

3D打印技术在儿童放射治疗定位头枕设计中的应用

邓官华, 罗龙辉, 吴伟, 张平, 戴鹏, 罗日顺, 黄庆, 蔡林波
广东三九脑科医院肿瘤综合治疗中心, 广东 广州 510510

【摘要】目的:利用3D打印技术设计出一款既能提高儿童患者舒适性,又能提高放疗摆位精度的头枕。**方法:**以3至7岁中国儿童头颅大小为基础,并与博医来标准头枕模型相结合,利用3D打印技术,设计出一款适用于3至7岁儿童的放疗头枕。随机将30例3至7岁儿童头部肿瘤患者分为研究组和对照组,每组各15例。研究组采用3D打印放疗头枕加热塑膜联合固定,对照组则采用博医来标准头枕加热塑膜联合固定。记录研究组与对照组的单次照射透射率及两组儿童患者放疗过程中LAT(X)、LNG(Y)、VRT(Z)及3D矢量方向的位移误差,并采用Mann-Whitney *U*检验分析比较两组数据,以评估3D打印放疗头枕效果。**结果:**在VRT及3D矢量方向,研究组与对照组间的位移误差具有统计学意义(VRT方向: $P<0.001$;3D矢量方向: $P=0.023$),而在LAT及LNG方向,研究组与对照组间的位移误差无统计学意义(LAT方向: $P=0.950$;LNG方向: $P=0.137$)。**结论:**本研究提出的3D打印放疗头枕能有效减小VRT及3D矢量方向的位移误差,同时提高儿童放疗过程中的舒适性。

【关键词】儿童头枕;3D打印;放射治疗;摆位误差

【中图分类号】R318;R739.9

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)11-1272-05

Application of 3D printing technology in designing headrest for pediatric patients having radiotherapy

DENG Guanhua, LUO Longhui, WU Wei, ZHANG Ping, DAI Peng, LUO Rishun, HUANG Qing, CAI Linbo
Department of Oncology, Guangdong Sanjiu Brain Hospital, Guangzhou 510510, China

Abstract: Objective To apply 3D printing technology in designing a headrest which can make pediatric patients more comfortable and improve the positioning accuracy in radiotherapy. **Methods** The pediatric headrest for 3- to 7-year-old pediatric patients were designed and manufactured by 3D printing technology, based on the head size of pediatric patients aging from 3 to 7 years old and BrainLab standard headrest. Thirty 3- to 7-year-old pediatric patients with brain tumors were randomly divided into research group and control group, with 15 cases in each group. The patients in research group were immobilized using 3D printed headrest with thermoplastic masks, while those in control group were immobilized by BrainLab standard headrest with thermoplastic masks. The single exposure transmittance and the setup errors in LAT (X), LNG (Y), VRT (Z) and 3D vector directions were recorded and analyzed by Mann-Whitney *U* test, thereby evaluating the clinical effects of 3D printed headrest. **Results** Statistical differences in setup errors between two groups were found in VRT direction ($P<0.001$) and 3D vector direction ($P=0.023$), and the differences in LAT and LNG directions were trivial, without statistical significance (LAT: $P=0.950$; LNG: $P=0.137$). **Conclusion** Using 3D printed headrest for pediatric patients with brain tumors can significantly reduce the setup errors in VRT direction and 3D vector direction, and improve the comfort during radiotherapy.

Keywords: pediatric headrest; 3D printing; radiotherapy; setup error

前言

调强放射治疗(Intensity-Modulated Radiotherapy,

IMRT)具有在保证或者提高肿瘤放射剂量的同时,最大限度地减少靶区周围正常组织受照射剂量的特点,现已成为头部肿瘤治疗的主要手段^[1-3]。精准的头部分固定则是IMRT实现精准定位、精准计划及精准治疗的前提^[4]。目前,博医来无框架系统的常规定位是以碳素平板和标准头枕组合为底座,结合热塑膜联合固定。然而,在博医来无框架系统常规固定技术中,采用的头枕为标准成年头枕,枕头的大小及高度无法与儿童患者头颅匹配,在治疗过程中,儿童患者会因头枕不适而躁

