

计算机辅助设计与制造技术在个性化 甲状软骨重建中的应用*

张龙城¹ 胡万青² 黄海波³ 夏薇⁴ 曹高翔⁴

[摘要] 目的:探讨计算机辅助设计/计算机辅助制造(CAD/CAM)技术在甲状软骨缺损的个性化修复重建中的价值。方法:选取 30 只成年新西兰大白兔(雌雄不限),随机分为 2 组。A 组在术前行喉部 CT 扫描,三维重建甲状软骨成像,手术切除任意一侧甲状软骨,缺损处植入运用 CAD/CAM 技术和镜像技术制备的个性化修复材料;B 组手术切除任意一侧甲状软骨,缺损处植入大致按照实验动物单侧甲状软骨制作的非个性化修复材料。术后通过大体观察、电子喉镜检查等观察实验动物的喉腔情况。结果:A 组实验动物喉腔黏膜无炎症、无肉芽生长,声带闭合良好,喉腔通畅、无塌陷现象发生;B 组喉腔黏膜无炎症,第 3 周喉前连合处见肉芽生长,第 7 周见术侧喉腔轻度塌陷,喉腔欠通畅,声带闭合欠佳。结论:运用 CAD/CAM 技术制备的个性化修复材料比非个性化材料能起到更好的喉支撑作用。CAD/CAM 技术为术前设计提供了个性化实体模型,提高了手术的精确性,节省了手术时间,降低了手术并发症。

[关键词] CT 扫描;计算机辅助设计/计算机辅助制造;甲状软骨;个性化重建

doi:10.13201/j.issn.1001-1781.2014.19.010

[中图分类号] R764 **[文献标志码]** A

The application of CAD/CAM technology on the reconstruction of the thyroid cartilage

ZHANG Longcheng¹ HU Wanqing² HUANG Haibo³ XIA Wei⁴ CAO Gaoxiang⁴

(¹Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, the 303 rd Hospital of PLA, Nanning, 530021, China;²Department of Otorhinolaryngology, Maanshan People's Hospital;³Department of Radiology, the 303 rd Hospital of PLA;⁴School of Materials Science and Engineering, Guangxi University)

Corresponding author: ZHANG Longcheng, E-mail:Zhanglongcheng_303@163.com

Abstract Objective: To explore the value of computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) technology for individual reconstruction of the thyroid cartilage defects. **Method:** Select the 20 New Zealand white rabbits (male or female). Randomly divided into two groups. Group A in the pre-operative CT scan of the throat, three-dimensional reconstruction of the thyroid cartilage imaging, surgical removal of either side of the thyroid cartilage, defect implanted in the use of CAD/CAM technology and mirror technology to produce personalized restorative materials; Group B surgical resection either side of the thyroid cartilage, defect implanted production of non-personalized probably according to the experimental animals unilateral thyroid cartilage repair materials. After surgery by gross observation, electronic laryngoscopy observed experimental animals throat. **Result:** General check and electronic laryngoscopy show: the use of CAD/CAM technology to prepare the individual repair materials throat plays better supporting role than the non personalized materials. **Conclusion:** CAD/CAM technology before surgery designed to provide a personalized solid model to improve the accuracy of the surgery, time saving surgery to reduce surgical complications.

Key words CT scan; computer-aided design/computer-aided manufacturing; thyroid cartilage; individual reconstruction

喉部的先天性畸形、外伤、外科手术损伤及肿瘤等常造成甲状软骨复杂且大范围的缺损,从而导致甲状软骨丧失其软骨的支撑作用,不仅影响患者的整体外在形象,还会造成患者呼吸、发声、吞咽等

功能障碍。以往的研究局限于只是选择什么样的生物材料来修复缺损,对于重建和恢复喉部甲状软骨的支架功能的研究尚少。CAD/CAM 及 RP 技术在相关医学领域得到广泛的应用,但在耳鼻咽喉头颈外科领域,特别是头颈部外科领域尚未开展相关研究。本实验以 rhBMP-2、I 型胶原、羟基磷灰石为材料,通过 CT 扫描获取兔甲状软骨数据,结合 CAD/CAM 技术,个性化设计并制作甲状软骨缺损的实体支架,植入实验动物体内,通过临床观察来探讨个体化甲状软骨支架材料修复甲状软骨缺损的价值。

