

· 技术与应用 ·

基于PC-Crash软件的人-车碰撞道路交通事故重建

段腾龙, 何永旺, 李桢, 杨帆, 李立, 瞿勇强

(昆明医科大学法医学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 目的 探讨基于PC-Crash软件的人-车碰撞道路交通事故重建在法医学鉴定中的应用价值。方法 选取基于行车记录仪下的人-车碰撞案例,应用PC-Crash软件建立人-车碰撞模型,重建人-车碰撞道路交通事故,再现车辆与行人碰撞过程。结果 事故重建中,当车速低于50 km/h时,行人碰撞后着地点位于车辆前方;当车速大于50 km/h时,行人碰撞后向车顶翻转,落于车后方。随着车辆行驶速度不断提高,行人的抛距不断增加。当车辆碰撞速度为60 km/h时,本例实验结果与案件实际情况基本吻合。在0.080 s时,行人头部加速度最大,为1 655.70 m/s²;在0.055~0.060 s时,行人胸部加速度从597.63 m/s²升至峰值675.52 m/s²;在0.020~0.030 s时,胫骨加速度从759.26 m/s²升至1 367.06 m/s²,达到第一个高峰,在1.225 s时达到峰值,为1 718.19 m/s²。结论 应用PC-Crash软件在现场条件有限的情况下能够重建人-车碰撞道路交通事故过程,可用于进一步阐释事故中车辆的车速及行人的损伤部位、程度及成伤机制,在道路交通事故法医学鉴定中具有一定的实用价值。

关键词: 法医病理学;事故,交通;仿真实验;PC-Crash;成伤机制

中图分类号: DF795.1 文献标志码: A doi: 10.12116/j.issn.1004-5619.2019.04.012

文章编号: 1004-5619(2019)04-0440-04

Reconstruction of Vehicle-pedestrian Collision Road Traffic Accidents Based on PC-Crash Software

DUAN Teng-long, HE Yong-wang, LI Zhen, YANG Fan, LI Li, QU Yong-qiang

(School of Forensic Medicine, Kunming Medical University, Kunming 650500, China)

Abstract: **Objective** To discuss the application value of vehicle-pedestrian collision road traffic accidents reconstruction based on PC-Crash software in forensic identification. **Methods** A case of vehicle-pedestrian collision was chosen based on a tachograph, then PC-Crash software was applied to construct a vehicle-pedestrian collision model, and reconstruct the vehicle-pedestrian collision road traffic accident. Finally, the process of vehicle-pedestrian collision was reproduced. **Results** In accident reconstruction, when the car speed was lower than 50 km/h, the landing point of the pedestrian after collision was in the front of the car. When the car speed was higher than 50 km/h, after collision, the pedestrian flipped towards the car roof and landed behind the car. With the increase of vehicle speed, throwing distance of the pedestrian increased continuously. When the vehicle collision speed reached 60 km/h, the experimental results in this case were basically consistent with the actual situation of the case. Head acceleration of the pedestrian was at the maximum (1 655.70 m/s²) at 0.080 s. Chest acceleration of the pedestrian increased from 597.63 m/s² to the peak 675.52 m/s² at 0.055~0.060 s. Tibia acceleration of the pedestrian increased from 759.26 m/s² to the first peak 1 367.06 m/s², then reached the maximum speed (1 718.19 m/s²) at 1.225 s. **Conclusion** The process of vehicle-pedestrian collision road traffic accidents can be reconstructed based on PC-Crash software under a situation of limited conditions, and can further clarify the speed of the vehicle, the location and degree of human body injury as well as the mechanism of damage of the pedestrian in the accident. Therefore, PC-Crash software has a certain practical value in forensic identification of road traffic accidents.

Keywords: forensic pathology; accidents, traffic; simulation experiment; PC-Crash; injury mechanism

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划资助项目(201610678003); 云南省教育厅资助项目(2016ZDX048); 云南省科技厅-昆明医科大学应用基础研究联合专项资助项目[2017FE468(-019)]

作者简介: 段腾龙(1994—), 男, 硕士研究生, 主要从事道路交通事故研究; E-mail: 1501238649@qq.com

通信作者: 李桢, 女, 教授, 主要从事法医病理学研究; E-mail: 1197491673@qq.com

通信作者: 李立, 男, 讲师, 主要从事法医病理学研究; E-mail: ll_yn@126.com

随着科学技术的发展,通过PC-Crash软件仿真进行交通事故虚拟重建精度越来越高^[1-3]。PC-Crash软件具有建模简单、计算时间短以及模拟过程界面直观逼真、分析结果易提取等特点,相比基于假人模型^[4]研究大大节约了成本,且更加迅速。

