

超高分辨率颞骨低剂量CT扫描1 024×1 024矩阵重建的可行性研究*

曾令明, 黄涛, 刘嘉丽, 邓涵, 曹力波, 李响, 丁格, 代航, 李真林[△]

四川大学华西医院放射科(成都 610041)

【摘要】目的 探讨颞骨低剂量CT扫描结合1 024×1 024矩阵重建的可行性及重建矩阵大小对图像质量的影响。**方法** 采用联影160层CT对12具成年男性离体头颅标本分别行常规剂量和低剂量双侧颞骨CT扫描。常规剂量CT采用512×512矩阵和1 024×1 024矩阵重建两组图像,低剂量CT采用1 024×1 024矩阵重建一组图像。比较三组图像的CT值、噪声、信噪比、对比噪声比、15个颞骨解剖结构的可视化评分以及听骨链三维重建结果。**结果** 低剂量组辐射剂量较常规剂量组降低约50%。常规剂量512×512矩阵、1 024×1 024矩阵和低剂量1 024×1 024矩阵三组图像空气、软组织和骨的CT值差异均无统计学意义。低剂量1 024×1 024矩阵图像噪声较大,但对于颞骨结构的显示远优于传统常规剂量512×512矩阵图像。常规剂量1 024×1 024矩阵和低剂量1 024×1 024矩阵的三维重建较理想且无明显差距,均可清晰展示锤骨、砧骨、镫骨、耳蜗和迷路的形态、大小、相对位置关系以及听骨链在颅中的定位。**结论** 采用1 024×1 024矩阵重建行颞骨低剂量CT检查可有效降低辐射剂量,与常规剂量512×512矩阵图像相比,可显著提升图像空间分辨率和颞骨解剖结构可视化。

【关键词】 颞骨 低剂量 计算机断层扫描

Feasibility Study of Ultra-High-Resolution Low-Dose Temporal Bone CT with 1 024×1 024 Reconstruction Matrix

Size ZENG Ling-ming, HUANG Tao, LIU Jia-li, DENG Han, CAO Li-bo, LI Xiang, DING Ge, DAI Hang, LI Zhen-lin[△].
Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

[△] Corresponding author, E-mail: lzlcd01@126.com

【Abstract】 Objective To investigate the feasibility of low-dose CT scan of the temporal bone combined with reconstruction matrix size of 1 024×1 024 and the effect of the reconstruction matrix size on image quality. **Methods** Normal-dose and low-dose bilateral temporal bone CT scans were performed on twelve adult male cadaveric skull specimens using the 160-slice multi-detector CT scanning of United Imaging Healthcare. Normal-dose CT images were reconstructed with matrix sizes of 512×512 and 1 024×1 024, while low-dose CT images were reconstructed with the matrix size of 1 024×1 024. CT value, noise, signal-to-noise ratio, contrast-to-noise ratio, the visualization scoring of 15 anatomical structures of the temporal bone, and the result of three-dimensional reconstruction of the ossicular chain were compared among the three groups. **Results** The radiation dose of low-dose CT scanning was reduced by about 50% compared with that of normal-dose CT. There was no significant difference in CT values of air, soft tissues and bones among the three groups. Low-dose temporal bone CT with the matrix size of 1 024×1 024 had higher noise, but much better visualization of temporal bone structure than the normal-dose temporal bone CT with matrix size of 512×512. Both the three-dimensional reconstructions of normal-dose and low-dose 1 024×1 024 matrix images were satisfactory and showed no significant difference. The morphology, size and relative position of malleus, incus, stapes, cochlea, and labyrinth, as well as the location of the ossicular chain in the cranium were all clearly displayed. **Conclusion** Low-dose temporal bone CT with the matrix size of 1 024×1 024 can be used to effectively reduce the radiation dose and significantly improve the spatial resolution and the visualization of the temporal bone anatomical structures compared with the normal-dose temporal bone CT with a matrix size of 512×512.

