

双源超高分辨率 CT 中小视野重建对改善耳蜗内电极显示的价值

胡文, 郝跃文

【摘要】 目的:探讨双源超高分辨率 CT 中小 FOV 重建对提高耳蜗内电极显示的意义。**方法:**搜集本院行人工耳蜗植入术患儿 30 人(36 耳),均于术后 1 周内行双源超高分辨率 CT 扫描。图像仅调整 FOV 大小进行重建,分别得到 A 组(FOV=140 mm×140 mm)、B 组(FOV=90 mm×90 mm)和 C 组(FOV=50 mm×50 mm),其余重建参数不变。利用耳蜗坐标系进行统一的后处理重建。由两位医生盲法决定每组图像曲面重建(CPR)上电极的可见性评分,感兴趣区置于耳蜗底转平面最内侧骨蜗管,测量其标准差(SD)评估噪声,比较 3 组的电极评分和 SD。**结果:**A 组、B 组和 C 组图像的像素大小分别为 0.14 mm×0.14 mm、0.09 mm×0.09 mm、0.05 mm×0.05 mm,而 SD 分别为(179.1±17.6) HU, (261.5±20.8) HU, (337.1±21.7) HU。图像的空间分辨率依次增加,噪声也显著增加($P<0.05$)。两名医师的电极评分一致性良好($\kappa=0.82$)。B 组和 C 组中电极评分 2 分的比例相似(分别为 61.1% 和 66.7%),而 A 组中电极评分多为 0 分(63.9%)。Kruskal-Wallis 检验结果表明 3 组电极评分有差异($H=62.408, P<0.001$)。两两比较 A 组与 B 组、A 组与 C 组之间电极评分均存在显著差别(调整后 $P<0.001$),而 B 组与 C 组之间电极评分无差别(调整后 $P=1$)。**结论:**小 FOV 重建会增加图像噪声,但得益于耳颞部良好的密度对比度,可以利用它来提高电极的显示。

【关键词】 体层摄影术; X 线计算机; 图像质量; 耳蜗植入术; 视野

【中图分类号】 R814.4; R814; R764.93; R339.145 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2023)06-0769-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.06.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The value of small FOV reconstruction on dual-source ultrahigh resolution CT for improving cochlear electrode display HU Wen, HAO Yue-wen. Imaging Department of Xi'an Children's Hospital, Xi'an 710003, China

【Abstract】 Objective: To investigate the significance of small FOV reconstruction on dual source ultrahigh resolution CT for improving cochlear electrode display. **Methods:** Thirty children (36 ears) who underwent cochlear implantation in our hospital were enrolled and received dual-source ultrahigh resolution CT scans within one week after surgery. Group A (Fov=140mm×140mm), group B (Fov=90mm×90mm) and group C (Fov=50mm×50mm) were obtained by adjusting the size of FOV, and other reconstruction parameters remained unchanged. A uniform postprocessing reconstruction was performed using the cochlear coordinate system. The visibility scores of the electrodes on the image surface reconstruction (CPR) were determined by two physicians blinded to each group, the area of interest was placed in the medialmost ossicular canal in the cochlear floor turning plane, and the noise was assessed by measuring its standard deviation (SD), comparing the electrode scores and SD of the three groups. **Result:** The pixel sizes of group A, group B and group C were 0.14mm×0.14mm, 0.09mm×0.09mm, and 0.05mm×0.05mm, respectively, and the SDs were (179.1±17.6) HU, (261.5±20.8) HU and (337.1±21.7) HU, respectively. The spatial resolution of the image increased successively, and the noise also increased significantly ($P<0.05$). There was good agreement between the electrode scores of the two physicians ($\kappa=0.82$). The proportion of electrode score 2 in groups B and C was similar (61.1% and 66.7%, respectively), while the electrode score in group A was mostly 0

作者单位: 710003 西安, 西安市儿童医院影像科

作者简介: 胡文(1986-), 男, 安徽旌德县人, 硕士研究生, 主治医师, 主要从事 CT、MR 诊断工作。

通讯作者: 郝跃文, E-mail: 1982_edifier@163.com

基金项目: 西安市面上培育项目“基于多模态影像组学的神经母细胞瘤预后预测模型的研究(2021ms15)”

(63.9%). The Kruskal-Wallis test results showed a difference in electrode scores between the three groups ($H=62.408, P<0.001$). In the two-by-two comparison, there were significant differences in electrode scores between group A and group B and between group A and group C (all adjusted $P<0.001$), whereas there were no differences in electrode scores between group B and group C (adjusted $P=1$). **Conclusion:** Small FOV reconstruction would increase image noise, but it could be used to improve the electrode display due to the good density contrast of the auriculotemporal region.