本研究基于行车记录仪下的人-车碰撞道路交通事故案例,应用PC-Crash软件建立人-车碰撞模型,对人-车碰撞道路交通事故进行重建,仿真车辆与行人碰撞过程,通过行人抛距及车辆停止最终位置的比对,确定车辆与行人的碰撞车速及分析碰撞后行人的损伤机制,同时在仿真实验过程中,进一步研究车速与抛距之间的规律,探讨基于PC-Crash软件的人-车碰撞道路交通事故重建在法医学鉴定中的应用价值。

1 材料与方法

1.1 案件资料

某年1月3日10:23许,在某高速公路,驾驶员驾驶奥迪轿车由西向东行驶,遇行人由南向北横穿公路,车头右前部与行人发生碰撞后紧急制动,致行人当场死亡。

据调查,事发路段是沥青路面,平坦干燥,当日天气晴朗。行人为男性,30岁,身高165 cm,体质量60 kg;司机35岁,体质量72 kg。事故发生后,行人最终位置距离标志物(路灯)约31.9 m,抛距约28 m,现场车辆刹车痕迹难以辨认。轿车前保险杠右侧凹陷变形,可见血样及纤维样物质附着。

根据事故现场尾随车辆行车记录仪的记录图像并结合现场痕迹,经专家计算出肇事车辆的行驶速度为58 km/h。

尸体检验见行人颅骨及肋骨多发骨折,左侧股骨骨折,左侧胫骨骨折,全身多处皮肤擦挫伤,胸腔穿刺抽出不凝血样物质。综合分析认为,死者符合道路交通事故致头、胸部损伤死亡。

1.2 研究方法

1.2.1 事故现场重建

根据事故现场勘验,应用PC-Crash软件构建事故现场二维示意图(图1)。

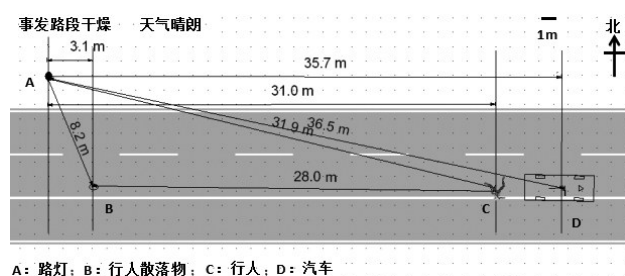


图1 现场勘验示意图

1.2.2 人、车模型的建立

根据事故现场信息,筛选PC-Crash软件所需的信息数据。查看路面特征信息,根据计算机仿真道路交通事故的道路摩擦系数参考值^[5],设置道路摩擦系数为0.8。在PC-Crash软件中调入一辆奥迪轿车,对车辆轮胎、车身尺寸、车辆质量及路面摩擦因数等信息进行修正,建立本案例车辆模型。然后调入已有的人体模型框架,调整行人身高、体质量、年龄等参数,并对人体模型进行修正,建立适用于本案例的人体模型。

1.2.3 人-车碰撞位置及行人接触部位

通过对现场刹车痕迹及行人散落物位置的分析,确定散落物位置为事故碰撞点。尸体检验见行人左小腿中段外侧、左膝外侧、左大腿中段外侧皮肤擦挫伤,结合轿车右前保险杠凹陷变形以及血样和纤维样物质附着,综合分析认为行人接触部位为左下肢。在人体模型设置中进行选择修正,以保证人、车初始接触部位与实际情况尽可能一致(图2)。



图2 人-车碰撞模拟图

1.2.4 事故重建

不断调整车辆行驶速度,仿真重现车辆与行人碰撞过程,通过行人抛距及车辆停止最终位置,获得与实际情况最为吻合的仿真再现结果。同时在其他参数保持不变的情况下,通过不同车速的仿真实验,研究车速与抛距之间的关系。

1.2.5 行人损伤评价方法

重建后得到行人损伤生物力学数值,与欧洲实验汽车委员会(European Experimental Vehicles Committee,EEVC)中规定的人体伤害指标及其耐受值[胫骨最大侧向加速度 $\leq 150\text{ g}$,大腿骨最大瞬时受力 $\leq 4\text{ kN}$,头部伤害指数(head injury criterion,HIC)值 $\leq 1\ 000$]^[6-7],以及美国联邦机动车安全标准(Federal Motor Vehicle Safety Standards,FMVSS) 208法规的标准(3 ms内胸部合成加速度 60 g 作为安全界限值)^[8-10]相比较,评价人体损伤部位及程度。

2 结果

通过事故重建发现:事故车速低于50 km/h时,行人着地点位于车辆前方;事故车速高于50 km/h时,行

人于碰撞后向车顶翻转,着地点位于车后方。本研究选取车辆碰撞速度为 60 km/h 时,行人与路灯的距离为 36.5 m,行人与路灯的距离为 34.3 m,行人抛距为 30.1 m,实验结果与事故实际情况基本吻合(图 3)。随着车辆行驶速度不断提高,行人的抛距不断增加(图 4)。