【Key words】 Temporal bone Low dose Computed tomography

计算机断层扫描(computed tomography, CT)在颞骨解剖结构的显示及病变的评估中具有极高的临床价值,是中耳炎和乳突炎等颞骨炎症性疾病的金标准影像检查^[1]。

中耳和内耳解剖结构较小且构造复杂,但由于其细微的病理改变就可能对听力和平衡产生深远的影响,现临床常采用较高辐射剂量的CT扫描进行颞骨细微结构的成像^[2-4]。而这不可避免地对人体造成了较大的辐射损伤,且颞骨CT扫描范围内的眼晶状体、唾液腺对于放射线极度敏感,降低颞骨CT的辐射剂量至关重要^[5-8]。最近研究

* 四川省科技计划项目(No. 2019YFS0522)和四川大学华西医院学科卓越发展1-3-5工程项目(No. ZYGD18019)资助

[△] 通信作者, E-mail: lzlcd01@126.com

显示, 1 024×1 024矩阵的CT图像重建方式对于细微解剖结构的显示表现出了远胜于传统512×512矩阵CT图像的能力^[9-11]。更高的图像空间分辨率提供了降低CT辐射剂量的同时保证图像细节的可能, 近年来有许多致力于降低颞骨CT辐射剂量的研究^[1,12], 但目前还鲜有研究评估1 024×1 024矩阵颞骨低剂量CT的图像质量。本研究通过比较常规剂量512×512矩阵、常规剂量1 024×1 024矩阵和低剂量1 024×1 024矩阵颞骨CT的图像质量, 探讨1 024×1 024矩阵颞骨低剂量CT扫描的可行性。

1 对象与方法

1.1 实验对象

采用联影160层CT扫描仪(uCT 780; United Imaging Healthcare, 上海)对12具成年男性离体头颅标本(四川省耳鼻咽喉头颈外科学会提供)分别行常规剂量和低剂量双侧颞骨CT扫描。在联影CT后处理工作站(United Imaging Advantage Workstation software R004, 上海)进行三维重建和图像评估。本研究经四川大学华西医院伦理委员会审查通过(2020年审135号)。

1.2 扫描方案

使用临床常规扫描方案行常规剂量颞骨CT扫描, 管电压140 kV, 管电流150 mAs, 准直宽度20 mm, 螺距0.775, 层厚0.5 mm, 层间距0.3 mm, 视野(field of view, FOV)230 mm, 分别采用512×512矩阵和1 024×1 024矩阵重建两组图像。常规剂量颞骨CT扫描后行低剂量颞骨CT扫描(标本位置和扫描范围不变), 扫描参数除管电流为75 mAs外其余均与常规剂量组一致, 只采用1 024×1 024矩阵重建一组图像。所有图像均采用滤波反投影重建算法重建, 卷积核均为“H-SHARP-C”。记录每次扫描的剂量-长度乘积(dose-length product, DLP)和容积CT剂量指数(volume CT dose index, CTDI_{VOL}), DLP乘以组织权重因子(取 $k=0.0031$)计算有效剂量(effective dose, ED)。

1.3 图像评价

1.3.1 客观评价 分别于左侧外耳道空气内、脑干内和颞骨鳞部的相对均匀区域各放置一个圆形感兴趣区(region of interest, ROI), 通过复制ROI保证同一标本的常规剂量512×512矩阵、常规剂量1 024×1 024矩阵和低剂量1 024×1 024矩阵三组图像的ROI位置和大小一致。将ROI内CT值标准差作为噪声, 信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)为CT值均值与标准差之比, 对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)=(骨CT值-脑干CT值)/骨噪声。

1.3.2 主观评价 采用盲法, 由两名经验丰富的影像医师以5分法评分。1分, 解剖结构无法识别; 2分, 解剖结构

可识别, 但没有细节可评估; 3分, 满足诊断要求; 4分, 解剖结构细节显示良好, 图像质量较好; 5分, 解剖结构细节清晰, 图像质量优秀。

对每例标本的颞骨的15个解剖结构进行评估: 耳蜗、骨螺旋板(底旋)、蜗轴、迷路、前庭导水管、耳蜗神经管、内耳道、面神经管耳蜗段、面神经管鼓室段、面神经管乳突段、锤骨、砧骨、镫骨、圆窗、卵圆窗。两名医师可自己调整窗宽、窗位和角度, 意见不一致时经过讨论得出一致性评分。

