.5KN	压缩量: 47-65mm 粘性指数 VC $\geq$ 1m/s, 得分为 0
骨盆	耻骨力: 3.0-6.0KN	耻骨力: 1.7KN-2.8KN
胸部得分修正	1KN $\leq$ 背板力 $<$ 4KN, 胸部扣分; 1.5KN $\leq$ T12_Fy $<$ 2KN, 胸部扣分 150Nm $\leq$ T12_Mx $<$ 200Nm, 胸部扣分	肩部力 Fy $\geq$ 3KN, 胸部得分为 0

3 基于 THUMS 人体模型侧碰乘员伤害对比分析

3.1 2015 版侧碰乘员伤害分析

为了更加直观、准确地对比 2015 版和 2018 版 C-NCAP 乘员伤害的异同, 应用日本丰田公司研发的 THUMS 人体生物力学有限元模型, 可以更准确地分析模型收集到的数据, 模拟测算出人体更为精准的受伤情况^[4]。基于某款 SUV 车型, 并根据 2015 版 C-NCAP 侧碰工况要求, 建立 2015 版 THUMS 侧碰约束系统模型, 如图 3 所示。

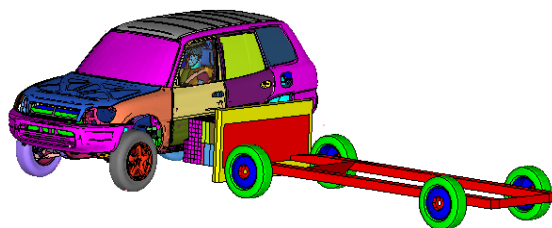


Figure 3. 2015C-NCAP constraint system model of side impact
图 3.2015 版 C-NCAP 侧碰约束系统模型

由图 1 可知，2015 版 C-NCAP 侧碰前排假人胸部和腹部得分率相对较低，头部和骨盆的得分率较高，因此重点对驾驶员模型胸腹部伤害进行损伤分析。如图 4 所示，驾驶员模型胸部肋骨受到最大的等效应力为 2.4mPa，肺部和心脏受到的最大压力分别为 57kPa 和 98kPa，肝脏、脾脏和肾脏等的最大应变为 1.6%。

