

头颈 CT 血管成像

DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.002009

低辐射剂量 CT 扫描技术在脑动脉 3D 打印中的应用研究

李冠¹, 王金宝², 陈欣桐¹, 黄伟¹, 刘文源², 曹东兵³, 邹明宇²

(1. 东部战区总医院(原南京军区南京总医院)医学影像科, 江苏 210002; 2. 北部战区总医院放射诊断科, 辽宁 110016; 3. 北部战区总医院重症(战)创伤救治中心实验室, 辽宁 110016)

【摘要】目的:探讨低辐射剂量 CT 扫描数据在脑动脉 3D 打印的可行性研究。**方法:**将临床拟行脑动脉 3D 打印的 40 例患者随机分为 2 组, 每组 20 例。A 组(常规剂量 CT 扫描方案): 120 kVp, 350 mA 和滤波反投影(FBP)算法; B 组(低剂量 CT 扫描方案): 80 kVp, 自动管电流调制技术(ATCM)和自适应统计迭代重建(ASiR)算法; 2 组对比剂浓度均为 350 mgI/mL。采用两独立样本 *t* 检验(非正态分布采用 *Mann-Whitney U* 检验)来比较 2 组的临床资料、辐射剂量、CT DICOM 数据客观评价指标及 2 组方案完成 3D 打印产物质量的主观评分。**结果:**A、B 2 组患者的临床资料差异均无统计学意义($P>0.05$)。2 组的 CT 辐射剂量差异具有显著统计学意义($P<0.05$), B 组辐射剂量 $[(1.30 \pm 0.47) \text{ mSv}]$ 较 A 组 $[(4.15 \pm 0.62) \text{ mSv}]$ 减少约 68.7%。2 组脑动脉 3D 打印结果主观评分差异无统计学意义($P>0.05$)。2 组 CT DICOM 数据客观评价指标: A 组的背景噪声(BN)明显高于 B 组($P=0.000$), 而 A 组的信噪比(SNR)及对比噪声比(CNR)均低于 B 组($P=0.000$)。**结论:**采用 80 kVp、ATCM 技术及 ASIR 算法的数据行脑动脉 3D 打印, 在保证 3D 打印质量的同时, 可以有效减低辐射剂量。

【关键词】3D 打印; 脑动脉; 辐射剂量; 自动管电流调制技术; 自适应统计迭代重建**【中图分类号】**R575.2**【文献标志码】**A**【收稿日期】**2018-10-15

Application of low-dose CT scan in 3D printing of cerebral artery

Li Guan¹, Wang Jinbao², Chen Xintong¹, Huang Wei¹, Liu Wenyuan², Cao Dongbing³, Zou Mingyu²

(1. Department of Radiology, General Hospital of Eastern Theater Command(Nanjing General Hospital); 2. Department of Radiology, General Hospital of Northern Theater Command; 3. Severe Trauma Treatment

Laboratory, General Hospital of Northern Theater Command)

【Abstract】Objective: To investigate the feasibility of low-dose CT scan in 3D printing of the cerebral artery. **Methods:** A total of 40 patients who planned to undergo 3D printing of the cerebral artery were randomly divided into groups A and B, with 20 patients in each group. The patients in group A underwent CT at a conventional dose(120 kVp, 350 mA) and filtered back projection, and those in group B underwent low-dose CT scan(80 kVp), automatic tube current modulation(ATCM), and adaptive statistical iterative reconstruction(ASIR); the concentration of contrast agent was 350 mgI/mL for both groups. The two-independent-samples *t* test was used for comparison of clinical data, radiation dose, objective evaluation indices of CT DICOM data, and subjective score of 3D printing quality between the two groups, and the *Mann-Whitney U* test was used for comparison of non-normally distributed data. **Results:** There were no significant differences in clinical data between groups A and B($P>0.05$). There was a significant difference in radiation dose between the two groups($P<0.05$), and the radiation dose in group B was 68.7% lower than that in group A $[(1.30 \pm 0.47) \text{ mSv}$ vs. $(4.15 \pm 0.62) \text{ mSv}]$. There was no significant difference in the subjective score of 3D printing quality between the two groups($P>0.05$). As for the objective evaluation indices of CT DICOM data, compared with group B, group A had significantly higher background noise and significantly lower signal-to-noise ratio and contrast-to-noise ratio($P<0.001$). **Conclusion:** 3D printing of the cerebral artery using 80 kVp, ATCM, and ASIR can effectively reduce radiation dose and guarantee the quality of 3D printing.

