

## Depth investigation and analysis of a typical pedestrian traffic accident

Zhiyong YIN, Weiguo ZHANG, Hui ZHAO, Jihua CHEN, Rong CHEN, Zhengguo WANG

(Research Institute of Surgery, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400042 zyyin@cta.cq.cn 023 66193386)

**Objective:** To discuss the pedestrian traffic injury mechanism, to verify the existing theoretical calculation method and the empirical formula, and to atone for the traffic injury deep research insufficiency, through depth investigation and analysis of the pedestrian traffic accident.

**Method:** Investigated thoroughly of the scene and injuries, by scanning high accurately and 3D reconstruction of the victim corpse with 64-slice CT, to gain details of injured bodies. Then established a quantity-effect relationship between impact energy and severity to do further studies. Particularly in a recent typical case: monitors recorded a pedestrian traffic accident completely and really, in which data could be obtained from the collision speed of vehicles and the pedestrian, the pedestrian's posture, the rush to cross and the lasting time of pedestrian flying for distances after collision. Agreed by victims' families, 64-slice CT was applied to do high accuracy scanning and 3D reconstruction, producing enough details of organism suffers. Based on this, verified the results from empirical formula and computer simulation methods of the pedestrian traffic injury.

**Results and Conclusion:** The depth investigation and analysis of the pedestrian traffic accident is worthy of attention, since it makes up the deficiency of other researches effectively.

## 一起典型行人交通事故的深度调查与分析

尹志勇、张卫国、赵辉、陈金华、陈蓉、王正国

(第三军医大学第三附属医院野战外科研究所)

**目的:** 通过行人交通事故的深度调查与分析, 探讨行人交通伤的损伤机制, 验证现有的理论计算方法和经验公式, 弥补尸体试验、假人试验、仿真分析等手段在行人交通伤深入研究中的不足。

**方法:** 通过对行人交通事故现场和伤亡人员的深度调查及采用 64 排 CT 对遇难者尸体进行高精度扫描和三维重建, 获取人体损伤的相关细节, 并通过事故再现技术建立撞击能量与损伤严重程度之间的量效关系开展深入研究。特别是近期获得的一起典型案例: 即通过监控摄像头真实完整地记录到一起行人交通事故, 通过视频可获取车辆与行人碰撞时的速度, 碰撞时行人的姿态和行人与车辆抢道的整个碰撞过程, 以及行人被碰撞后飞行一段距离所耗费的时间等指标, 并征得遇难者家属的同意采用 64 排 CT 对尸体进行高精度扫描和三维重建, 获得了遇难者机体受损的详细资料。在此基础上, 对行人交通伤研究中常用的经验公式、计算机仿真等手段获取的结果进行验证。

**结果与结论:** 行人交通事故的深度调查与分析, 很好地弥补了其它研究手段的不足, 值得大家的重视。

### 1 材料

2009 年 08 月 22 日 18 时 30 分许, 一辆长安面包车行驶至重庆某路口与横过公路的行人发生碰撞, 造成行人当场死亡车辆受损的道路交通事故。事故路段为干燥沥青路面, 事故时为晴天。事后交通管理部门委托我中心对事发时肇事面包车的行驶速度进行鉴定。相关单位提供了事故现场勘查笔录、现场勘查图、尸检报告、询问笔录、监控录像, 现场勘查照片及事故车的相关资料。接到任务后, 我中心又派出测量人员对事发路段的特征点位置和车辆的变形量进行测定。为便于对该事故进行分析, 征得遇难者家属的同意, 采用 64 排容积 CT 对遇难者尸体进行断层扫描, 并采用软件进行三维重建。

### 2 车辆和行人速度分析

#### 2.1 根据监控录像分析车速

如图 1 所示, 根据交管部门提供的监控视频, 在现场道路上选择一些特征点, 分别标注为 A、B、C、D、E、F 特征点, 并测量 AB 段、BC 段、CD 段、DE 段、EF 段的长度, 采用视频分析软件统计面包车通过这些段落时所需的帧数, 然后分别计算车辆在各路段行驶时的平均速度如表 1。



图1 事发现场监控视频截图

表1 车辆速度分析

| 段落   | 帧数 (帧) | 时间(s) | 距离(m) | 速度 (km/h) |
|------|--------|-------|-------|-----------|
| AB 段 | 83     | 3.32  | 74.99 | 81.31     |
| BC 段 | 18     | 0.72  | 14.21 | 71.06     |
| CD 段 | 15     | 0.60  | 11.23 | 67.39     |
| DE 段 | 11     | 0.44  | 8.00  | 65.45     |
| EF 段 | 13     | 0.52  | 8.90  | 61.62     |