【收稿日期】2019-07-11

【基金项目】广东三九脑科医院新技术项目资助(2017012)

【作者简介】邓官华, 硕士, 研究方向: 肿瘤放射治疗, E-mail: gh.deng@foxmail.com

【通信作者】蔡林波, 硕士, 主任医师, 研究方向: 肿瘤早期治疗, E-mail: cailinbo999@163.com

动,从而引起靶区位置的变化。这种靶区位置的变化将导致部分靶区不能得到稳定的照射剂量,降低肿瘤局部控制率,影响疗效^[5-6]。3D打印技术是以计算机生成的3D数字模型文件为基础,运用特殊蜡材、粉末状金属或塑料等可粘合材料,以逐层打印的形式生产3D实体模型的增量制造技术,是近年来放射治疗领域备受瞩目的研究热点之一^[7-10]。针对目前博医来无框架系统还没有一款专门为儿童放疗定制的头枕,本研究以3至7岁中国儿童头颅的大小为基础^[11-12],利用3D打印技术,设计出一款既能确保肿瘤放疗剂量准确性,还能提高儿童舒适性的放疗头枕。

1 研究对象

选取2016年8月~2017年11月广东三九脑科医院肿瘤综合治疗中心收治的30例3至7岁儿童头部肿瘤患者作为研究对象,按照随机数字表法将其分为研究组和对照组,每组各15例。其中研究组男性6例,女性9例,平均年龄(5.80±0.77)岁;对照组男性7例,女性8例,平均年龄(5.20±1.50)岁。两组的一般情况差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。

2 方法

2.1 3D建模

本研究将以祁吉等^[12]提供的3至7岁中国儿童头颅大小的数据为基础,并与博医来标准头枕模型相结合,通过Mimics 17.0版软件(Materialise,比利时)设计出一款在确保肿瘤放疗剂量准确性的同时,还能提高儿童舒适性的放疗头枕,如图1所示。

2.2 3D打印

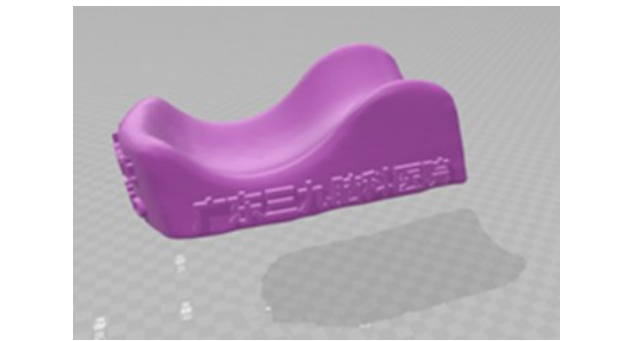


图1 儿童放疗头枕3D模型示意图
Fig.1 Schematic of 3D printed headrest for pediatric patients

如图2所示,基于粘结式3D打印技术设计儿童放疗头枕的主要步骤包括^[9, 13-15]:(1)通过Mimics软件建立儿童放疗头枕的3D模型,输出打印所需的STL(Standard Template Library)文件,并对STL文件进行错误检查和修正。(2)利用Cura 15.0版软件(Ultimaker, 美国)对儿童放疗头枕的3D模型进行切片离散、扫描路径规划以及生成相应的G代码文件,同时设定打印参数,其中,打印层厚=0.06 mm,壳厚=1 mm,底层/顶层层厚=1.5 mm,填充度=15%,打印速度=50 mm/s,打印温度=210 °C,打印喷嘴大小=0.4 mm。(3)3D打印机(PMT, 中国)接收到G代码文件后,采集1.75 mm的PLA材料开始打印放疗头枕。3D打印机工作前需先将打印喷嘴及基板分别预热到210 °C和55 °C,以便PLA材料更好的粘合,提高3D打印质量。(4)3D打印完毕后去除多余支撑物料,并对3D打印放疗头枕进行抛光打磨处理,以满足临床使用要求。