【Key words】3D printing; cerebral artery; radiation dose; automated tube current modulation; adaptive statistical iterative reconstruction

近年来, 脑 CT 血管成像(CT angiography, CTA)已成为脑血管瘤、脑肿瘤等相关疾病的重要检查方

法之一^[1]。然而, 由于脑 CTA 始终是在二维胶片上成像, 尽管在后处理工作站上可见三维重建图像, 但仍缺少直观、生动的实物模型展示。随着 3D 打印技术在医学领域中的推广, 以原始 CTA 数据作为基础, 完成脑动脉及其邻近组织结构的 3D 打印, 对于颅内占位性病变的诊治, 提供了新的视觉、新的手段^[2]。

作者介绍: 李冠, Email: 362037096@qq.com,

研究方向: 心血管影像诊断及 3D 打印。

通信作者: 王金宝, Email: 461513276@qq.com。

优先出版: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20190312.0855.008.html>

(2019-03-13)

脑动脉 3D 打印可按 1:1 比例大小模拟脑内血管结构、明确病灶的位置、大小、范围及邻近组织结构关系,为术前手术方案的制定,模拟手术过程提供帮助;同时对避开重要神经功能区、减少术后并发症起到重要作用^[3]。然而,在进行脑动脉 3D 打印时,为了保证 3D 打印模型的质量,人们常采用较高的 CT 管电压、管电流,忽视了这一措施所带来的高 CT 辐射剂量问题。根据国际上推出的 ALARA(as low as reasonably achievable)原则^[4],如何保证降低辐射剂量的同时,获取相同质量的 3D 打印模型,是本研究的目的所在。

1 材料与方法

1.1 一般资料

回顾性收集 2016 年 5 月至 2018 年 8 月间在我院收治的疑似患有颅内占位性病变(如垂体瘤、脑膜瘤、血管瘤、胶质瘤等)的患者 40 例,行脑动脉 3D 打印,其中男性 27 例,女性 13 例,年龄 36~78 岁,平均年龄(57.06 ± 10.49)岁。将 40 例患者随机分为 A、B 两组,每组 20 例。所有患者均已排除严重心、肝、肾功能损害,造影剂过敏等 CTA 检查禁忌证,并签署知情同意书。

1.2 检查方法

使用美国 GE 公司 Discovery CT 750 HD (GE Healthcare, Milwaukee, USA)扫描仪。取头先进体位,扫描前嘱患者自然仰卧位,平静呼吸,避免发生吞咽动作或移动头部,双上肢置于身体两侧。扫描范围从颅底(颈 2 椎体)水平至颅顶。A 组(20 例):常规剂量 CT 扫描方案(120 kVp, 350 mA 及 FBP 算法);B 组(20 例):低剂量 CT 扫描方案(80 kVp, ATCM 及 60% ASiR 算法)^[5];噪声指数(noise index, NI)11.0。进床速度为 27.5 mm/r,准直宽度 40 mm,视野 25 cm,机架旋转速度 0.5 s/r,螺距 0.984:1,层厚及层间距均为 5 mm。颈 2~3 椎间隙的横断面作为观察层面,感兴趣区设置为该层面颈内动脉,当其 CT 值达到 100 HU 时,手动触发扫描。2 组均使用对比剂 350 mgI/mL,经左侧肘正中静脉以 5.0 mL/s 流率注射对比剂 50 mL,注射前后分别以同样速率输注生理盐水 16 mL 和 25 mL,对于体质量较大患者适当增加对比剂用量至 60 mL。

1.3 2 组 CT 扫描方案辐射剂量的计算

扫描结束后,记录 2 组病人的容积剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product, DLP),并计算有效辐射剂量(effective radiation dose, ED),根据公式 $ED = DLP \times K$,其中 $K = 0.0023 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$ ^[5]。

1.4 脑动脉 CT DICOM 图像质量客观评价

感兴趣区(region of interest, ROI)均大于管腔 1/2,同时

避开血管钙化斑块。测量并计算对比噪声比(contrast-noise ratio, CNR)和信号噪声比(signal-to-noise ratio, SNR)。CNR=(ROI 右侧颈内动脉-ROI 右侧颞部皮下脂肪)/SD 右侧颈内动脉;SNR=ROI 右侧颈内动脉/SD 右侧颈内动脉。注:ROI 右侧颈内动脉为右侧颈内动脉 CT 值的均值;ROI 右侧颞部皮下脂肪为右侧颞部皮下脂肪 CT 值的均值;SD 右侧颈内动脉为右侧颈内动脉 CT 值的标准差(standard deviation, SD)。