*基金项目:全军医药卫生科研课题(面上项目 No: 06MA122); 广西自然科学基金项目(No: 2011GXNSFA018209)

¹中国人民解放军第三〇三医院耳鼻咽喉头颈外科(南宁, 530021)

²马鞍山市人民医院耳鼻咽喉科

³中国人民解放军第三〇三医院放射科

⁴广西大学材料科学与工程学院

通信作者:张龙城, E-mail: zhanglongcheng_303@163.com

1 材料与方 法

1.1 实验动物与器材

新西兰大白兔 30 只(购自广西医科大学动物实验中心),雌雄各 15 只,雌兔月龄 6~10 个月,雄兔 8~10 个月;体重 2.5~3.0 kg。丙烯酰胺、N,N'-亚甲基双丙烯酰胺、柠檬酸铵、过硫酸铵、四甲基乙二胺、Triton X-114、戊巴比妥钠、重组人骨形态发生蛋白-2、羟基磷灰石、I 型胶原(水溶性)、医用胶均在 国内公司购得。电子天平、快速成型机、马弗炉、电热鼓风干燥箱、电子恒速搅拌器、生物力学测试仪、真空冷冻干燥机均由广西大学材料与工程学院提供。256 层极速 CT、光学显微镜、无水乙醇、石蜡、二甲苯、10% 甲醛、10% 硝酸、石蜡、苏木紫染色液、伊红染色液均由中国人民解放军第三〇三医院提供。

1.2 实验方法

1.2.1 活体三维数据重建 使用 256 层极速 CT 扫描兔喉部(5 cm 视野,100 mAs,120 kV,0.67 mm 薄层),将扫描得到的二维数据以 DICOM 格式导出,运用计算机在医学图像处理软件 Mimics 软件中根据灰度值实现外轮廓的分割,并将分割后的甲状软骨部分数据,以空间点坐标的形式导出(图 1)。再将此空间点导入专业逆向工程软件 Geomagic Studio 中完成甲状软骨的空间三维数字模型的重构(图 2)。以正中矢状面为界,利用计算机软件模拟手术切除一侧甲状软骨,以未切除侧甲状软骨为镜面,获得切除侧结构的镜像图像,对图像进行局部添加、删减、表面光滑等操作,使两侧图像在视觉上基本对称和形态正常。

1.2.2 CAD 数模 将处理过的空间三角面片,通过精确曲面构造的流程完成 NURBS(非均匀有理 B 样条)曲面的绘制,并使用工业 CAD 软件 UG 中的注射模具向导完成快速模具的分模设计,并将凸凹模具以 STL 格式导出。

1.2.3 RP 技术制造模具 将上述凸凹模具 STL 数据导入快速成型机操作软件,设计模型单层堆积轨迹,完成快速模具的制造(图 3)。

1.2.4 泡沫凝胶注模制备多孔 HA 支架 以丙烯酰胺为单体,N,N'-亚甲基双丙烯酰胺为交联剂,过硫酸铵为引发剂,柠檬酸铵为分散剂,四甲基乙二胺为催化剂,曲拉通 X-114(Triton X-114)为起泡剂,制备个性化多孔 HA 支架。将单体、交联剂、分散剂与去离子水混合得到预混液,和 HA 粉末一起搅拌制得浆料,加入起泡剂,快速搅拌至体积为搅拌前的 2~3 倍,依次加入催化剂和引发剂,搅拌后注入标准样件模具,24 h 后开模,将模型 100℃ 烘干 24 h,放入马弗炉中以 1℃/min 的速度升温到 1200℃ 后保温 2 h,随炉冷却后取出。

1.2.5 rhBMP-2/CHA 复合支架的制备 按照水

溶性 I 型胶原冻干粉:羟基磷灰石支架=1:2(质量比)将适量 I 型胶原与适量 rhBMP-2 冻干粉溶于灭菌水中制成混合溶液,通过冷冻吸附法使 I 型胶原与 rhBMP-2 混合溶液沉淀于人工材料支架上,制备个性化 rhBMP-2/CHA 复合支架,制备的支架术前环氧乙烷消毒。