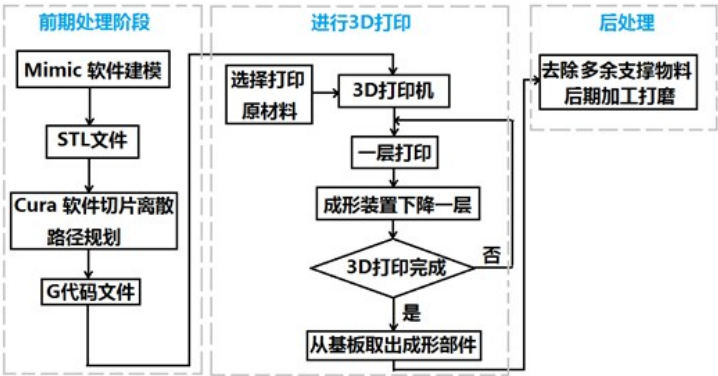


图2 3D打印流程图
Fig.2 Flow diagram of 3D printing

2.3 头枕应用

研究组采用3D打印放疗头枕加热塑膜联合固定的方式来固定儿童患者体位,对照组则采用标准头

枕加热塑膜联合固定的方式来固定儿童患者体位。记录并分析研究组与对照组儿童患者放疗过程中LAT(左右,X轴)、LNG(头脚,Y轴)、VRT(背腹,Z

轴)及3D矢量方向的位移误差 $Vector^{[16]}$:

$$Vector = \sqrt{(LAT^2 + LNG^2 + VRT^2)}$$

(1)

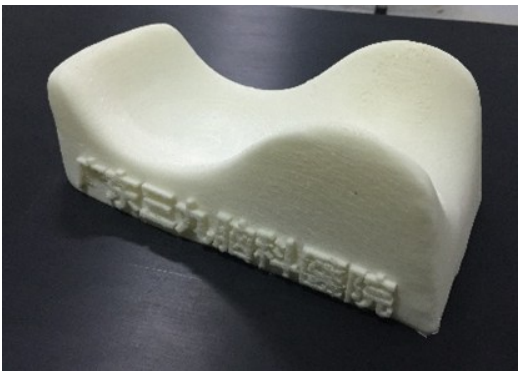
其中,LAT、LNG、VRT 分别为 X、Y、Z 方向位移误差。

2.4 统计学分析

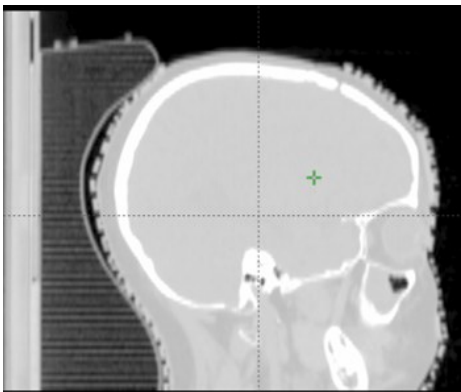
采用 SPSS 21.0 对数据进行统计学处理,计量资料采用均数±标准差表示,采用 Mann-Whitney *U* 检验, $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

3 结果

图 3a 为 3D 打印放疗头枕实物,图 3b 为儿童头部放疗配合 3D 打印放疗头枕的 CT 矢状面图,从图 3b 中可以看出本研究研制的 3D 打印放疗头枕与儿童患儿头颅相吻合。此外,在单次照射透射率测试中,3D 打印放疗头枕的单次照射透射率为 98.90%,略优于博医来标准头枕的 98.50%。



a:3D 打印放疗头枕实物



b: 儿童头部放疗配合 3D 打印放疗头枕的 CT 矢状面图

图 3 3D 打印放疗头枕在儿童放疗定位中的应用
Fig.3 Application of 3D printed headrest for pediatric patients in radiotherapy

图 4 显示为研究组与对照组在 LAT、LNG、VRT 及 3D 矢量方向的位移误差箱线图。研究组在 LAT、LNG、VRT 及 3D 矢量方向的位移误差分别为(0.10±0.07)、(0.04±0.06)、(0.04±0.05)和(0.15±0.04) cm;对照组在