1.5 脑动脉 3D 打印设备及软件配置

将 2 组获取的 CT DICOM 数据传至 3D 打印设备,进行脑动脉 3D 建模打印。采用美国 MakerBot Replicator2 3D 打印机;3D 打印软件为 Makerware;Dell M6800 移动工作站;硬盘为 Seagate SATA 1T。操作系统为 Windows 764 bit;Mimics 15.0(Materialise 公司, Belgium)。

1.6 脑动脉 3D 打印质量主观评分

采用双盲法,由 2 位经验丰富的神经外科医师对脑动脉 3D 打印结果进行评分。采用 4 分法,评分标准:4 分,3D 模型质量好,结构完整,解剖细节显示清晰,血管无伪影,病灶显示清晰,可完全满足临床医师需求;3 分,3D 模型质量较好,结构完整,解剖细节显示尚可,血管无明显伪影,病灶显示尚清,基本满足临床需求;2 分,3D 模型质量差,结构部分缺如,解剖细节显示欠佳,血管显示模糊,病灶显示不佳,无法满足临床需求;1 分,3D 模型质量极差,结构大部分缺如,解剖细节无,血管未见完整显示,病灶显示不清,无法满足临床需要。认为 3 分及以上 3D 模型为符合临床要求。最终评分值取两位神经外科医师评分的均值。

1.7 统计学方法

使用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。患者一般临床资料、辐射剂量和 CT DICOM 图像质量客观评价指标均采用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示。2 组脑动脉 3D 打印质量主观评价采用非参数 Mann-Whitney U 检验;客观评价采用两独立样本 t 检验。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 2 组病例临床资料对比结果

统计结果显示,2 组病例的年龄、身高、体质量及体质指数(body mass index, BMI)差异均无统计学意义,见表 1。

表 1 2 组病例临床资料及统计学结果($\bar{x} \pm s$)

指标	年龄(岁)	B 组(n=20)	体质量(kg)	BMI(kg/m ²)
A 组(20 例)	56.23 $\pm$ 15.47	168.41 $\pm$ 7.54	70.76 $\pm$ 7.41	25.80 $\pm$ 3.46
B 组(20 例)	58.68 $\pm$ 16.24	167.83 $\pm$ 8.61	69.41 $\pm$ 7.29	24.58 $\pm$ 3.72
t 值	0.489	0.227	0.581	1.074
P 值	0.628	0.822	0.565	0.290

2.2 2 组扫描方案辐射剂量对比结果

结果显示, B 组扫描方案患者的 CTDI、DLP 及 ED 均小于 A 组,差异具有统计学意义,见表 2。

表 2 2 组扫描方案辐射剂量对比及统计学结果 ($\bar{x} \pm s$)

指标	A组 (n=20)	B组 (n=20)	t 值	P 值
CTDI(mGy)	11.78 ± 0.42	4.29 ± 0.23	69.951	0.000
DLP(mGy·cm)	296.11 ± 12.35	92.75 ± 3.68	70.574	0.000
ED(mSv)	4.15 ± 0.62	1.30 ± 0.47	16.382	0.000

2.3 2 组方案获取脑动脉 CT DICOM 数据客观评价指标及统计结果

2 组扫描方案的背景噪声(background noise, BN)、SNR及 CNR 结果进行比较,发现 B 组 BN 低于 A 组,而 B 组 SNR、CNR 均高于 A 组($P=0.000$),见表 3。

表 3 2 组图像 BN、SNR 及 CNR 比较 ($\bar{x} \pm s$)

指标	A组 (n=20)	B组 (n=20)	t 值	P 值
背景噪声(BN)	42.05 ± 10.29	31.01 ± 6.82	3.999	0.000
信号噪声比(SNR)	10.74 ± 2.55	17.84 ± 2.17	9.483	0.000
对比噪声比(CNR)	13.32 ± 3.96	22.01 ± 4.46	6.516	0.000

2.4 2 组方案完成脑动脉 3D 打印质量主观评分

2 组方案完成脑动脉 3D 打印结果比较,发现 2 组间 3D 打印模型质量未见明确差异($Z=-0.411, P=0.681$)。2 组主观评分均在 3 分及以上,可完全满足临床诊断需求。经 *Mann-Whitney U* 检验,2 组模型质量主观评分统计结果无统计学差异($P=0.693$),见表 4、图 1。