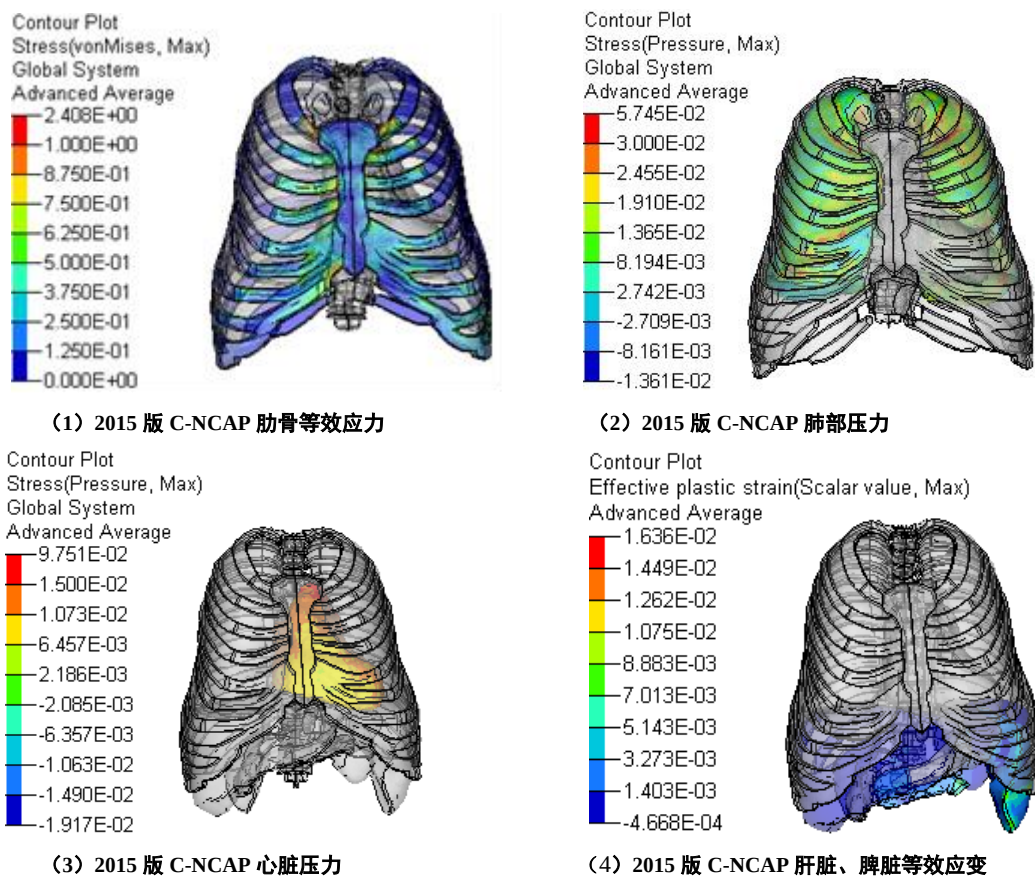


Figure 4. Chest and abdomen injury contour plot
图 4.胸腹部伤害云图

侧面碰撞过程中，移动壁障猛烈地撞击左侧车身，会造成乘员躯干相对头部发生 Y 向运动。头部运动滞后于躯干，使得颈部产生剪切力，并且随着撞击力的不同，颈部的剪切力也会随之变化，因此有必要对颈部的伤害进行评估。2015 版 C-NCAP 驾驶员颈部韧带（ALL、PLL、CL、LF、ISL）的应变如图 5 所示，2015 版 C-NCAP

侧碰工况下颈部韧带的最大应变为 0.27。根据 Yoganandan 等人^[8]的研究表明，颈部韧带撕裂极限的最小应变为 0.34，可见 2015 版侧碰不会对驾驶员颈部造成伤害。

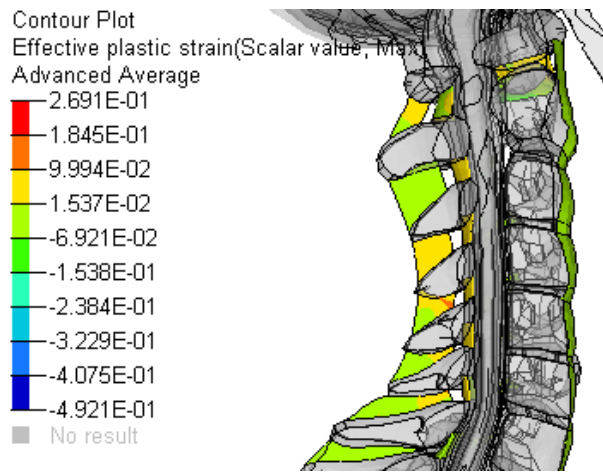


Figure 5. Strain contour plot of neck ligament
图 5.颈部韧带应变云图

3.2 2018 版侧碰乘员伤害分析

通过两版 C-NCAP 侧碰壁障对比可知，2018 版 C-NCAP 台车质量较 2015 版增加了 450kg，根据能量守恒原理，侧碰台车的碰撞能量增加了 47.3%^[5]。壁障最下端的离地高度增加了 100mm，门槛对移动壁障的支撑作用减小，车体的撞击位置更加靠上，B 柱和前门内板的侵入量增大。试验中驾驶员座椅的上下位置从中间降至最低，造成车门扶手位置相对假人向上移动，在降低驾驶员舒适性的同时，增加了假人胸部伤害风险，因此 2018 版 C-NCAP 侧面碰撞驾驶员的伤害风险增大。

根据 2018 版 C-NCAP 侧碰工况要求，分别建立 2018 版 C-NCAP WorldSid 和 THUMS 侧碰约束系统模型，并对驾驶员模型的损伤进行对比评估，如图 6 所示。根据 2018 版 C-NCAP 侧面碰撞的评分标准，对上述 WorldSid 假人约束系统模型进行伤害评估。如表 4 所示，WorldSid 假人头部、胸部、腹部以及骨盆得分均为满分，但胸部压缩量接近其损伤的最低限值，说明在 2018 版 C-NCAP 侧面碰撞工况下，驾驶员胸部存在较大的损伤风险。

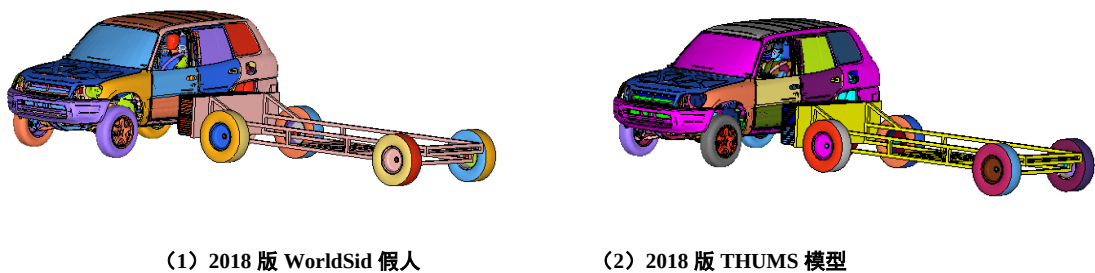


Figure 6. 2018C-NCAP constraint system model of side impact
图 6.2018 版 C-NCAP 侧碰约束系统模型