LAT、LNG、VRT 及 3D 矢量方向位移误差分别为 (0.10±0.08)、(0.10±0.10)、(0.15±0.05)和(0.23±0.10) cm。在 VRT 方向及 3D 矢量方向上,研究组与对照组间的位移误差差异具有统计学意义(VRT 方向: $P<0.001$; 3D 矢量方向: $P=0.023$),而在 LAT 方向及 LNG 方向,研究组与对照组间的位移误差差异无统计学意义(LAT 方向: $P=0.950$;LNG 方向: $P=0.137$)。

4 讨论

IMRT 的高适形度剂量分布使其成为头部肿瘤主要治疗手段^[1-3]。精确的定位和摆位是确保 IMRT 疗效的关键。针对目前博医来无框架系统还没有一款专门为儿童放疗定制的头枕,本研究以 3 至 7 岁中国儿童头颅的大小为基础^[11-12],并与博医来标准头枕模型相结合,利用 3D 打印技术,研制出一款适用于 3 至 7 岁儿童的放疗头枕。如图 3b 所示,3D 打印放疗头枕与儿童患儿头颅大小相吻合,且本研究制作的 3D 打印放疗头枕有着更高的单次透射率(98.90% vs 98.50%),可提高 X 射线的有效利用率。同时统计学分析表明,研究组与对照组在 VRT 方向及 3D 矢量方向的位移误差具有统计学意义($P<0.05$),然而在 LAT 方向及 LNG 方向的位移误差无统计学意义($P>0.05$),如图 4 所示。人体头部的固定效果主要由两方面决定^[17]:(1)人体头部前方固定,即对人脸轮廓进行固定限制;(2)后脑勺位置固定,通过下方枕头或固定垫进行限制。LNG 方向及 LAT 方向的位移主要受面罩的限制较多,因而研究组与对照组的数据接近,无统计学意义($P>0.05$);在 VRT 方向,由于标准枕的底部并没有一个吻合头部形状的固定,而 3D 打印放疗头枕可以适形头部后方的固定,有效限制由于头部与枕头之间不匹配产生的间隙导致的儿童患者在 VRT 方向上移动的影响,进而使得研究组在 VRT 及 3D 矢量方向上的位移误差优于对照组。陈心得等^[6]利用发泡胶制作成泡沫头枕用于肿瘤的放射治疗,不仅使得靶区照射更为准确,而且提高了患者放疗过程中的舒适性,但是泡沫头枕的制作及摆位过程较为复杂,临床上难以推广。

放射治疗摆位技术越舒适,患者摆位的重复性越好,摆位精度越高^[18-20]。本研究研制的 3D 打印放疗头枕与儿童患者头部位高度吻合,儿童患者也反映在放疗过程中会感觉更舒适。然而目前,本研究仍存在一些不足之处:(1)未能实现个性化 3D 打印放疗头枕,本研究研制的 3D 打印放疗头枕的尺寸是基于 3 至 7 岁中国儿童头颅大小而设计,对于 7 至 14 岁的儿童,其头颅大小将无法与本研究提出的 3D 打印