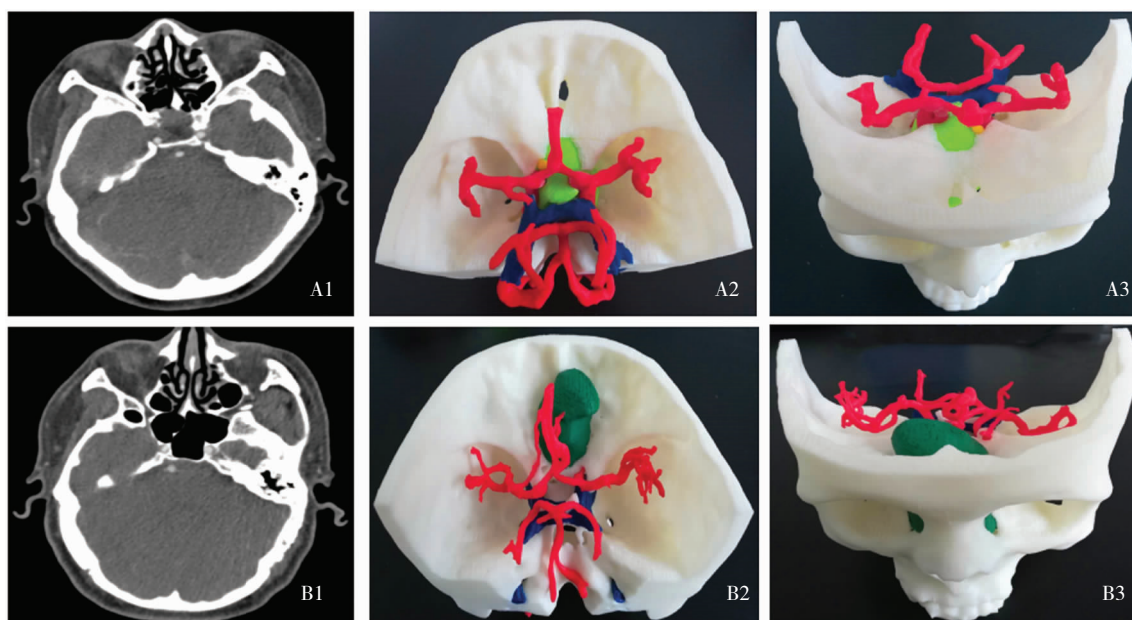
表 4 2 组病例脑动脉 3D 打印结果主观评分

组别	1分	2分	3分	4分	合计
A组	0	0	6	14	20
B组	0	0	5	15	20

3 讨论

3D 打印(3D printing, 3DP)技术是一种快速成型技术,即所谓的可真实打印三维物体结构的一种技术,可将人体的实质脏器、血管、周围组织结构及病变较真实地表达出来,所提供的信息比传统医学影像资料更加直观、解剖信息更加真实^[6]。尽管脑 CTA 检查具有较好的空间和时间分辨率,并且检查简便、快捷,目前已成为临床脑内病变的主要检查方法之一^[7]。但由于其成像结果最终显示在传统的影像胶片上,具有一定的局限性,很难达到三维立体空间结构下的直视。然而,在进行医疗 3D 打印时,人们却忽视了数据获取时所带来的 CT 辐射剂量问题,过高的 CT 辐射剂量可对人体甲状腺、性腺等组织造成伤害,同时诱发某些恶性肿瘤的发生^[8-9]。本研究证实了采用低管电压(80 kVp)、自动管电流调制技术(automated tube current modulation, ATCM)及自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASiR)算法,行脑动脉 3D 打印的可行性,并较常规方案的脑动脉 3D 打印时 CT 辐射剂量下降了约 68.7%。

目前,减少 CT 辐射剂量的方法主要有降低管电压、降低管电流、减少扫描范围及应用迭代算法



注:A1~3,男,45岁,采用低剂量 CT 扫描方案行脑动脉 3D 打印(A1:脑动脉 CT DICOM 数据轴位像;A2~3:脑动脉 3D 打印模型实图);B1~3,男,64岁,采用常规 CT 扫描方案行脑动脉 3D 打印(B1:脑动脉 CT DICOM 数据轴位像;B2~3:脑动脉 3D 打印模型实图);2 组方案完成脑动脉 3D 打印模型质量相当

图 1 2 组 CT 扫描方案行脑动脉 3D 打印结果比较

等^[10-11]。由于辐射剂量与管电压 2.5 倍的平方成正比,与管电流成正比。因此,降低管电压、管电流可较大幅度降低患者所遭受的 CT 辐射剂量^[12]。ATCM 技术是根据检查者不同部位的组织厚度以及预先设置的图像噪声水平来自动调节管电流的大小,从而减少患者所受的辐射剂量^[13]。该技术可根据计算机系统参照 CT 定位相所检测到的受检部位和脏器的厚度、密度,并结合预先设定的图像噪声指数估算出扫描各层面所需要的管电流值,智能地进行管电流的调节,进而得出较低的、较适宜的毫安值进行扫描^[14]。这与当下流行的人工智能技术似有相似之处,可减少操作者重复摸索最佳扫描条件的步骤,并大大缩短了检查时间,是未来影像技术发展的一个趋势。

