

旋转碰撞实验平台设计和构建

谢静茹¹, 刘盛雄², 明健雄¹, 杨光瑜¹, 邱金龙¹, 车兴平¹, 尹志勇¹

1. 陆军军医大学第三附属医院野战外科研究所/全军交通医学研究所/车辆(生物)碰撞安全重庆市重点实验室, 重庆 400042;

2. 重庆理工大学药学与生物工程学院, 重庆 400054

【摘要】交通颅脑撞击损伤在交通事故中很常见,但由于旋转致伤实验装置复杂,旋转角加速度难于准确控制,因此颅脑旋转运动与颅脑损伤之间的关系及耐限还有待研究。针对上述技术瓶颈,本研究设计并构建了颅脑旋转碰撞实验平台。空载实验测试结果表明,气体输出压力为200 kPa时,角加速度峰值为 $(19\ 615.2 \pm 75.9)$ rad/s²;气体输出压力值为400 kPa时,角加速度峰值为 $(45\ 565.7 \pm 315.2)$ rad/s²。通过空载实验测试验证,该平台在不同输出气压时均能获得稳定可调节的角加速度。

【关键词】旋转碰撞;实验平台;设计

【中图分类号】R-33

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)02-0201-04

Design and construction of rotating crash experimental platform

XIE Jingru¹, LIU Shengxiong², MING Jianxiong¹, YANG Guangyu¹, QIU Jinlong¹, CHE Xingping¹, YIN Zhiyong¹

1. Chongqing Key Laboratory of Vehicle Crash/Bio-impact and Traffic Safety, Institute of Traffic Medicine of the Chinese people's Liberation Army, Research Institute of Field Surgery, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China;

2. School of Pharmacy and Bioengineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China

Abstract: Craniocerebral injuries were common in traffic accidents. Due to the complexity of rotating- caused injury experimental device, the rotation angular acceleration is difficult to be controlled accurately. Therefore, the relationships between brain rotational motion and craniocerebral injury and the related tolerance limits have yet to be studied. To solve the above technique problems, we design and construct an experimental platform of craniocerebral rotating crash. With the air pressure of 200 kPa, the peak angular acceleration was $(19\ 615.2 \pm 75.9)$ rad/s²; with the air pressure of 400 kPa, the peak angular acceleration was $(45\ 565.7 \pm 315.2)$ rad/s². Through no-load experiment, this device was proved to be able to control the angular acceleration precisely under different air pressures.

Keywords: rotating crash; experimental platform; design

前言

道路交通事故已成为全世界主要的公共卫生问题^[1]。道路交通伤严重威胁着人类的生命健康。目前,全世界每年约有130万人在道路交通事故中死亡,每年有200万~500万人在道路交通事故中受伤^[2]。在中国,每年约有10万人在道路交通事故中

死亡,每年约有50万人在道路交通事故中受伤^[3]。随着社会进步和医学发展,许多疾病已得到有效的控制,但道路交通伤却有增无减^[4]。联合国于2010年初召开成员国大会,一致通过将2011~2020年作为实行“道路安全行动的十年计划”的10年^[5]。

颅脑撞击损伤是交通事故中的常见伤,以及主要致死原因之一^[6]。驾驶员和乘员在交通事故中的死因以颅脑损伤居多,分别占到33.8%和45.9%^[7]。此外,各类头部创伤在所有人体创伤中的比例约为34%,在导致死亡的创伤中比例更高达68%^[8]。交通事故中颅脑损伤死亡率高^[9],颅脑撞击伤生物力学机制一直都是研究的热点领域,大部分交通事故致颅脑损伤案例中均包含致命的脑组织弥漫性轴索损伤^[10],即由颅脑旋转运动导致的损伤。许多学者对颅脑直线撞击伤作了大量

【收稿日期】2017-12-18

【基金项目】国家重点研发计划(2016YFC0800702)

【作者简介】谢静茹,助理实验师,研究方向:车辆碰撞生物安全, E-mail: rubycolorful@yeah.net

【通信作者】刘盛雄,副教授,硕士研究生导师, E-mail: lsndxfj@sina.com
尹志勇,教授,博士研究生导师, E-mail: zy.yin@qq.com;

研究^[11],得出了颅脑在直线运动下其所受加速度与组织损伤之间的关系^[12];但颅脑旋转运动的外部角加速度与颅脑损伤之间的关系及耐限在生物力学领域还处于不断探索完善之中^[13]。