1.4 听骨链的三维重建比较

分别对常规剂量512×512矩阵、常规剂量1 024×1 024矩阵和低剂量1 024×1 024矩阵三组图像进行三维重建, 采用骨生长重建锤骨、砧骨和镫骨, 采用软组织生长重建耳蜗和迷路, 比较三组图像对于听骨链的显示情况。

1.5 统计学方法

选择两独立样本 t 检验比较DLP、CTDI_{VOL}和ED。使用单因素方差分析比较常规剂量512×512矩阵、常规剂量1 024×1 024矩阵和低剂量1 024×1 024矩阵三组图像的CT值、噪声、SNR和CNR。采用Kruskal-Wallis检验比较三组图像的解剖结构评分。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 辐射剂量

常规剂量组和低剂量组辐射剂量参数比较见表1。低剂量组3个辐射剂量参数较常规剂量组降低约50% ($P<0.001$)。

表1 两组辐射剂量比较 ($n=12$)
Table 1 Radiation dose in two groups ($n=12$)

Group	CTDI _{VOL} /mGy	DLP/(mGy·cm)	ED/mSv
Normal dose	37.71±0.01	973.27±24.39	3.01±0.08
Low dose	18.87±0.01	487.11±12.21	1.51±0.04
t	4691.65	43.648	43.648
P	<0.001	<0.001	<0.001

CTDI_{VOL}: Volume CT dose index; DLP: Dose-length product; ED: Effective dose.

2.2 图像质量评价

常规剂量512×512矩阵、1 024×1 024矩阵和低剂量1 024×1 024矩阵三组图像空气、软组织和骨的CT值差异无统计学意义; 常规剂量512×512矩阵图像噪声低于其余两组, SNR和CNR高于其余两组; 常规剂量1 024×1 024矩阵和低剂量1 024×1 024矩阵图像空气和骨的SNR和CNR差异无统计学意义, 但常规剂量1 024×1 024矩阵图像的噪声均更低且脑干内的SNR更高(表2)。常规剂量

表 2 三种重建方式的CT值、噪声、SNR和CNR (n=12)
Table 2 CT value, image noise, SNR and CNR obtained for three reconstruction types (n=12)

Index	ND-512 group	ND-1024 group	LD-1024 group
CT value/HU			
Air	-956.4±6.8	-952.6±16.3	-944.9±17.7
Brainstem	42.2±3.7	45.3±6.1	45.4±4.7
Temporal bone	1631.1±135.5	1625.1±125.5	1605.2±141.5
Noise/HU			
Air	14.1±6.1 ^{△△, #}	57.5±8.8	72.6±13.9 [△]
Brainstem	10.8±1.2 ^{△△, #}	68.8±6.9	96.6±12.1 ^{△△}
Temporal bone	37.9±14.4 ^{△△, #}	102.2±10.3	129.9±18.4 ^{△△}
SNR			
Air	80.4±28.5 ^{△△, #}	16.9±2.8	13.5±2.7
Brainstem	3.9±0.3 ^{△△, #}	0.7±0.1	0.5±0.1 [△]
Temporal bone	48.6±17.2 ^{△△, #}	16.1±2.1	12.6±2.0
CNR			
	47.3±16.7 ^{△△, #}	15.6±2.1	12.2±1.9

SNR: Signal-to-noise ratio; CNR: Contrast-to-noise ratio; ND-512: Normal-dose CT with matrix size of 512×512; ND-1024: Normal-dose CT with matrix size of 1 024×1 024; LD-1024: Low-dose CT with matrix size of 1 024×1 024. △P<0.05, △△P<0.001, vs. ND-1024 group; #P<0.001, vs. LD-1024 group.

1 024×1 024矩阵和低剂量1 024×1 024矩阵两组图像对于解剖结构可视化的主观评分差异无统计学意义,且均高于常规剂量512×512矩阵图像(表3)。

2.3 听骨链三维重建

常规剂量512×512矩阵三维重建的听骨链、耳蜗和迷路均无法良好显示。常规剂量1 024×1 024矩阵和低剂量1 024×1 024矩阵的三维重建较理想且无明显差距,均可