Table 4. WorldSid Dummy injury evaluation
表 4. WorldSid 假人伤害评价

损伤部位	评价指标	损伤限值	伤害值	得分
头部	HIC15	500-700	112	4
	头部 3ms 合成加速度/g	72-80	41.7	
胸部	胸部压缩量/mm	28-50	27.6	4
	胸部 VC/m/s	<1.0	0.15	
腹部	腹部压缩量/mm	47-65	28.2	4
	腹部 VC/m/s	<1.0	0.16	
骨盆	骨盆力/N	1700-2800	730	4

2018 版 C-NCAP 侧碰驾驶员 THUMS 模型伤害如图 7 所示，在 AE-MDB 壁障作用下 THUMS 人体模型胸部肋骨受到最大的等效应力为 3.8Mpa，肺部和心脏受到的最大压力分别为 170kPa 和 131kPa，肝脏、脾脏和肾脏等的最大应变为率 2.4%。Ruan J^[6]和 Melvin J W^[7]等人对心脏、肝脏和脾脏等内脏损伤极限的研究表明，当胸部压力达到 16kPa 时，会引起肺部损伤；当胸部压力达到 170kPa 时，会造成心脏损伤；肝脏、脾脏和肾脏允许最大应变率为 30%。可见，THUMS 人体模型肺部压力远大于其损伤限值，肺部会受到严重损伤，相比 WordSid 假人在预测人体损伤方面更加直观和全面。

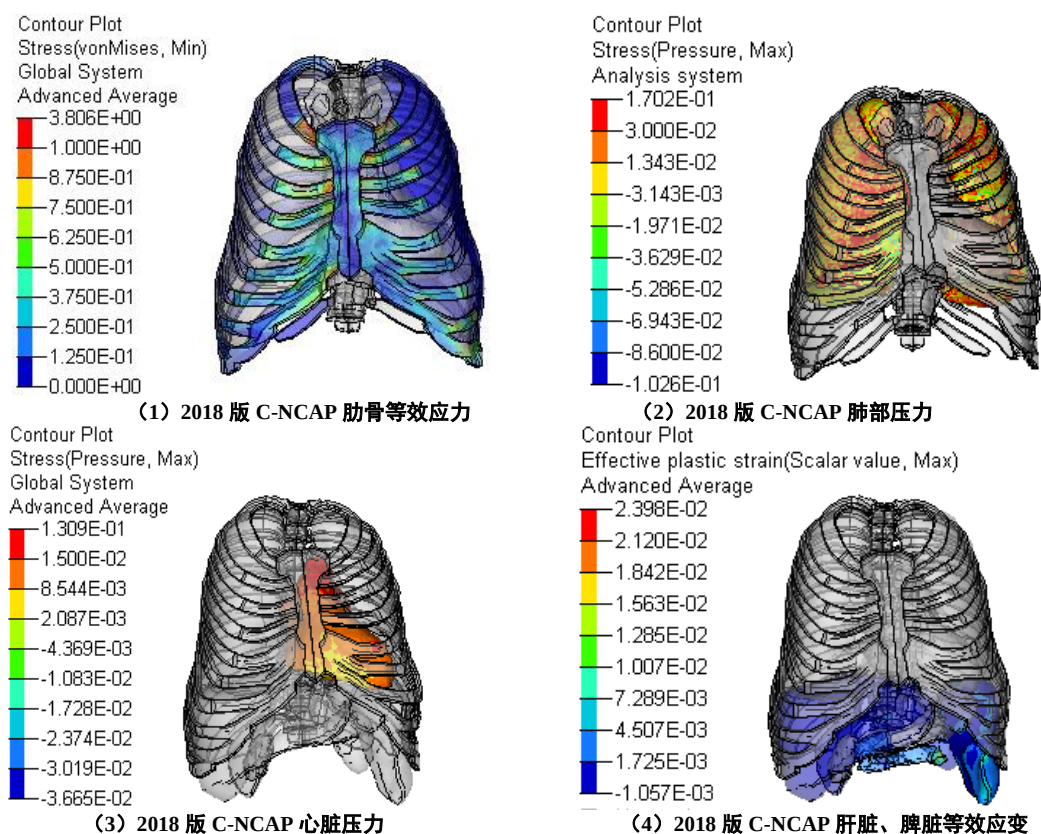


Figure 7. Chest and abdomen injury contour plot
图 7. 胸腹部伤害云图

2018 版 C-NCAP 驾驶员颈部韧带（ALL、PLL、CL、LF、ISL）的应变如图 8 所示，2018 版 C-NCAP 侧碰工况下颈部韧带的最大应变为 0.81，大于颈部韧带的损伤极限，因此 2018 版 C-NCAP 侧碰会造成驾驶员颈部韧带撕裂。