1.2.6 动物实验 1% 戊巴比妥钠 30 mg/kg 兔耳缘静脉麻醉,颈部剃毛,纵行切开颈部正中皮肤,分离浅筋膜、颈前带状肌、甲状软骨外膜,暴露甲状软骨翼板,中线剪开并切除一侧甲状软骨,保留甲状软骨内外膜。A 组植入个性化 rhBMP-2/CHA 复合支架,B 组植入非个性化 rhBMP-2/CHA 支架,用医用胶将支架固定在缺损部位,医用缝线逐层缝合切口。术后肌肉注射庆大霉素,1 次/d,0.5 mg/kg,连续 5 d。

1.3 术后观察及检查

观察各组实验动物发声、进食及切口愈合情况;并于术后第 3、7 周行电子喉镜检查实验动物喉腔。

2 结果

2.1 术后一般情况

术后动物一般情况良好,当日动物清醒,发声正常,开始饮水,次日开始进食;术后切口 I/甲愈合,不用拆线,线结 10 d 左右自行脱落,切口无明显出血、红肿、渗出及感染、化脓等并发症,未见免疫排斥反应。

2.2 电子喉镜检查

术后第 3、7 周分别在 A、B 两组中随机选取 15 只兔行电子喉镜检查:A 组实验动物喉腔黏膜无炎症、无肉芽生长,声带闭合良好,喉腔通畅、无塌陷现象的发生(图 4)。B 组喉腔黏膜无炎症,3 周喉前连合处见肉芽生长,7 周见手术侧喉腔轻度塌陷,喉腔欠通畅,声带闭合欠佳(图 5)。

3 讨论

20 世纪七八十年代,计算机辅助技术开始应用于临床。随着 CAD/CAM 技术的普及和快速成型技术的发展,其技术的结合应用在临床各领域愈加广泛;从物理模型复制^[1-2]到个性化可植入假体制作^[3-4],再到疾病的诊断及辅助、模拟手术^[5-6],直到目前组织工程和人工器官制作^[7-8],其中部分已经在临床取得了满意的效果。本研究着重于甲状软骨缺损的原位修复,对 15 只兔进行喉部 CT 扫描,三维重建甲状软骨成像,通过 CAD/CAM 技术、镜像原理及 RP 技术模型,手术切除一侧甲状软骨并预制实体模型,对术中可能出现的困难和风险做出评估,提高手术的精确性,节省了手术时间,降低了手术并发症。塑形精确的支架重建或恢复甲状软骨的支架功能,使实验动物在术后发声、饮食及呼吸功能正常。该技术的主要优点有:①制作高精度模型:以现有的医学检查设备 CT 或 MR 的扫描数