根据面包车与行人碰撞时刻, 反向播放视频观察在车辆经历 EF 段和 DE 段时, 行人跑动时的视频。通过视频分析, 可分别得出行人在跑过第 1 段(对应车辆通过 DE 段)和第 2 段(对应车辆通过 EF 段)时的跑动速度, 如表 2 所示。

表2 行人速度分析

| 段落    | 帧数 (帧) | 时间(s) | 距离(m) | 速度 (km/h) | 备注        |
|-------|--------|-------|-------|-----------|-----------|
| 第 1 段 | 11     | 0.44  | 1.25  | 10.23     | 对应车辆 DE 段 |
| 第 2 段 | 13     | 0.52  | 2.00  | 13.85     | 对应车辆 EF 段 |

## 2.2 根据行人被撞击后的飞行速度计算车速

在本次事故中, 行人被撞击后抛掷的速度与碰撞时车辆的速度基本相同, 因此, 我们可根据行人被抛掷后飞行的速度来确定车辆碰撞瞬间的速度。由于有视频监控记录碰撞时刻, 而行人被抛掷飞出后正好与装载摄像头的竖杆相碰, 而导致视频画面发生摆动, 从而可精确确定被撞行人与竖杆接触的时刻。因此, 可根据视频获取行人被撞击后的飞行时间, 而飞行距离可到现场测量。行人飞行了 21 帧, 帧频 25, 所以飞行时间为 0.84s, 飞行距离为 14.5 m, 因此行人飞行速度为 62.14 km/h。与用监控视频分析的碰撞时的车速基本相同。

## 2.3 通过车辆的制动痕迹计算车速

根据交通事故现场资料, 车辆接触行人后冲上一高度为 0.1m 的台阶, 同时留下了一条清晰的长度为 34.70m 的左侧车轮制动痕迹, 最终车辆撞击行道树停驶。因此可以据此对人车接触时车辆的行驶速度进行计算:

$$\frac{1}{2}mv^2 = k\mu mgl + mgh$$

即：

$$v = \sqrt{2k\mu gl + 2gh}$$

事故路段事发时为干燥沥青路面，车辆与地面摩擦系数  $\mu$  取 0.65， $l$  长度为 34.70m，由于车辆只留下单边制动痕迹，因此  $k$  取 0.5；台阶高度  $h$  为 0.1m。将以上数据代入公式，计算得出：  
 $v = 14.93(m/s) = 54(km/h)$

以上计算未考虑车辆冲击台阶以及撞击行道树而产生的能量损失，因此人车接触时车辆的行驶速度应略高于计算所得的结果，即碰撞速度应高于 54km/h。

## 2.4 通过行人被抛掷的距离计算车速

根据交通事故现场资料，车辆与行人相撞后行人被抛掷的距离为 15m，根据行人抛掷的计算公式：

$$V = \sqrt{2g} \times \mu_p \times \left( \sqrt{h + \frac{x}{\mu_p}} - \sqrt{h} \right) \times 3.6$$

$$V = 40 \text{ km/h}$$

该方法计算车速偏低的原因是因行人被车辆撞击飞行一段路程后与监控录像竖杆相撞，导致行人提前落地，且向前滑动的趋势减弱，因而导致计算速度比实际车速低。

# 3 人体伤害分析

## 3.1 体表尸检报告

尸检报告结论如下：根据对行人遇难者的尸体检验见：左颞顶部创口，右枕部大片皮肤擦伤，面部皮肤大片擦伤，枕骨大孔穿刺抽出血性液体；多发肋骨骨折，胸部大片皮肤擦伤，胸腔穿刺抽出血性液体；四肢多处软组织伤，结合案情综合分析判定：遇难者系交通事故致颅脑损伤，胸腔脏器损伤死亡。