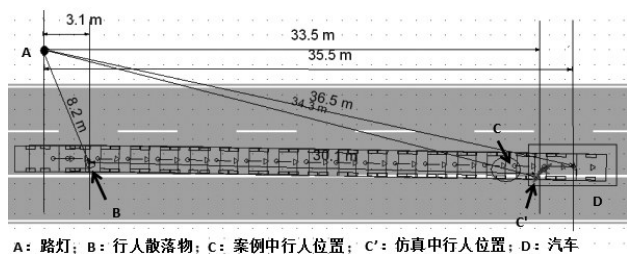


图 3 车速为 60 km/h 时的人车运动轨迹

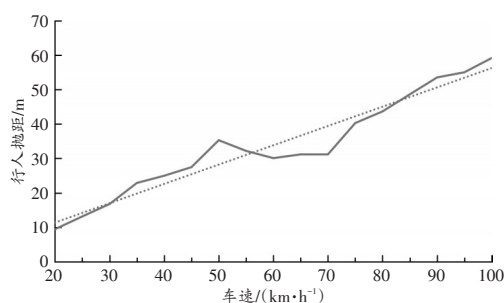


图 4 车速与行人抛距的关系

本实验中,在 0.080 s 时,行人头部加速度值最大,为 $1\,655.70\text{ m/s}^2$,头部 HIC 值超过 1 000;在 0.055~0.060 s 时,行人胸部加速度从 597.63 m/s^2 升至峰值 675.52 m/s^2 ;在 0.020~0.030 s 时,胫骨加速度从 759.26 m/s^2 升至 $1\,367.06\text{ m/s}^2$,达到第一个高峰,在 1.225 s 时胫骨加速度峰值达到 $1\,718.19\text{ m/s}^2$;在 0.040 s 时大腿瞬时最大受力为 $34\,200.68\text{ N}$ 。

3 讨论

目前国内外学者研究人-车碰撞道路交通事故的重建再现多采用实验和仿真的方法,包括数学模型仿真法、子系统模型试验、尸体试验、假人试验和计算机仿真等^[11-12]。但上述方法对实验条件要求高,计算要求严,费时耗力,实用性低,受到道德、宗教、数量以及高昂的使用费用等各方面的限制。随着科学技术的发展,有学者研究表明,应用 PC-Crash 软件对人-车道路交通事故进行重建,对车速的认定具有应用条件宽松、适用范围广、精确度高、适用性良好等特点,且该方法能够全面获取行人在整个碰撞过程中的运动学和力学数据,有利于研究不同碰撞情况下行人的运动学响应。STEFFAN 等^[13-16]通过 PC-Crash 软件联合 MADYMO 重建道路交通事故,实现行人运动过程的

仿真,并用真实案例进行验证,证明了 PC-Crash 软件对于事故还原的可靠性和有效性。李丹^[11]应用 PC-Crash 软件对两起人-车碰撞交通事故进行仿真,验证模型的有效性,深入研究了不同车速下的行人损伤机理,为行人保护和汽车改造方面提供了参考依据。王宏雁等^[17]通过真实案例仿真,将 PC-Crash 软件得到的行人头、胸部的合成加速度曲线和腿部的受力曲线与实际行人损伤进行比对,验证了行人多刚体模型可应用于行人伤害的分析。林庆峰等^[18]模拟高速行驶的汽车不刹车撞击行人的过程,并对不同撞击速度下行人的第一落地点和最终位置之间的变化规律进行了研究,发现轿车在高速撞击行人后未采取制动措施的情况下,行人抛距随撞击速度的增加而明显增加。但上述研究多应用于车辆安全、行人保护等方面。

本研究应用 PC-Crash 软件对一个典型的交通事故进行重建。研究发现,随着车辆行驶速度的不断提高,行人抛距不断增加。车速低于 50 km/h 时,抛距随车速呈线性关系增加。车速在 50~70 km/h 时,抛距迅速减小,并保持平缓增加,这可能和行人与车辆碰撞后,行人在车辆顶部翻滚并与车辆顶部摩擦有关。当车速超过 70 km/h 后,行人与车顶没有接触摩擦,故抛距明显增加。当车速为 60 km/h 时,事故重建中行人与车辆的间距与案例情况最为吻合,能够仿真实道路交通事故中行人抛距、车辆行驶距离以及人、车接触位置,与实际案例中行车记录仪记录的车速(58 km/h)基本一致,验证了 PC-Crash 软件能在现场有限的条件下最大程度还原交通事故现场,确定事故车速,对于快速判断交通事故的车速具有实用性。本例中行人头部 HIC 值、腿部瞬时受力和胫骨的加速度均高于 EEVC 确立的人体损伤最大耐受值,且胸部 3 ms 合成加速度也高于安全界限值 60 g ,这与检见的尸体损伤情况基本一致,证实了本案中行人死于头、胸部损伤,进一步验证和阐明了本案中的人体损伤部位、程度和成伤机制。