【Key words】 Tomography; X-ray computed; Image quality; Cochlear implantation; Visual fields

人工耳蜗植入术 (cochlear implantation, CI) 是目前重度-极重度感音神经性耳聋最有效的治疗手段^[1]。CI 术后 1 周内最常出现电极扭曲、滑脱, 植入位置异常等问题, 但不会引起电极性能及临床可见的症状, 术后患儿都要通过高分辨率 CT (high resolution CT, HRCT) 进行排查^[2-3]。为显示微小的电极, 对 CT 图像的空间分辨率要求非常高。CT 图像空间分辨率与像素大小密切相关, 像素越小空间分辨率越高, 但目前鲜有研究评估小视野 (field of view, FOV) 对颞骨 CT 图像质量的影响。本研究通过比较 3 组不同 FOV 的 CT 图像中电极显示和图像噪声, 探讨小 FOV 对图像质量的影响。

材料与方法

1. 研究对象

搜集 2018 年 6 月—2021 年 6 月因重度感音神经性耳聋于本院行 CI 的患儿 30 人 (36 耳), 男 14 人 (17 耳), 女 16 人 (19 耳); 年龄 2~6 岁, 中位年龄 4.5 岁。共 36 耳植入人工耳蜗, 右侧 20 耳, 左侧 16 耳; 诺尔康 (CS10A) 14 耳, 奥地利 SONATA (Standard) 6 耳, 奥地利 (Concerto Mi1000) 9 耳, 澳大利亚 (Ci5001) 7 耳。所有患儿均于 CI 术后 1 周内行颞骨 HRCT 扫描。

2. 双源超高分辨率 CT 扫描与小 FOV 重建

采用 Somatom Drive 双源 CT 机 (德国西门子公司), 使用内耳超高分辨率 CT (Ultra High Resolution, UHR) 扫描模式, 参数: 使用自动管电流调制 (CARE Dose4D), 120 kV 管电压, 200 mA 的管电流, 螺距 0.85, 视野 200 mm×200 mm, 矩阵 512×512, 1.0 s 的机架旋转时间、有效准直为 16 mm×0.3 mm, 层厚 0.4 mm, 重建间隔 0.1 mm, 算法 V80u, 窗宽 4095 HU, 窗位 600 HU。所有受检者取仰卧位, 下颌稍内收, 以听眉线为基线, 扫描范围自岩骨上缘至外耳孔下缘, 对于配合不佳的儿童, 待其镇定或睡眠后再进行检查。

小 FOV 重建: 以人工耳蜗为中心, 调整重建视野 FOV 140 mm, 90 mm, 50 mm 进行重建分别得到 A 组、B 组和 C 组, 其余重建参数不变。

3. CT 图像后处理

后处理工作站根据耳蜗坐标系统 (cochlear coordinate system)^[4] 调整重建基线进行多平面重建 (multi-planar reformation, MPR), 斜冠状面显示耳蜗底转全程即耳蜗位, 在耳蜗位上以圆窗中心为起点, 沿电极走行进行曲面重建 (curve planar reconstruction, CPR), 重建层厚为 1 mm (图 1)。

4. 图像评价

主观评价: 由高年资放射科医师 1 名和耳鼻喉科医师 1 名分别审阅各耳电极的 CPR 图像, 在盲法下进行电极的可见性评分: 电极轮廓模糊难以辨识电极数目, 临床不满意的为 0 分; 电极轮廓较清但无法辨识电极数目, 临床勉强接受的为 1 分; 电极轮廓清晰而且可准确辨识电极数目, 临床表示满意的为 2 分。

客观评价: 于耳蜗位耳蜗底转平面最内侧骨蜗管放置一个圆形感兴趣区 (region of interest, ROI), $ROI=12\sim13\text{ mm}^2$, 3 组图像的 ROI 位置和大小一致。将 ROI 内 CT 值标准差 (SD) 作为噪声 (图 2)。

5. 统计学方法

使用 SPSS 21 分析软件, 对 3 组图像的噪声采用 t 检验进行评估, 电极可见性评分采用 Kruskal Wallis 秩和检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 三组图像质量的比较

A 组、B 组和 C 组图像的像素依次减小, 分别为 0.14 mm×0.14 mm, 0.09 mm×0.09 mm, 0.05 mm×0.05 mm。而噪声依次增大, SD 值分别为 (179.1 ± 17.6) HU, (261.5 ± 20.8) HU, (337.1 ± 21.7) HU, 同时 A 组的 SD 值明显小于 B 组 ($t=3.02, P=0.003$), B 组明显小于 C 组 ($t=2.51, P=0.014$)。

2. 电极可见性评分的组间比较

两名医师之间电极评分一致性良好 ($\kappa=0.82, P<0.001$)。B 组和 C 组中电极评分为 2 分的比例相似, 分别为 61.1% 和 66.7%, 而 A 组中电极评分多为 0 分 (63.9%, 表 1)。Kruskal-Wallis 检验结果: $H=62.408, P<0.001$, 按照 $\alpha=0.05$ 的检验标准, 拒绝 H_0 , 可认为 A、B、C 组电极评分的水平有差别。经过两两比较, A 组与 B 组之间、A 组与 C 组之间电极评