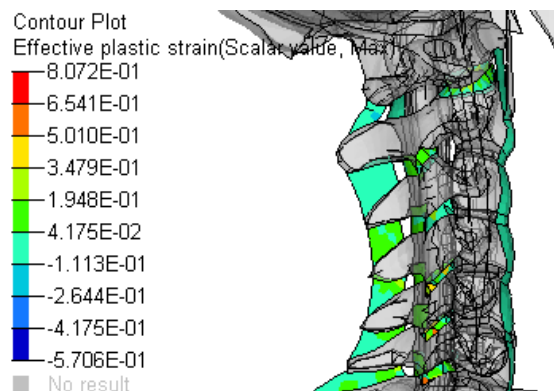


Figure 8. 2018C-NCAP strain contour plot of neck ligament
图 8. 2018 版 C-NCAP 颈部韧带应变云图

2015 版和 2018 版 C-NCAP 侧碰驾驶员 THUMS 模型的伤害对比如表 5 所示，2018 版 C-NCAP 驾驶员模型的各项评价指标均大于 2015 版 C-NCAP，两版 C-NCAP 均会造成驾驶员肺部损伤，且 2018 版 C-NCAP 侧面碰撞会造成驾驶员颈部韧带的撕裂。

Table 5. Comparison of injury between 2015 and 2018 C-NCAP
表 5. 2015 版和 2018 版 C-NCAP 侧碰假人伤害对比

评价指标	损伤极限	2015 版 C-NCAP 伤害预估	2018 版 C-NCAP 预估伤害
肺部压力	16kPa	57kPa	170kPa
心脏压力	170kPa	98kPa	131kPa
肝脏、脾脏等应变率	30%	1.6%	2.4%
颈部韧带应变	0.34	0.27	0.81

4 结论

本文根据 2015 和 2018 版 C-NCAP 侧面碰撞工况要求分别建立了驾驶员侧的整车碰撞约束系统模型，并根据 THUMS 人体模型能够准确、全面、直观地评价人体损伤的特点，对两版 C-NCAP 侧面碰撞乘员伤害进行了对比分析，并得到如下结论：

(1)分别用 WorldSid 假人和 THUMS 人体模型评估 2018 版侧面碰撞驾驶员的伤害，WorldSid 假人胸部存在损伤风险，THUMS 人体模型预测驾驶员肺部严重损伤，验证了 THUMS 人体模型能够更加全面、准确地评估人体损伤；

(2)对比两工况 THUMS 人体模型胸部肋骨的等效应力，2018 版 C-NCAP 驾驶员模型肋骨的等效应力约为 2015 版 C-NCAP 的 1.6 倍，2018 版 C-NCAP 肋骨骨折的风险更大；

(3)对比两工况 THUMS 人体模型胸腹部内脏的损伤指标，2018 版 C-NCAP 驾驶员模型的心脏、肺部以及肝脏等的伤害指标均大于 2015 版 C-NCAP，可见 2018 版 C-NCAP 中驾驶员内脏受到损伤的风险增加。

(4)对比两种工况 THUMS 人体模型颈部韧带应变，2015 版 C-NCAP 颈部韧带应变均在极限范围内，而 2018 版 C-NCAP 颈部韧带 PLL 远超过损伤极限，可见 2018 版 C-NCAP 侧碰对驾驶员颈部伤害明显增大，建议纳入侧碰乘员伤害考察范围。

参考文献 (References)

- [1] 中国汽车技术研究中心. C-NCAP 管理规则（2015 版）[M].天津：中国汽车技术研究中心,2015.
- [2] 中国汽车技术研究中心. C-NCAP 管理规则（2018 版）[M].天津：中国汽车技术研究中心,2018.

- [3] 仲衍慧,李春. 侧面碰撞试验中 Euro SID-2 假人与 WorldSID 假人伤害值的对比研究[J].天津科技大学学报.2017(3), 29-38.
- [4] 高继东,祁志楠,谢书港等. 基于 THUMS 人体模型的正碰乘员伤害研究[J].汽车工程:2016,08:947-954.
- [5] 王月,肖海涛,张海洋等.2018 版 C-NCAP 侧面碰撞分析[J].汽车工程师, 2007(1): 41-46.
- [6] Ruan J, El-Jawahri R, Chai L, et al, *Prediction and analysis of human thoracic imPact responses and injuries in cadaver imPacts using a full human body finite element model*[J]. Stapp car crash journal, 2003, 47: 299-321.
- [7] MelvinJ W, StalnakerR L, RobertsV L, *Impact Injury Mechanisms in Abdominal Organ*. 17th Stapp Car Crash Conference,1973.
- [8] Yoganandan, The human neck modeling and research of neck injuries in vehicle rear-end impact [D]. Changchun: Jilin University, 2014. (in Chinese) .