1992年之前很难找到关于颅脑旋转损伤耐限方面的研究论文^[14],相关文献报道较少。其中一个原因即为旋转致伤实验装置相对复杂,旋转角加速度

值难于准确控制^[15]。

本文设计并构建了颅脑旋转碰撞实验平台,实现了对旋转撞击角加速度的控制。

1 旋转碰撞平台的设计

以小型生物撞击机^[16]为基础,设计多功能颅脑旋转运动实验平台,如图1、2所示。

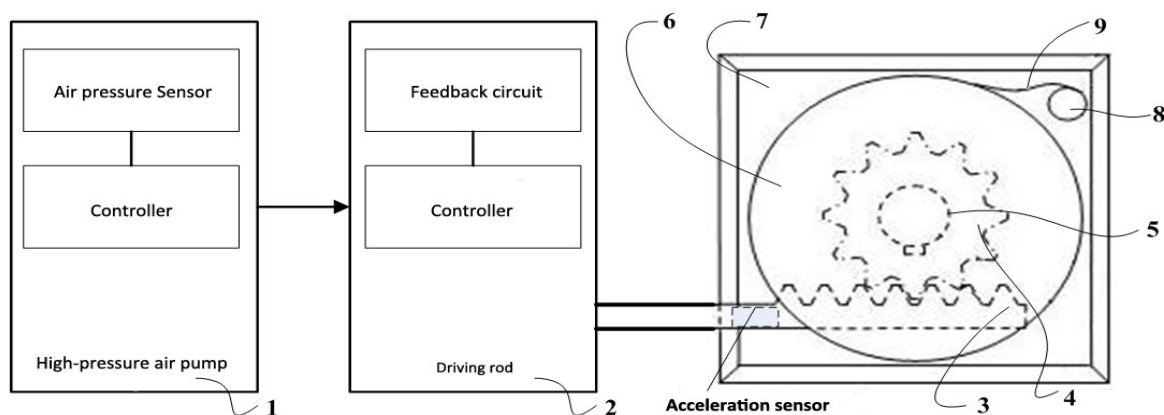


图1 多功能颅脑旋转运动实验平台总体示意图

Fig.1 Schematic diagram of a multifunctional craniocerebral rotating crash experimental platform

1: High-pressure air pump; 2: Driving rod; 3: Rack; 4: Ratchet; 5: Spinning pin; 6: Carrier turntable; 7: Base; 8: Fixed column; 9: Elastic rubber band

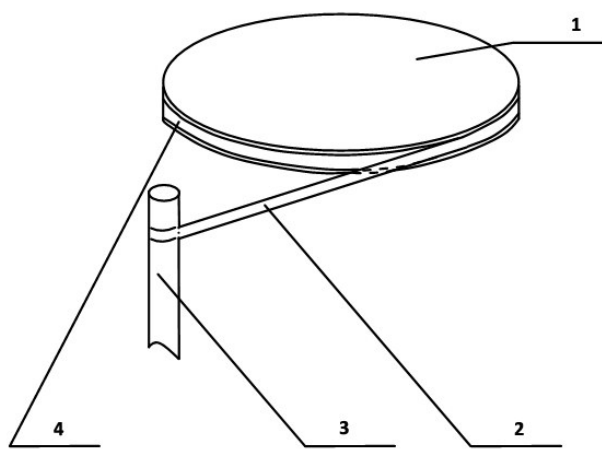


图2 多功能颅脑旋转运动实验平台减速结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of the gearbox structure of multifunctional brain rotating crash experimental platform

1: Carrier turntable; 2: Elastic rubber band; 3: Fixed column; 4: Groove ring

1.1 多功能颅脑旋转运动实验平台工作原理

高压气泵连接驱动杆,气体导出时可带动驱动杆瞬间向右击出,驱动杆与齿条时螺栓连接,故驱动杆带动齿条向右击出,之后齿条带动棘轮逆时针旋转。棘轮通过旋转销轴与载物转盘连接,旋转销轴与底座之间通过轴承相连,载物转盘随即发生逆时针旋转。为避免驱动杆击出后发生自由飞行带来危

险因素^[17],需在驱动杆中增设回弹措施,使驱动杆击出后瞬间产生回弹。因此旋转装置需采用棘轮机构带动,以免驱动杆回弹过程中带动齿条产生回复运动进而通过随动齿轮对旋转销轴及载物转盘的逆时针旋转运动产生阻碍。装置中固定立柱与底座之间为固定连接,弹性橡胶带一端固定于固定立柱上,另一端固定于载物转盘的凹槽环上。实验前弹性橡胶带处于自由状态,不紧绷且预留有弯曲部分。当载物转盘发生加速旋转90°后,弹性橡胶带开始起作用并使载物转盘在较低角减速度值的作用下逐渐停转,使得在此过程中动物颅脑的损伤只发生在旋转加速阶段而不会发生在减速旋转阶段,从而可将动物颅脑旋转发生的损伤与其角加速度值进行一维关联。所选择的棘轮其外周齿数为40,齿条的模数与棘轮外周齿相等,齿数为10,齿条第一齿卡合在棘轮上,当高压气泵控制连杆,带动齿条运动时,所述齿条的第10齿运动到棘轮外周齿上时,载物转盘正好被加速转动90°。