清晰展示锤骨、砧骨、镫骨、耳蜗和迷路的形态、大小、相对位置关系以及听骨链在颅中的定位(图1)。

3 讨论

多层螺旋CT是目前临床显示颞骨解剖最为广泛应用的成像方式,降低颞骨CT的辐射剂量能有效减少对眼晶状体等射线敏感组织的损伤。由于颞骨CT扫描范围

表 3 解剖结构主观评分比较 (n=12)
Table 3 Comparison of subjective scores of anatomical structures (n=12)

Subjective score	ND-512 group	ND-1024 group	LD-1024 group
Cochlea	3.1±0.9 ^{△△, #}	4.1±0.7	4.0±0.6
Spiral osseous lamina	2.9±1.0 ^{△△, #}	3.9±0.7	3.8±0.6
Modiolus	2.7±0.9 ^{△, #}	3.6±0.7	3.5±0.5
Labyrinth	2.8±0.8 ^{△△, ##}	4.0±0.6	3.9±0.6
Vestibular aqueduct	2.5±0.9 ^{△, #}	3.5±0.6	3.4±0.5
Cochlear nerve canal	2.3±0.9 ^{△△, ##}	3.7±0.6	3.6±0.4
Internal auditory canal	3.6±0.5 ^{△△, ##}	4.7±0.5	4.8±0.4
Facial nerve canal, cochlear segment	3.0±0.9 ^{△, ##}	3.9±0.8	4.0±0.8
Facial nerve canal, tympanic segment	3.0±0.8 ^{△, #}	4.0±0.7	3.9±0.8
Facial nerve canal, mastoid segment	3.1±0.7 ^{△, #}	3.8±0.7	3.7±0.8
Malleus	3.1±0.6 ^{△△, ##}	4.0±0.7	4.1±0.6
Incus	2.8±0.8 ^{△△, #}	4.0±0.8	3.8±0.9
Stapes	1.9±0.7 ^{△△, ##}	3.1±0.7	2.9±0.5
Round window	3.1±0.6 ^{△△, #}	4.0±0.7	3.9±0.7
Oval window	3.2±0.8 [△]	3.9±0.8	3.8±0.8

ND-512: Normal-dose CT with matrix size of 512×512; ND-1024: Normal-dose CT with matrix size of 1 024×1 024; LD-1024: Low-dose CT with matrix size of 1 024×1 024. △P<0.05, △△P<0.001, vs. ND-1024 group; #P<0.05, ##P<0.001, vs. LD-1024 group.