本研究表明,应用 PC-Crash 软件对人-车道路交通事故进行重建,能在现场条件有限的情况下,最大程度地还原交通事故现场,与制动印迹法^[19]、行人抛距法^[20]、基于视频图像的事故再现法^[21]等相比较,对车速的认定具有应用条件宽松、适用范围广、精确度高、适用性良好等特点,且该方法能够全面获取行人在整个碰撞过程中的运动学和力学数据,有利于研究不同碰撞情况下行人的运动学响应,有助于阐明致命伤的部位、程度和成伤机制。综上,应用 PC-Crash 软件重建人-车道路交通事故在道路交通事故的法医学鉴定中具有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] WACH W. Simulation of vehicle accidents using PC-Crash[M]. Cracow, Poland: Institute of Forensic Research Publishers, 2012.
- [2] LI Z, HUANG H, LI D, et al. Analysis of influencing factors of pedestrian-vehicle accident reconstruction based on Pc-Crash[C]// International Conference on Education, Management and Computing Technology, 2015: 1576-1580.
- [3] 邹铁方, 余志, 蔡铭, 等. 基于Pc-Crash的车-人事故再现[J]. 振动与冲击, 2011, 30(3): 215-219.
- [4] SILVA M P T, AMBRÓSIO J A C, Pereira M S. Biomechanical model with joint resistance for impact simulation[J]. Multibody Syst Dyn, 1997, 1(1): 65-84.
- [5] 刘荣昌. 交通事故再现中轮胎/路面摩擦特性表达模型研究[D]. 西安: 长安大学, 2016.
- [6] EEVC Working Group 17 Report. Improved test methods to evaluate pedestrian protection afforded by passenger cars[R]. European Enhanced Vehicle-safety Committee, 1998.
- [7] LAWRENCE G J L, HARDY B J. Pedestrian safety testing using the EEVC pedestrian impactors[C]// The 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 1998: 2131-2144.
- [8] NEHAN M, MALONEY R. Magnesium AM60B instrument panel structure for crashworthiness FMVSS 204 and 208 compliance[C]// SAE Technical Paper Series, 1996. <https://doi.org/10.4271/960419>.
- [9] LEWANDOWSKI J. Federal motor vehicle safety standard (FMVSS) 208 -- Occupant crash protection: Right front passenger test methodologies[C]// SAE Technical Paper Series, 2006. <https://doi.org/10.4271/2006-01-0720>.
- [10] 朱海涛, 孙振东, 白鹏, 等. 汽车正面碰撞中乘员的胸部伤害分析[J]. 交通标准化, 2009(11): 23-28.
- [11] 李丹. 基于PC-Crash下的车-人交通事故伤害机理研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2009.
- [12] 苏海洋. 基于PC-Crash的汽车与行人碰撞事故再现研究与仿真分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2014.
- [13] STEFFAN H, MOSER A. The collision and trajectory models of PC-CRASH[C]// SAE Technical Paper Series, 1996. <https://doi.org/10.4271/960886>.
- [14] MOSER A, STEFFAN H, KASANICKY G. The pedestrian model in PC-Crash - The introduction of a multi body system and its validation[C]// SAE Technical Paper Series, 1999. <https://doi.org/10.4271/1999-01-0445>.
- [15] STEFFAN H, GEIGL B C, MOSER A. A new approach to occupant simulation through the coupling of PC-Crash and MADYMO[C]// SAE Technical Paper Series, 1999. <https://doi.org/10.4271/1999-01-0444>.
- [16] MOSER A, HOSCHOPF H, STEFFAN H, et al. Validation of the PC-Crash pedestrian model[C]// SAE Technical Paper, 2000. <https://doi.org/10.4271/2000-01-0847>.
- [17] 王宏雁, 王勇, 何宇桐. 汽车与行人碰撞事故再现及行人致伤特点分析[J]. 道路交通与安全, 2008, 8(5): 37-42.
- [18] 林庆峰, 许洪国. 基于PC-Crash的轿车-行人高速碰撞仿真模型[J]. 汽车工程, 2007, 29(7): 562-565.
- [19] 李金学, 郭景玉. 汽车制动时轮胎印迹的分析[J]. 汽车运用, 2003(7): 34.
- [20] 林庆峰, 许洪国, 成波. 交通事故行人、骑车人和自行车抛距模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2006, 6(6): 73-78.
- [21] 尹国祥. 基于视频图像的肇事车辆车速鉴定[J]. 江西警察学院学报, 2012(1): 124-125.

(收稿日期: 2017-07-13)

(本文编辑: 李正东)