1.2 线性运动旋转运动转换原理

将高压气泵的输出值调整到某一压力值^[18],然后导出气体,击发驱动杆,通过加速度传感器测量齿条的线加速度历程,线性运动与旋转运动可通过式(1)进行转换:

$$a = v_0 = v_1 = r\omega \quad (1)$$

其中 v_0 为齿条击出的线加速度; v_1 为棘轮以分度圆为半径的圆弧线加速度; r 为棘轮分度圆半径; a 为齿条3运动的线加速度; ω 为棘轮也即载物转盘的角加速度; 则载物转盘的角加速度 ω 为:

$$\omega = \frac{a}{r} \quad (2)$$

2 旋转碰撞平台的实验内容

该颅脑旋转碰撞平台实现了以下功能: ① 高压气泵的高压气能够产生足够大的动力推动驱动杆进行直线运动, 从而通过齿条棘轮传动促使载物转盘产生加速旋转运动, 产生试验所需的角加速度值^[19]。② 采用齿条棘轮传动机构, 实现了从直线运动到旋转运动的转化, 可将较大的直线冲击转换成相应的旋转冲击。③ 棘轮内部为4齿结构, 从而保证转盘仅向单一方向(逆时针方向)做旋转运动, 当齿条处于回程阶段时, 棘轮机构起作用, 不会使齿条带动棘轮外周齿发生反向(顺时针)旋转, 从而减小齿条回程对转盘运动的影响。④ 通过固定立柱、弹簧橡胶带和凹槽环能够在加速阶段完成后, 及时地进行减速操作, 不至于使动物颅脑在减速阶段受到损伤。⑤ 齿条与棘轮外周齿的齿数比为1:4, 这种设计方式使得转盘的加速阶段保持在0~90°区间, 之后其走行的角度区间则为减速阶段, 从而充分模拟颅脑的挥鞭伤边界条件。⑥ 采用该种装置进行旋转实验, 角加速度输出峰值较大, 此外, 角加速度峰值较为稳定且可按需通过高压气泵输出进行适当调节。

3 平台预实验结果

通过预实验, 获得了空载下高压气体压力值与输出加速度之间的关系^[20], 结果比较稳定, 适于颅脑旋转加速碰撞实验, 实验结果见表1和表2。

气体输出压力值200 kPa时, 3次角加速度峰值均值为19 615.2 rad/s², 标准差值为75.9 rad/s², 误差值

表1 气压为200 kPa下实验平台空载角加速度峰值
Tab.1 Peak values of angular acceleration in no-load
experiment with an air pressure of 200 kPa

No. of experiment	PV/g	PAA/rad·s ⁻²
1	60.24	19 678.4
2	60.18	19 658.8
3	59.72	19 508.5

PV: Peak value of linear acceleration; PAA: Peak value of angular acceleration

表2 气压为400 kPa下实验平台空载角加速度峰值
Tab.2 Peak values of angular acceleration in no-load
experiment with an air pressure of 400 kPa

No. of experiment	PV/g	PAA/rad·s ⁻²
1	140.59	45 926.1
2	138.24	45 158.4
3	139.63	45 612.5

属可接受范围。

气体输出压力值均为400 kPa时, 3次角加速度峰值均值为45 565.7 rad/s², 标准差值为315.2 rad/s², 误差值属可接受范围。

空载实验结果提示, 采用该种装置进行颅脑旋转碰撞实验, 角加速度输出峰值足够大。此外, 角加速度峰值稳定且可按需进行准确调节。

4 结论

本文顺利设计并构建了颅脑旋转碰撞实验平台, 可通过控制高压气体的压力值较为准确稳定地控制旋转碰撞角加速度峰值。后续可用于动物颅脑旋转加速碰撞实验, 并获取致伤耐限。

【参考文献】

- [1] SAUERZAPF V, JONES A P, HAYNES R. The problems in determining international road mortality [J]. *Accid Anal Prev*, 2010, 42(2): 492-499.
- [2] 柳献初. 做好交通事故大数据统计, 改善道路交通安全[J]. *商用汽车*, 2017 (4): 32-33.
LIU X C. Big data of traffic accidents is key to improve road safety [J]. *Commercial Vehicle*, 2017(4): 32-33.
- [3] 张应旗, 邵毅明, 钟欣. 全国道路交通事故预测[J]. *北京汽车*, 2016 (3): 32-35.
ZHANG Y Q, SHAO Y M, ZHONG X. National road traffic accident forecast[J]. *Beijing Automotive Engineering*, 2016(3): 32-35.
- [4] 交通运输部公路科学研究院. 2015年中国道路交通安全蓝皮书[M]. 北京: 人民交通出版社, 2016.
Research Institute of Highway Ministry of Transport. The blue book of road safety in china 2015[M]. Beijing: China Communications Press, 2016.
- [5] 杨超, 段蕾蕾. 《全球道路安全状况(2013)》摘译[J]. *伤害医学(电子版)*, 2015, 4(1): 60-61.
YANG C, DUAN L L. Global status report on road safety 2013 excerpt [J]. *Injury Medicine (Electronic Edition)*, 2015, 4(1): 60-61.
- [6] 辜玉刚. 178例合并重型颅脑损伤的交通事故多发伤的救治体会[J]. *医学信息*, 2010, 5(11): 3071-3072.
GU Y G. The experience of treatment of 178 cases of multiple injuries associated with severe craniocerebral injury [J]. *Medical Information*, 2010, 5(11): 3071-3072.
- [7] 王聪. 基于乘员伤害分析的颅脑精细建模与损伤机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
WANG C. Research on development and injury mechanism of a detailed FE model based on occupant damage analysis [D].