通常情况下,降低管电压、管电流后,图像的背景噪声 BN 会增高,而 CNR 和 SNR 会减低,而本研究中却得出 B 组较 A 组的 BN 低,CNR 和 SNR 高,分析其原因,主要是由于 ASiR 算法的应用,由于在完成 CT DICOM 数据重建时,加入了适当权重的迭代算法(本研究选用了 60% ASiR),可有效弥补降低管电压后 BN 值的升高、CNR 及 SNR 值的降低。

本研究尚存在一些不足之处:①由于 3D 打印价格不菲,打印时间较长,因此样本量相对较少;②尚未考虑低浓度对比剂的应用及对比剂用药个体化的问题;③尚缺少不同迭代权重下,行脑动脉 3D 打印质量最优化结果的对比;④目前,GE Healthcare 公司推出的最新第三代迭代算法 Weo 3.0,该迭代算法与 ASiR 算法相比,在行脑动脉 3D 打印时降低患者辐射剂量的多少情况对比。这些问题将在今后的研究中进一步讨论。

综上所述,使用低辐射剂量 CT 扫描方案(80 kVp,ATCM 及 60% ASiR)行脑动脉 3D 打印,可较大幅度降低患者所受 CT 辐射剂量的同时,而不影响最终脑动脉 3D 打印的质量。

参 考 文 献

[1] Wang L,Ye X,Hao Q,et al. Three-dimensional intracranial middle cerebral artery aneurysm models for aneurysm surgery and training

[J]. J Clin Neurosci,2018,50:77-82.

[2] Kondo K,Nemoto M,Masuda H,et al. Anatomical reproducibility of a head model molded by a three-dimensional printer[J]. J Neurol Med Chir(Tokyo),2015,55(7):592-598.

[3] Gargiulo P,rnadóttir I,Gíslason M,et al. New directions in 3D medical modeling:3D -printing anatomy and functions in neurosurgical planning[J]. J Healthc Eng,2017,2017:1439643.

[4] Ost MC. Radiation exposure in pediatric urology patients:how to adhere to ALARA [J]. J Urol,2018,199(2):351-352.

[5] Nagayama Y,Nakaura T,Tsuji A,et al. Cerebral bone subtraction CT angiography using 80 kVp and sinogram-affirmed iterative reconstruction:contrast medium and radiation dose reduction with improvement of image quality[J]. Neuroradiology,2017,59(2):127-134.

[6] McCollough CH,Primak AN,Braun N,et al. Strategies for reducing radiation dose in CT[J]. Radiol Clin North Am,2009,47(1):27-40.

[7] Shui W,Zhou M,Chen S,et al. The production of digital and printed resources from multiple modalities using visualization and three-dimensional printing techniques[J]. Comput Assist Radiol Surg,2017,12(1):13-23.

[8] Dong M,Chen G,Li J,et al. Three-dimensional brain arteriovenous malformation models for clinical use and resident training[J]. J Medicine (Baltimore),2018,97(3):e9516.

[9] Alkhorayef M,Babikir E,Alrushoud A,et al. Patient radiation biological risk in computed tomography angiography procedure[J]. Saudi Journal of Biological Sciences,2017,24(2):235-240.

[10] Sabarudin A,Yusof MZ,Mohamad M,et al. Radiation dose associated with cerebral CT angiography and CT perfusion:an experimental phantom study[J]. J Radiation Protection Dosimetry,2014,162(3):316-321.

[11] Yu S,Zheng J,Zhang L. Craniocervical computed tomography angiography with adaptive iterative dose reduction 3D algorithm and automatic tube current modulation in patients with different body mass indexes[J]. J Medicine(Baltimore),2018,97(36):e11841.

[12] You J,Dai Y,Huang N,et al. Low-dose computed tomography with adaptive statistical iterative reconstruction and low tube voltage in craniocervical computed tomographic angiography:impact of body mass index[J]. Journal of Computer Assisted Tomography,2015,39(5):774-780.

[13] Bahner ML,Bengel A,Brix G,et al. Improved vascular opacification in cerebral computed tomography angiography with 80 kVp [J]. Invest Radiol,2005,40(4):229-234.

[14] 李冠,邹明宇,王金宝,等. kV assist 技术联合自动管电流调制技术及 ASIR 重组算法在头颈 CTA 成像的可行性研究[J].临床放射学,2018,37(5):865-868.

(责任编辑:唐秋姗)