## 3.2 64 排容积 CT 扫描分析结果

脑肿胀  
 蛛网膜下腔出血、脑室积血  
 颅内积气（广泛）  
 颅底骨折（包括枕骨大孔粉碎性骨折）  
 颈椎管内积气  
 双肺挫裂伤  
 右肺上、中叶支气管积血，并右肺中叶不张  
 左侧血胸（中量）  
 左侧气胸（少量）、纵隔积气（少量）  
 心包破裂，心脏破裂、积气（右心室）  
 双侧头臂静脉、上下腔静脉、肝静脉积气  
 脾脏破裂并包膜下积血  
 双侧多发肋骨骨折（右：4-7，9-11 肋；左侧：6，9-12 肋）  
 胸腰椎多发附件骨折  
 骶骨粉碎性骨折  
 左侧髌骨粉碎性骨折  
 右侧股骨颈粉碎性骨折  
 双侧耻骨、坐骨骨折（错位明显）

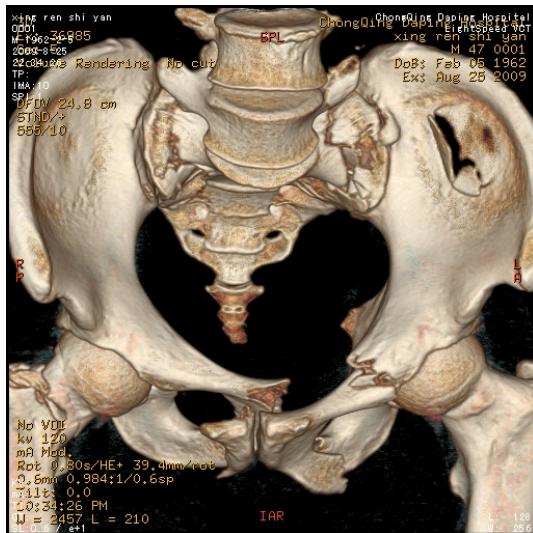


图 2. 骨盆损伤情况

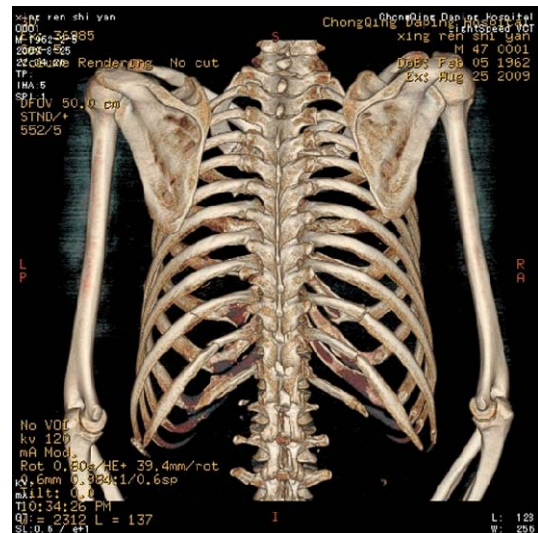


图 3. 肋骨损伤

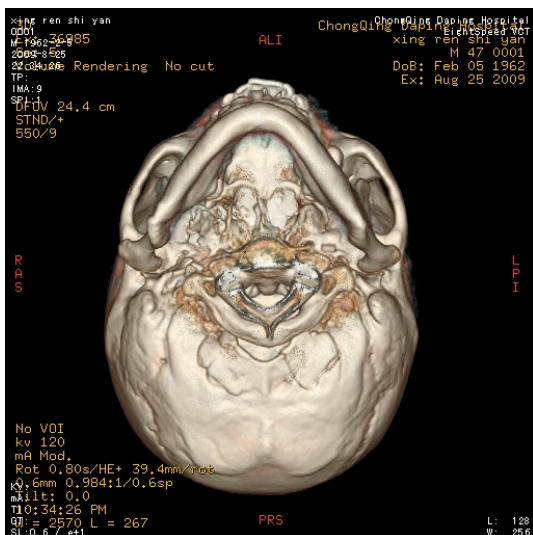


图 4. 枕骨大孔骨折

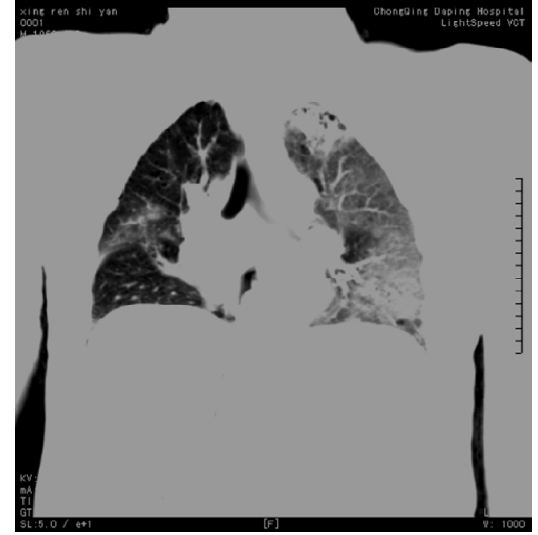


图 5. 肺损伤情况

## 4 讨论

- 1) 通过视频图像对车速等进行分析是一种有效而实用的分析方法，尽管由于普通摄像头的拍摄频率仅 25 帧，会对分析精度有所影响，但在分析车速等参数时精度已能满足要求，与其它分析方法相比，能确保分析结果的可靠性；
- 2) 在本案例中车辆与行人接触时的碰撞速度与行人被撞击后在空中的飞行速度非常接近，从而验证了在行人碰撞事故中所采用的计算公式的理论基础；
- 3) 通过行人抛距和车辆的刹车痕迹计算出的车速比实际车速低，其原因分别是因为行人被抛掷后受电杆阻拦导致抛距缩短和车辆与路沿碰撞及与行道树撞击所耗损的能量未计算在内所致；
- 4) 事故路段的限速为 70 km/h，肇事车辆的行驶速度高于 81km/h。在距离碰撞点 80m 处驾驶员就已发现行人并采取降低车速，从左边车道修正至右边车道。当肇事车离行人只有 16.9 m 时，行人离路沿的距离为 4.65m，若行人停下来，即可避免本事故的发生。但遗憾的是行人没有停下来，反而加速向路沿跑去，当车辆驶完 16.9 米的距离与行人相撞时，行人仅跑完 3.25m 的距离。说明行人判断失误，低估了车辆的行驶速度或高估了自己跑动的能力。即使肇事车不超速，也很难避免本起事故；