- Changchun: Jilin University, 2015.
- [8] 杨朝华, 夏勇, 成洋, 等. 519例颅脑交通伤流行病学分析[J]. 中华创伤杂志, 2014, 30(3): 243-244.
- YANG Z H, XIA Y, CHENG Y, et al. Epidemiological analysis of 519 cases of traumatic brain injury[J]. Chinese Journal of Trauma, 2014, 30(3): 243-244.
- [9] 李广兴, 张继伟. 影响急诊重型颅脑损伤死亡率的因素分析[J]. 军事医学, 2015(2): 158-159.
- LI G X, ZHANG J W. Analysis of the factors influencing the mortality of emergency traumatic brain injury[J]. Military Medical Sciences, 2015(2): 158-159.
- [10] 房文峰, 蔡学见, 陈铮立, 等. 交通事故致弥漫性轴索损伤92例[J]. 人民军医, 2005, 48(4): 207-208.
- FANG W F, CAI X J, CHEN Z L, et al. 92 cases of diffuse axonal injury caused by traffic accident[J]. People's Military Surgeon, 2005, 48(4): 207-208.
- [11] SUMMERS C R, IVINS B, SCHWAB K A. Traumatic brain injury in the United States: an epidemiologic overview[J]. Mt Sinai J Med, 2009, 76(2): 105-110.
- [12] KLEIVEN S. Evaluation of head injury criteria using a finite element model validated against experiments on localized brain motion, intracerebral acceleration, and intracranial pressure [J]. Int J Crashworthines, 2006, 11(1): 65-79.
- [13] 任立海. 弥散性脑损伤生物力学特性的数值分析研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2015.
- REN L H. Numerical investigations of the biomechanical behavior of diffuse brain injuries[D]. Changsha: Hunan University, 2015.
- [14] 王洪财, 马延斌. 颅脑特殊结构对弥漫性轴索损伤形成的影响[J]. 中华创伤杂志, 2010, 26(6): 571-573.
- WANG H C, MA Y B. Effect of brain specific structure on the formation of diffuse axonal injury[J]. Chinese Journal of Trauma, 2010, 26(6): 571-573.
- [15] 何光龙, 孙溢, 赵艳. 弥漫性轴索损伤实验装置的研制及应用[J]. 刑事技术, 2013, 38(4): 25-27.
- HE G L, SUN Y, ZHAO Y. Designation and application of the DAI experimental facility[J]. Forensic Science and Technology, 2013, 38(4): 25-27.
- [16] 尹志勇, 王正国, 刘海鹏, 等. 多功能小型生物撞击机的研制与应用[J]. 生物医学工程学杂志, 2000, 17(3): 309-312.
- YIN Z Y, WANG Z G, LIU H P, et al. The development and application of a minitype multifunctional bio-impactor [J]. Journal of Biomedical Engineering, 2000, 17(3): 309-312.
- [17] 陈龙, 史朋飞, 夏新涛, 等. 一种内置内齿驱动装置的转盘轴承: CN201120496206.X[P]. 2011-12-04.
- CHEN L, SHI P F, XIA X T, et al. A turntable bearing with internal gear drive: CN201120496206. X[P]. 2011-12-04.
- [18] 雷玉勇, 刘克福. 液气压传动与控制[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2013.
- LEI Y Y, LIU K F. Liquid pressure transmission and control [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2013.
- [19] 刘盛雄, 陈忠敏, 尹志勇. 一种用于颅脑旋转加速检验的装置和方法: CN201310669309.5[P]. 2013-12-10.
- LIU S X, CHEN Z M, YIN Z Y. An apparatus and method for craniocerebral rotation acceleration test: CN201310669309.5 [P]. 2013-12-10.
- [20] 雷晨. 微型面包车驾驶员颅脑损伤机制及对策研究[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2016.
- LEI C. Research on the mechanism of brain injury and countermeasures of the minibus driver [D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2016.

(编辑: 薛泽玲)