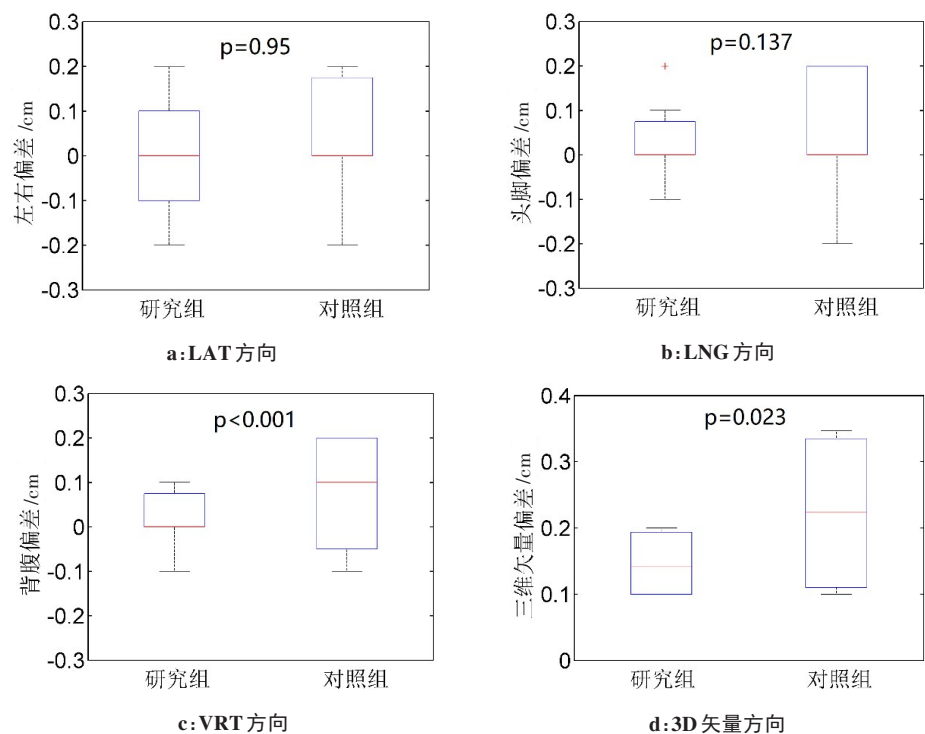


图4 研究组与对照组位移误差箱线图
Fig.4 Boxplots of setup errors in research group and control group

放疗头枕适配;(2)儿童放疗头枕打印时间较长、打印料价格较为昂贵^[13],距离个性化3D打印放疗头枕临床应用还存在一定距离,有待于未来3D打印技术的进一步成熟,实现个性化3D打印放疗头枕。

5 结 论

本研究以3至7岁中国儿童头颅的大小为基础,并与博医来标准头枕模型相结合,利用3D打印技术,设计出一款适用于3至7岁儿童的放疗头枕。实验结果表明,本研究提出的3D打印放疗头枕能够有效改善VRT及3D矢量方向的位移误差,同时提高儿童放疗的舒适性。

【参考文献】

[1] OTTO K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc [J]. Med Phys, 2008, 35(1): 310-317.
[2] BORTFELD T, WEBB S. Single-arc IMRT? [J]. Phys Med Biol, 2008, 54(1): N9-N20.
[3] 林承光, 李国文, 刘晓臻, 等. 鼻咽癌调强放射治疗摆位不确定度对危及器官计划体积(PRV)影响的研究[J]. 癌症, 2008, 27(3): 327-330.
LIN C G, LI G W, LIU X Z, et al. Influence of patient setup error on planning risk volumes for nasopharyngeal carcinoma patients receiving intensity-modulated radiation therapy [J]. Chinese Journal of Cancer, 2008, 27(3): 327-330.
[4] 田源, 张红志. 肿瘤放射治疗技术进展[J]. 中华结直肠疾病电子杂志, 2016, 5(4): 287-291.
TIAN Y, ZHANG H Z. Advances in radiotherapy for tumors [J]. Chinese Journal of Colorectal Diseases, 2016, 5(4): 287-291.

[5] 石慧烽, 涂文勇, 白景峰, 等. 发泡垫在头颈肿瘤放疗定位中应用价值研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2016, 23(4): 238-243.
SHI H F, TU W Y, BAI J F, et al. Study on the value of styrofoam in radiotherapy for head and neck tumor [J]. Precision Radiation Oncology, 2016, 23(4): 238-243.
[6] 陈心得, 孙雅洁, 丁生苕. 常规塑料头枕与泡沫头枕在胸部肿瘤放疗摆位中的应用比较[J]. 实用中西医结合临床, 2015, 15(12): 55-57.
CHEN X D, SUN Y J, DING S G. Comparison of conventional plastic pillow and foam pillow in radiotherapy of thoracic tumor [J]. Practical Clinical Journal of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, 2015, 15(12): 55-57.
[7] BRIGGS M, CLEMENTS H, WYNNE N, et al. 3D printed facial laser scans for the production of localised radiotherapy treatment masks-a case study [J]. J Vis Commun Med, 2016, 39(3-4): 99-104.
[8] CANTERS R A, LIPS I M, WENDLING M, et al. Clinical implementation of 3D printing in the construction of patient specific bolus for electron beam radiotherapy for non-melanoma skin cancer [J]. Radiother Oncol, 2016, 121(1): 148-153.
[9] FUJIMOTO K, SHIINOKI T, YUASA Y, et al. Efficacy of patient-specific bolus created using three-dimensional printing technique in photon radiotherapy [J]. Phys Med, 2017, 38: 1-9.
[10] PARK J W, YEA J W. Three-dimensional customized bolus for intensity-modulated radiotherapy in a patient with Kimura's disease involving the auricle [J]. Cancer Radiother, 2016, 20(3): 205-209.
[11] 姜帅, 李绍林, 马春浓, 等. 儿童头颅最大前后径对头颅CT成像质量的影响[J]. 当代医学, 2012, 18(5): 12-13.
JIANG S, LI S L, MA C N, et al. The influence of the maximum anteroposterior diameter in paediatric skull CT [J]. Contemporary Medicine, 2012, 18(5): 12-13.
[12] 祁吉, 吴恩惠. 中国儿童头颅Cronqvist指数的研究[J]. 临床放射学杂志, 1985, 4(6): 303-305.

