

基于三维打印技术制作钛合金修复体修补兔颅骨缺损的研究

王蕾^{1a}, 张毅^{1b}, 严红燕^{1b}, 王学建^{1b}, 堵俊²

(1. 南通大学第二附属医院, a 急诊中心, b 神经外科, 江苏 南通 226001;

2. 南通大学电气工程学院, 江苏 南通 226019)

摘要:目的 通过三维(3D)打印技术协助新西兰兔个体化钛合金修复体进行预制行颅骨缺损修补,探讨3D技术在颅骨缺损重建中的运用价值。**方法** 选取健康雄性新西兰兔12只制作颅骨缺损模型成功后,螺旋64排CT薄层无间距逐层扫描获得断层数据后进行格式转换构建三维颅骨立体模型,利用3D打印机进行修复体的三维原型制造,结合模型利用钛合金修复体进行骨性缺损区域精准修补。**结果** 钛合金修复体与骨性缺损区域及边缘组织契合满意,术中一次固定到位,避免反复剪裁,操作阻力小,伤口均一期愈合,不良反应较少,未观察到颅内感染、头皮溃烂、钛合金外露、排出及移位等不良现象。术后颅骨外形与健侧相比更美观、功能修复满意,并邀请三位同行医师评估修复满意度,以100%为满意,取平均值,满意率为98.78%。**结论** 与颅骨缺损修补术相比,3D打印技术可快速、精准结合钛合金,对个体化修复颅骨缺损区尤其是复杂解剖形态“适形”可能更胜一筹,值得临床推广运用。

关键词: 三维打印技术; 颅骨缺损; 修复; 新西兰兔

doi:10.3969/j.issn.1009-6469.2018.11.012

3D printing prefabricated individual titanium alloy to repair rabbit skull defect

WANG Lei^{1a}, ZHANG Yi^{1b}, YAN Hongyan^{1b}, WANG Xuejian^{1b}, DU Jun²

(a. Department of Emergency Center; b. Department of Neurosurgery, 1. Second Affiliated Hospital of Nantong University, Nantong, Jiangsu 226001, China;

2. School of Electrical Engineering, Nantong University, Nantong, Jiangsu 226019, China)

Abstract: Objective To use 3D printing to prefabricate the New Zealand rabbit individualized titanium alloy prosthesis for the accurate repair of skull defect, and to explore the value of 3D printing in reconstruction of skull defect. **Methods** Twelve healthy male rabbits were selected to make brain defect model, and the computed tomography data were obtained by 64-slice spiral CT scanning. Three-dimensional skull model was constructed and produced with 3D printer. The defect area was repaired by using the titanium alloy prosthesis combined with the three-dimensional model and titanium screws. **Results** Titanium alloy prosthesis was satisfied with the area and edge tissue of bone defect. It was fixed at one time, avoiding repeated cutting, having small operation resistance. The wound healed at phase I, with fewer adverse reactions. No side effects were observed including intracranial infection, scalp ulceration, titanium alloy exposure, discharge and displacement. After the operation, the shape of the skull was well-done compared to the healthy side, and the functional repair was satisfactory. Three colleagues were invited to evaluate the satisfaction degree of the repair. The satisfaction value was set at 100%, and the average satisfaction rate was 98.78%. **Conclusion** Compared with the current skull defect repair, 3D printing technology adopted for titanium alloy individualized repair, especially for the conformality of complicated anatomic form, may be superior, which is worthy of clinical promotion.

Key words: Three-dimensional printing; Skull defect; Repair; New Zealand rabbit

颅骨成形术是对较大颅骨损伤进行骨性修补的一种常见神经外科手术。目前的颅骨缺损修复手术中,修补材料有时需进行反复修剪,手工塑形时间长,尤其在修复巨大及复杂部位缺损时问题暴

露诸多且较为棘手^[1]。三维(3D)打印技术可根据计算机三维成像利用3D材料直接打印产品。本研究通过建立动物颅骨缺损模型,3D打印技术辅助钛网进行修补,对相关结果统计分析进行初步研究。

1 资料与方法

1.1 试验动物 研究时间为2016年12月至2017年10月。选用健康新西兰兔12只,3~4月龄,健康

基金项目:南通市科技计划项目(MS12015109, MS12015016)

通信作者:张毅,男,博士,副主任医师,研究方向为颅脑损伤的防治, E-mail: zhangyi9285@sina.com

雄性, 体质量(2.5 ± 0.5) kg, 由南通大学医学院动物实验中心提供[合格证号 SYXK(苏):2017-0046, 许可证号 SCXK(苏):2008-0010]。实验动物饲养于单独的笼内饲养 7 d, 并可在笼内自由走动, 钛修复体的化学成分符合中国国家对于手术植入修复材料的标准(GB/T13810-2007)。本实验符合伦理学原则。