- 5) 采用行人抛距和刹车痕迹两种方式按经典的经验公式计算的结果均比实际车速低，分析其原因主要是行人被电杆阻挡导致抛距减少及滑动的能量减少和肇事车撞击路沿及撞击行道树所损耗的能量未能计算所致；

- 6) 交通伤致死原因多系巨大撞击能量作用于人体所致，其伤情多存在外轻内重的现象，本案例很好地佐证了该现象。64 排容积 CT 扫描和三维重建的分析结果与体表尸检结果相比较可以看出，新技术获得了比体表尸检结果多得多的信息，避免了尸检出现的诸多漏检现象。如脑肿胀、蛛网膜下腔出血、脑室积血、颅底骨折、枕骨大孔粉碎性骨折、双肺挫裂伤、右肺上、中叶支气管积血，并右肺中叶不张、左侧血胸、左侧气胸、心包破裂、心脏破裂、脾脏破裂并包膜下积血等是体表尸检无法观察到的信息。CT 扫描和三维重建与传统尸检相比，有如下优点：①直观速度快捷；②无损毁检测；③便于证据保全；④避免漏检；⑤可从不同角度进行全方位的观察；⑥可测量各特征材料的距离、大小；⑦便于细节还原。由于国人受传统观念影响，尸检很难为大多数家庭所接受，所以只能采用体表尸检代替，但体表尸检漏检项目太多，若能降低 CT 检查的成本，采用 CT 进行虚拟尸检应该是一种非常有效检查手段；
- 7) 在交通伤研究中，常用的研究方法有尸体实验、动物实验、假人实验、计算机模拟仿真。由于尸体实验无法模拟人体在撞击过程中的功能性损害，且因尸体实验缺乏肌肉张力和血液的作用而使实验结果与真实情况有较大的差异；而动物实验又存在动物结构与人体结构的差异较大，计算机仿真研究是将对象高度简化后进行分析，且需要验证和必要的边界或其它条件支撑才能发挥作用。而在每天道路交通事故中频繁发生的乘员/行人损伤是丰富的研究数据来源，将事故过程和人员伤害结合起来开展交通伤的深入研究已成为一种有效的研究手段。在本案例中由于车辆撞击时的相关信息，如车辆的质量、撞击位置、车辆的变形情况，行人被撞时的姿态等为已知；通过视频分析等获取车辆的车速；通过 64 排容积 CT 扫描和三维重建，获得了比体表尸检详细很多的人体伤害信息；通过后续计算机仿真技术对各器官受力情况进行分析，从而可建立人体各器官损伤的量效关系；通过类似案例的积累，可望从另一角度探讨人体损伤的奥秘。