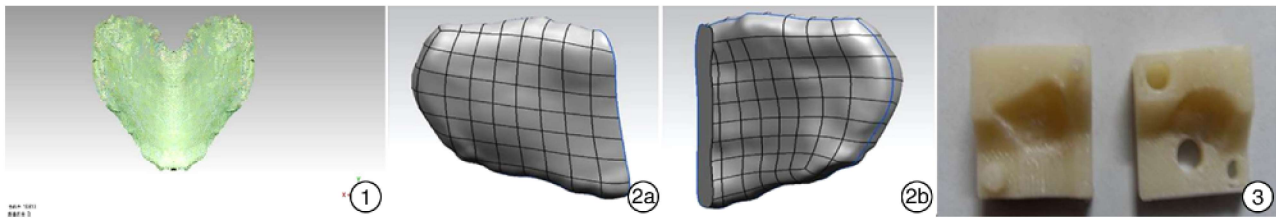


图 1 导入逆向工程的三维点云; 图 2 逆向工程软件完成的甲状软骨的三维数字模型; 图 3 快速成型机制作的个性化模具

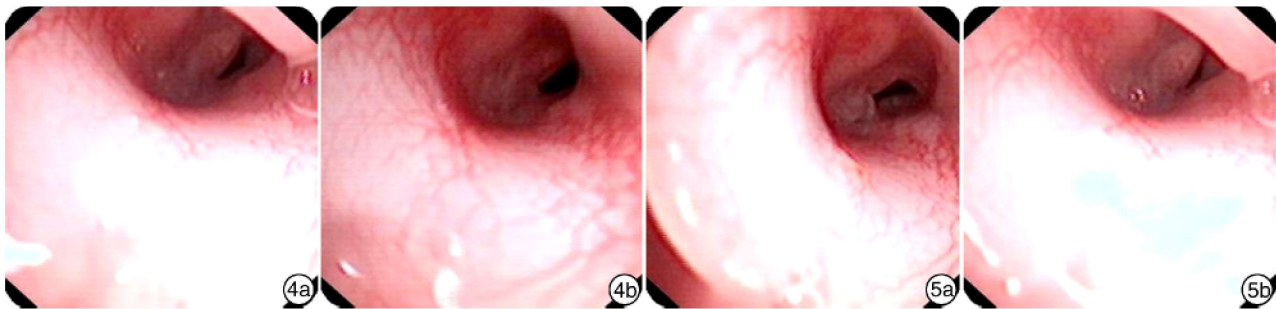


图 4 植入个性化 rhBMP-2/CHA 支架电子喉镜检查 4a:A 组术后第 3 周;4b:A 组术后第 7 周; 图 5 植入非个性化 rhBMP-2/CHA 支架电子喉镜检查 5a:B 组术后第 3 周;5b:B 组术后第 7 周。

据为基础,三维重建出喉部甲状软骨模型,能够精确地显示出病变缺损或畸形的形态变化,使临床医生能够直观地了解甲状软骨的缺损或畸变情况,使手术医师能够明确地了解甲状软骨缺损或畸变的性质、程度及范围等,以便设计出适宜的手术方案。②镜像原理重现修复效果:利用镜像原理,根据健侧半的图像数据,重建出缺损侧的图像,并显示出甲状软骨半侧缺损修复后的整体修复效果,可以为临床医生提供手术模拟操作。目前,该技术已用于颌面外科的临床应用,而在耳鼻咽喉头颈外科领域仍处于科研研究阶段。③降低手术风险及难度:对于复杂的喉部外伤或畸形造成甲状软骨缺损,个性化制作出其缺损模型后,通过模拟手术,能够发现或预计术中可能碰到的阻力或困难,并通过多次反复的模拟手术找到解决方案。做好充分的术前准备,熟练手术操作过程,降低手术风险及难度。④明显缩短手术时间:本实验中一对一的个性化模型制作不仅减少了术中临床医生根据解剖外形临时塑形的时间,更明显提高了植入模型的塑形质量,减少手术时间,提高手术的精确性,减轻手术医生的工作量,也降低了因手术部位暴露时间过长而可能造成的感染。⑤减少术后并发症发生的概率:通过 CAD/CAM 及 RP 技术个性化制作的模型能够与病变缺损部位高度吻合,可明显降低因植入材料与病变缺损部位吻合不佳而引起的术后并发症,如材料的松动、移位、塑形不佳等。⑥提高术后外形的美观:根据喉部甲状软骨两侧基本对称的原理,利用镜像原理制作换侧缺损模型,植入机体后可恢

复甲状软骨的外形,最大程度地达到模型与健侧的对称,提高术后外形的美观。

CAD/CAM 技术在甲状软骨个性化三维重建中虽有上述众多优点,但也有其局限性。对于甲状软骨病变伴有大范围喉部病变或全喉病变的病例,缺少甲状软骨修复材料牢固的链接支撑点,从而造成术区形态和功能的恢复有限,甚至移植物的感染而导致手术失败。总之,CAD/CAM 技术在甲状软骨的修复重建中能够帮助术者了解病变部位的三维结构,以获得准确的修复重建方案,使得修复操作精确而快捷,术后能达到理想的外形效果。但是在实际临床应用中,对于手术适应证的准确把握也是影响手术成功与否的至关因素。

参考文献

- [1] HERLIN C, KOPPE M, BEZIAT J L, et al. Rapid prototyping in craniofacial surgery: using a positioning guide after zygomatic osteotomy—A case report [J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2011, 39: 376—379.
- [2] SABOL J V, GRANT G T, LIACOURAS P, et al. Digital image capture and rapid prototyping of the maxillofacial defect [J]. *J Prosthodont*, 2011, 20: 310—314.
- [3] CHRZAN R, URBANIK A, KARBOWSKI K, et al. Cranioplasty prosthesis manufacturing based on reverse engineering technology [J]. *Med Sci Monit*, 2012, 18: MT1—6.
- [4] CHING W C, GOH R C, LIN C L, et al. Aesthetic restoration of fronto-orbital deformity with prefabricated implant utilizing modeling clay and rapid-prototyping technology [J]. *Aesthetic Plast Surg*, 2011, 35: 1176—1179.