1.2 实验方法

1.2.1 造模方法 新西兰兔固定仪上制动^[2]。10% 水合氯醛($1 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$)经耳缘静脉麻醉, 逐渐追加麻醉剂量, 麻醉满意后备皮暴露术处, 美兰标记颅骨正中矢状线及冠状缝, 经正中线头皮切开, 显露颅骨冠状缝, 电钻直径约 1.5 mm 于冠状缝后 0.5 cm 处钻孔, 咬骨钳咬开约 $2.0 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm}$ 大小的骨性缺损, 向前下延伸至眶缘, 此骨窗的范围包括部分顶骨、额骨及上眶骨, 手术过程中避免破坏矢状窦, 保证硬脑膜完整性。造模型完成后再次分笼单独饲养, 并常规术后 7 d 内给予青霉素(华北制药, 批号: H13020656) $20 \text{ IU} \cdot \text{kg}^{-1}$, 每天 2 次肌注预防切口感染, 并注意观察伤口定期换药, 7 d 后切口拆线。

1.2.2 修补手术方法 所有新西兰兔颅骨缺损术后 2 周行头部 CT 扫描获取数据进行制作修复体, 再行颅骨钛网修补术。沿造模手术切痕分离新西兰兔头皮及皮下组织, 暴露完整骨性缺损及其边缘, 取钛网剪裁超出骨性缺损边缘 1 ~ 2 mm 后置入, 用钛钉在颅骨骨缘周围固定, 逐层缝合头皮并加压包扎颅骨。术后 7 d 内每天 2 次肌注常规青霉素 $20 \text{ IU} \cdot \text{kg}^{-1}$, 避免创口感染, 7 d 后拆线观察。

1.2.3 3D 打印辅助钛网的制作 进行修补术前 12 只新西兰兔头颅全部进行 64 排螺旋 CT 薄层无间距扫描, 结合扫描获得的颅骨重建所得图像以 DICOM 格式进行保存, 并通过 Mimics15.0 软件转换设计三维颅骨立体模型, 利用 MakerWare 软件转换为 STL 格式保存, 传递给 3D Makerbot Replicator 2.0 打印机, 通过加热生物降解塑料聚乳酸细丝溶解后喷出熔融沉积快速构造成型。我们利用制造出的 1:1 精准头颅缺损和钛合金修复体的三维立体解剖模型, 将钛合金补件修复安装在缺损处, 观察修复体与所造模型的匹配契合程度。

1.2.4 主要观察指标 新西兰兔颅骨愈合情况、术后并发症(出血、感染、脑脊液外漏、修复体排出)、外形评估、术后复查情况。

2 结果

12 只新西兰兔进行颅骨缺损均造模成功, 进行二次手术钛合金修复体植入后平稳, 未观察到颅内感染、头皮溃烂、钛合金外露、排出及移位等不良现

象。术后颅骨外形与健侧相比更美观、功能修复满意, 并邀请三位同行医师评估修复满意度, 以 100% 为满意, 取平均值, 满意率为 98.78%。另外修补边缘结构未见压迫, 明显变性、增生及坏死。术后复查颅骨平片和三维螺旋 CT 显示修复体和缺损处契合良好, 骨面修复边缘曲度过渡自然(图 1)。

3 讨论

现代颅骨成形手术常见修补材料包括硅橡胶、骨水泥、自体骨瓣、钛网、聚醚醚酮等, 它们均有各自不同的特点及利弊, 材料的选择对于颅骨修补手术的成败及预后均有影响。其中钛合金具有良好的组织生物相容性、高强度的坚韧性, 较低的感染率, 术后有利于后期肉芽组织贯穿生长固定^[3], 且不影响 CT、磁共振及脑电图扫描检查, 干扰因素较小^[4], 已成为目前临床运用较为广泛的颅骨修复材料。

3D 打印技术又称快速成型技术或增材制造技术, 利用相关计算机软件进行逐层扫描图像转化数据储存进行立体形态塑造后通过可黏合性材料如粉末、液态塑料或金属等, 用 3D 打印机扫描并 1:1 精准打印构造模型的一种新兴技术^[5-7]。目前 3D 打印技术广泛运用于医学研究及临床方面, 尤其在外科手术领域运用较为活跃, 主要包括口腔颌面外科、整形科、神经外科、骨科、肝胆腹腔科等^[8], 可帮助术者从术前规划设计到手术操作过程立体构造重建, 亦有利于医患充分沟通。

颅颌面骨解剖结构较为复杂, 布满各种窦腔, 包括诸多不规则的骨性突起以及神经、血管进出于骨的各种出入口, 复制在动物模型中亦如此, 尤其对于颧突、眼眶上缘等骨性平面不规则、曲度变化大的部位, 在缺损形成后无法准确进行形态塑形及钛网剪裁, 需进行多次调整及塑形。与健侧相比, 钛网修补容易出现外形差异大、钛网翘边、皮下积液等并发症, 严重时钛网可外露并造成周围软组织创伤^[9-10]。我们研究认为, 基于 CT 数据, 3D 重建通过快速成型技术预制个体化颅骨缺损修复较传统颅骨缺损修补的优点是显而易见的。根据术前骨性缺损的定位、面积、形状制定个体化修补方案可使术中修复体与骨性缺损区域尤其是骨缘达到完美的契合, 且术中避免反复塑剪, 直接将修复体植入拼接并固定即可, 对不同面积尤其复杂解剖部位骨性缺损均能适用。术后功能恢复良好, 外观修复满意较对侧对称, 能达到 1:1 精确修复骨性颌面形态, 较大程度恢复解剖构造, 大大缩短了手术时间, 降低麻醉风险。同时在术前对手术效果预见, 能大幅度减少手术操作风险和相关并发症^[11]。