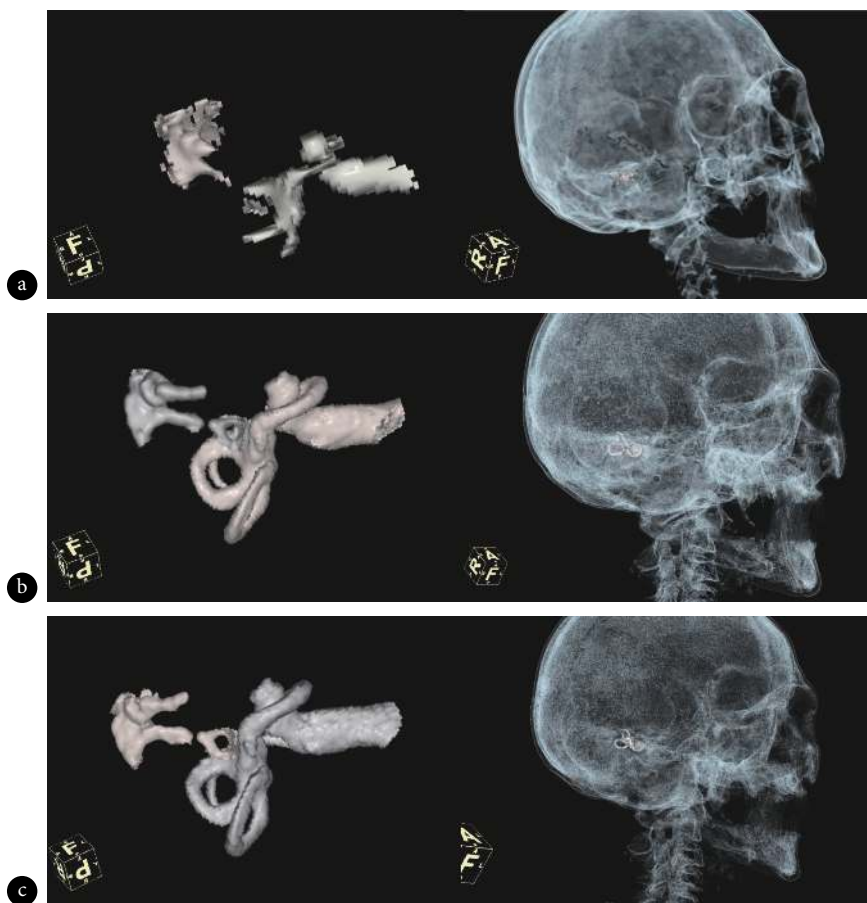


图 1 听骨链的三维重建及其在颅中的定位

Fig 1 Three-dimensional reconstruction of ossicular chain and its localization in the skull

a: Normal-dose CT images with matrix size of 512×512 ; b: Normal-dose CT images with matrix size of 1024×1024 ; c: Low-dose CT images with matrix size of 1024×1024 .

A: Anterior; P: Posterior; F: Feet; R: Right.

内同时含有空气、软组织和骨等三种密度差异较大的物质,图像对于密度分辨率要求不高,减小mAs是降低辐射剂量的主要方式^[13]。而复杂且精密的解剖结构使得颞骨CT的图像质量十分依赖空间分辨率。本研究采用降低辐射剂量与 1024×1024 大矩阵重建相结合的方式,与常规剂量 512×512 、 1024×1024 矩阵重建图像相比较。客观评价表明,使用不同的矩阵重建图像并没有改变组织的CT值;相同辐射剂量的情况下, 1024×1024 矩阵图像较 512×512 矩阵图像噪声更大,SNR和CNR更低;都使用 1024×1024 矩阵重建图像时,辐射剂量降低一半图像噪声约增加26.3%~40.4%,但由于颞骨CT值较高,SNR和CNR差异无统计学意义。15个颞骨解剖结构的主观评分表明常规剂量 1024×1024 矩阵和低剂量 1024×1024 矩阵图像对于解剖结构的显示差异无统计学意义且均优于传统 512×512 矩阵重建的图像,特别是对于镫骨等细小结构的显示差异较大。

众所周知,CT重建矩阵的大小影响图像的空间分辨率,而更高的空间分辨率会使图像噪声更大^[14]。对于不

同扫描部位及关注点,应该在空间分辨率和噪声之间做相应的取舍^[15-16]。本研究表明,颞骨CT 512×512 矩阵重建的图像虽然噪声很低,但空间分辨率有限,图像更平滑,与 1024×1024 矩阵重建的图像相比骨质结构的细节显示差异巨大, 1024×1024 矩阵图像稍多的噪声并没有造成图像质量显著下降。这之前已发表的研究结果相印证^[9],颞骨CT采用 1024×1024 矩阵重建图像可显著提升解剖结构可视化。本研究进一步降低了颞骨CT的辐射剂量至常规剂量的50%,结果显示低剂量颞骨CT采用 1024×1024 矩阵重建的图像与常规剂量 512×512 矩阵重建的图像相比虽然噪声更大,但图像更锐利,空间分辨率更高,颞骨解剖结构细节显示更优。同时,低剂量 1024×1024 矩阵图像的听骨链三维重建结果也明显优于常规剂量 512×512 矩阵图像,可清晰展示锤骨、砧骨、镫骨、耳蜗和迷路的形态、大小、相对位置关系以及听骨链在颅中的定位。

本研究存在的主要缺陷是并未对颞骨病变的显示进行比较,进一步的研究可针对某一疾病进行探讨。其次,

出于对颞骨CT辐射剂量较高且本研究需要进行常规剂量和低剂量两组扫描的考虑,仅纳入标本而并未对患者进行研究。另外,临床实际工作中除大FOV重建外,常再采用小FOV对听骨链单独重建以观察细微结构。本研究主要目的是探讨重建矩阵对图像质量的影响,并未探讨小FOV对于图像质量的影响。

综上所述,1 024×1 024矩阵颞骨低剂量CT可有效降低辐射剂量,且与常规剂量512×512矩阵颞骨CT图像相比,可显著提升图像空间分辨率和颞骨解剖结构可视化。