• 研究报告 •

耳部防护措施与外耳道骨疣发病的关系

王传永¹ 吴艳华¹

[摘要] 目的:探讨冬泳时耳部防护措施与外耳道骨疣发病及其严重程度的相关性。方法:对315名冬泳爱好者进行调查,填写调查表,包括个人基本信息、耳部防护措施、冬泳时间、耳部疾病病史等,将调查表及检查结果(电耳镜)结合起来得出基本数据。根据外耳道的狭窄程度对外耳道骨疣进行分级:<33%为重度狭窄,33%~65%为中度狭窄,66%~99%为轻度狭窄,100%为正常。根据冬泳时有无耳部防护措施将冬泳爱好者分为防护组和无防护组。结果:本组外耳道骨疣的总发病率为17.6%。在110只骨疣耳中,63.6%为轻度,23.6%为中度,12.7%为重度。冬泳时耳部无防护组,33.0%患外耳道骨疣,4.6%重度耳道狭窄;有耳部防护组,2.8%患外耳道骨疣,无重度耳道狭窄。结论:冬泳时耳部防护措施与外耳道骨疣的发病及严重程度呈负相关,即冬泳时采取耳部防护措施可以预防外耳道骨疣的发病并降低其严重程度。

[关键词] 外耳道骨疣;发病;狭窄

doi:10.13201/j.issn.1001-1781.2014.19.011

[中图分类号] R764.71 **[文献标志码]** A

The relationship between the ear protective measures and the prevalence of external auditory canal exostoses

WANG Chuanyong WU Yanhua

(Department of Otorhinolaryngology, the Central Hospital of Shanxian, Heze, 274300, China)

Corresponding author: WU Yanhua, E-mail: wyhshirley@126.com

Abstract Objective: To determine the relationship between the ear protective measures during winter swimming and the prevalence, severity of the incidence of external auditory canal exostoses. **Method:** Three hundred and fifteen people who enjoyed swimming were recruited as research subject (62.2% males and 37.8% females; age distribution: 4.4% were ≤ 40 , 40.3% were 41 to 60, and 55.2% were > 60 years). People fill in the questionnaires including personal information, the ear protection measures, the time of winter swimming, the history of ear infections and so on, and questionnaires were correlated with otoscopic findings. We classify external auditory canal exostoses according to the degree of the stenosis of external auditory canal s. Grades of normal, mild, moderate and severe corresponded to 100%, 99% to 66%, 65% to 33%, and less than 33% respectively. **Result:** Of 110 ears with exostoses, 63.6% were mild, 23.6% were moderate, and 12.7% were severe. Among the group of without ear protection during winter swimming, about 33.0% have auditory canal exostoses and 4.6% were severely affected. In comparison, in the group that had ear protection, only 2.8% had external auditory canal exostoses and no one had severely obstructed auditory canal. **Conclusion:** A negative association exists between the ear protection measures during winter swimming and the prevalence and severity of exostoses of the external auditory canal. That means taking ear protective measures when having winter swimming can prevent the onset of the external auditory canal exostoses and reduce its severity.

Key words external auditory canal exostoses; prevalence; stenosis

¹ 山东单县中心医院耳鼻咽喉科(山东单县,274300)
通信作者:吴艳华, E-mail: wyhshirley@126.com

- [5] LIN C C, LO L J, LEE M Y, et al. Craniofacial surgical simulation: application of three-dimensional medical imaging and rapid prototyping models[J]. Chang Gung Med J, 2001, 24: 229-238.
- [6] 吴健有, 刘静明, 陈志远, 等. 个体化数字导板在颧眶复合体骨折中的应用[J]. 北京口腔医学, 2011, 19(1): 31-34.
- [7] KHALYFA A, VOGT S, WEISSER J, et al. Develop-

ment of a new calcium phosphate powder-binder system for the 3D printing of patient specific implants [J]. J Mater Sci Mater Med, 2007, 18: 909-916.

- [8] SUBBURAJ K, NAIR C, RAJESH S, et al. Rapid development of auricular prosthesis using CAD and rapid prototyping technologies [J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2007, 36: 938-943.

(收稿日期:2014-02-03)