- QI J, WU E H. Study on Cronqvist index of Chinese children's skull [J]. Journal of Clinical Radiology, 1985, 4(6): 303-305.
- [13] STANSBURY J W, IDACAVAGE M J. 3D printing with polymers: challenges among expanding options and opportunities [J]. Dent Mater, 2016, 32(1): 54-64.
- [14] 郭日阳. 3D 打印技术及产业前景[J]. 自动化仪表, 2015, 36(3): 5-8.
- GUO R Y. 3D printing technology and its industry prospect [J]. Process Automation Instrumentation, 2015, 36(3): 5-8.
- [15] 丁继平, 涂文勇, 胡海生, 等. 基于3D打印技术的个体化口腔放疗支架的设计[J]. 中国医疗器械杂志, 2017, 41(6): 458-459.
- DING J P, TU W Y, HU H S, et al. Design of individualized oral radiotherapy stent based on 3D printing technique [J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2017, 41(6): 458-459.
- [16] 刘晓清, 罗伟, 林仕荣, 等. 鼻咽癌放疗中个体化口腔支架的位置重复性[J]. 癌症, 2009, 28(9): 1103-1107.
- LIU X Q, LUO W, LIN S R, et al. Placement repeatability of individual oral stents used in radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Cancer, 2009, 28(9): 1103-1107.
- [17] 许森奎, 姚文燕, 胡江, 等. 鼻咽癌发泡胶个体化塑形与标准化头枕放疗体位固定精确度比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2015, 24(2): 196-199.
- XU S K, YAO W Y, HU J, et al. The research of accuracy immobilized using individualized polyurethane scaling agent compared to positioning foam with standard plastics pillow radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2015, 24(2): 196-199.
- [18] 吴传锋, 吴锦昌, 顾科, 等. 水固化头枕对提高乳腺托架固定下乳腺癌放疗锁骨上野摆位准确性的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2017, 37(9): 686-689.
- WU C F, WU J C, GU K, et al. Study on improving accuracy of setup errors of supraclavicular field in radiotherapy for breast cancer by breast bracket and moisture-cured resin cushion [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protect, 2017, 37(9): 686-689.
- [19] 郑祖安, 王俊峰, 李庆, 等. 可调式头颈部放疗体位固定器及其应用[J]. 实用神经疾病杂志, 2004, 7(5): 82-84.
- ZHENG Z A, WANG J F, LI Q, et al. Adjustable head and neck radiotherapy posture fixator and its application [J]. Journal of Practical Nervous Diseases, 2004, 7(5): 82-84.
- [20] 惠华, 张旭光, 陈宏林, 等. 脊柱后凸头颈部肿瘤患者放疗摆位重复性研究[J]. 肿瘤研究与临床, 2016, 6: 399-400.
- HUI H, ZHANG X G, CHEN H L, et al. Study of radiotherapy positioning repeatability of kyphosis patients with head and neck cancer [J]. Cancer Research and Clinic, 2016, 6: 399-400.

(编辑:谭斯允)