* * *

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] PIRIMOGLU B, SADE R, SAKAT M S, *et al.* Low-dose non-contrast examination of the temporal bone using volumetric 320-row computed tomography. *Acta Radiol*, 2019, 60(7): 908–916.
- [2] PIERGALLINI L, SCOLA E, TUSCANO B, *et al.* Flat-panel CT versus 128-slice CT in temporal bone imaging: Assessment of image quality and radiation dose. *Eur J Radiol*, 2018, 106: 106–113.
- [3] KIM C R, JEON J Y. Radiation dose and image conspicuity comparison between conventional 120 kVp and 150 kVp with spectral beam shaping for temporal bone CT. *Eur J Radiol*, 2018, 102: 68–73.
- [4] OHARA A, MACHIDA H, SHIGA H, *et al.* Improved image quality of temporal bone CT with an ultrahigh-resolution CT scanner: Clinical pilot studies. *Jpn J Radiol*, 2020, 38(9): 878–883.
- [5] 江桂莲, 尹红霞, 胡志海, 等. 双源CT不同扫描条件下颞骨图像质量与剂量的定量研究. *中国医学装备*, 2020, 17(4): 12–16.
- [6] RAJENDRAN K, VOSS B A, ZHOU W, *et al.* Dose reduction for sinus and temporal bone imaging using photon-counting detector CT with an additional tin filter. *Invest Radiol*, 2020, 55(2): 91–100.
- [7] POON R, BADAWY M K. Radiation dose and risk to the lens of the eye during CT examinations of the brain. *J Med Imaging Radiat Oncol*, 2019, 63(6): 786–794.
- [8] HADERLEIN M, SPEER S, OTT O, *et al.* Dose reduction to the swallowing apparatus and the salivary glands by de-intensification of postoperative radiotherapy in patients with head and neck cancer: First (treatment planning) results of the prospective multicenter DIREKHT trial. *Cancers*, 2020, 12(3): 538[2020-10-09]. <https://doi.org/10.3390/cancers12030538>.
- [9] EULER A, MARTINI K, BAESSLER B, *et al.* 1024-pixel image matrix for chest CT—Impact on image quality of bronchial structures in phantoms and patients. *PLoS One*, 2020, 15(6): e0234644[2020-10-09]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234644>.
- [10] MATSUKIYO R, OHNO Y, MATSUYAMA T, *et al.* Deep learning-based and hybrid-type iterative reconstructions for CT: Comparison of capability for quantitative and qualitative image quality improvements and small vessel evaluation at dynamic CE-abdominal CT with ultra-high and standard resolutions. *Jpn J Radiol*, 2021, 39(2): 186–197.
- [11] BARTLETT D J, KOO C W, BARTHOLMAI B J, *et al.* High-resolution chest computed tomography imaging of the lungs: Impact of 1024 matrix reconstruction and photon-counting detector computed tomography. *Invest Radiol*, 2019, 54(3): 129–137.
- [12] 郑慧, 李玉华, 李惠民, 等. 低剂量CT扫描结合迭代算法重建颞骨成像. *放射学实践*, 2014, 29(6): 644–646.
- [13] 关丽明, 李祥胜, 李松柏, 等. 颞骨64排CT低剂量扫描及不同重建函数对图像质量的影响. *中国医科大学学报*, 2011, 40(2): 149–152.
- [14] CHEN G H, ZAMBELLI J, LI K, *et al.* Scaling law for noise variance and spatial resolution in differential phase contrast computed tomography. *Med Phys*, 2011, 38(2): 584–588.
- [15] OGURA A, HAYAKAWA K, MIYATI T, *et al.* Improvement on detectability of early ischemic changes for acute stroke using nonenhanced computed tomography: Effect of matrix size. *Eur J Radiol*, 2010, 76(2): 162–166.
- [16] HATA A, YANAGAWA M, HONDA O, *et al.* Effect of matrix size on the image quality of ultra-high-resolution CT of the lung: Comparison of 512 × 512, 1 024 × 1 024, and 2 048 × 2 048. *Acad Radiol*, 2018, 25(7): 869–876.

(2020-11-25收稿, 2021-05-20修回)

编辑 吕熙