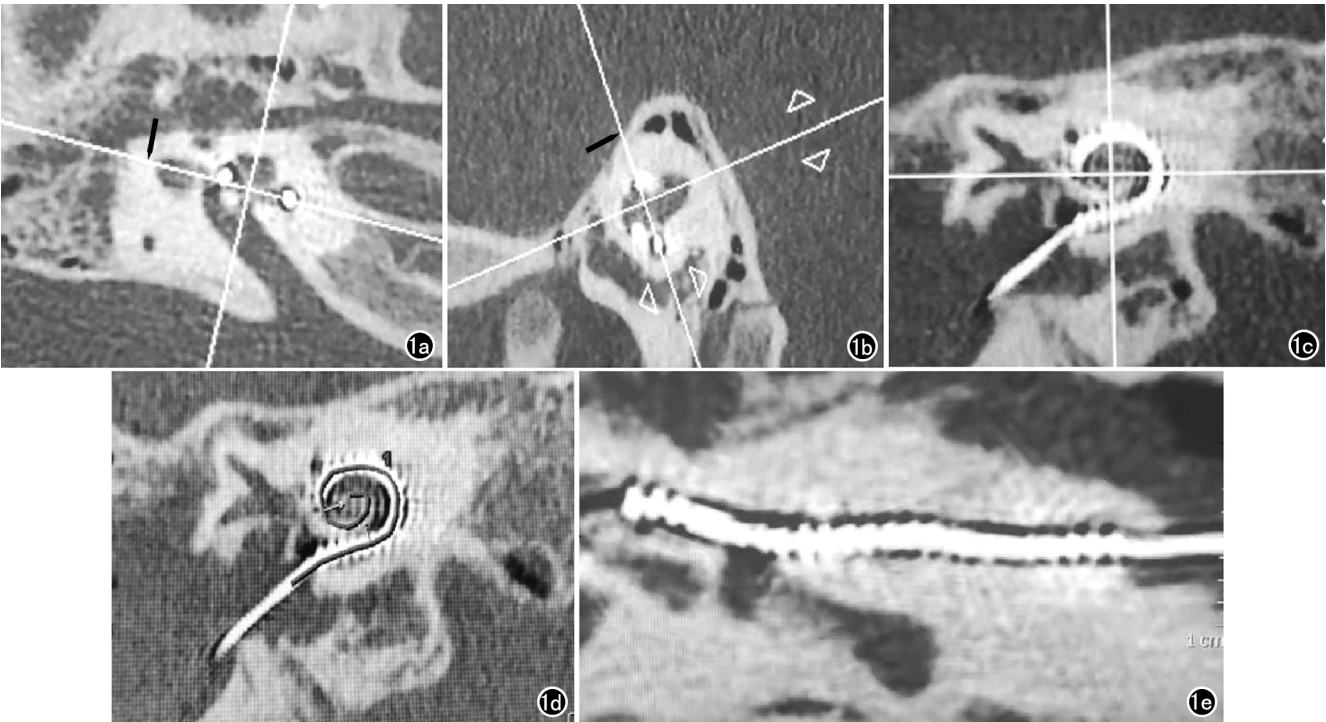


图 1 耳蜗电极 CPR 的重建方法。a)轴面圆窗层面上调整重建基线(箭)过圆窗中心且平行于耳蜗底转长轴中部;b)斜矢状面蜗轴层面上调整同一重建基线(箭),使其平行于耳蜗底转;c)耳蜗底转全程即标准的耳蜗位图像;d)在耳蜗位上沿着电极从圆窗外向蜗顶手动曲面重建;e)电极 CPR 图像。

表 1 三组电极的图像评分 /个(%)

组别	2 分	1 分	0 分
A	0(0%)	13(36.1%)	23(63.9%)
B	22(61.1%)	14(38.9%)	0(0%)
C	24(66.7%)	12(33.3%)	0(0%)

分均存在显著差别(调整后 $P<0.001$),而 B 组与 C 组之间电极评分无差别(调整后 $P=1$)。同时, C 组的秩均值(71.33)最高,其次为 B 组(68.97), A 组最低(23.19)。

3. 耳蜗电极的显示情况

CPR 上耳蜗内的电极表现为线样串珠状、等距排列(图 3)。B 组和 C 组均能满足临床需要,显示均优于 A 组。

C 组能很好显示不同类型人工耳蜗电极的细节,例如诺尔康晨星 CS10A 型耳蜗电极有 24 个,硬化伪影明显;SONATA(Standard)型耳蜗电极 12 个,硬化伪影轻微(图 4)。

讨 论

CT 是排查中耳和内耳结构异常最重要的影像学方法之一。为了更好地显示耳蜗等精细复杂的解剖结构,包括 CI 术后耳蜗内微小的电极,耳颞部 CT 图像必须具有非常高的空间分辨率。高空间分辨率对应着较高的辐射剂量,如本研究中耳颞部 HRCT 的 CTDI 大约为 36 mGy,同台机型上常规颅脑 CT 平扫 CTDI 约为 15 mGy,而降低电离辐射剂量一直是诊断性 CT 技术发展的主要方向之一。本研究的初衷是通过合理调整重建参数,优化图像质量,为实现耳颞部低剂量扫描提供参考。



图 2 耳蜗位底转平面蜗管最内侧骨蜗管的 ROI 部位,ROI=13 mm²。

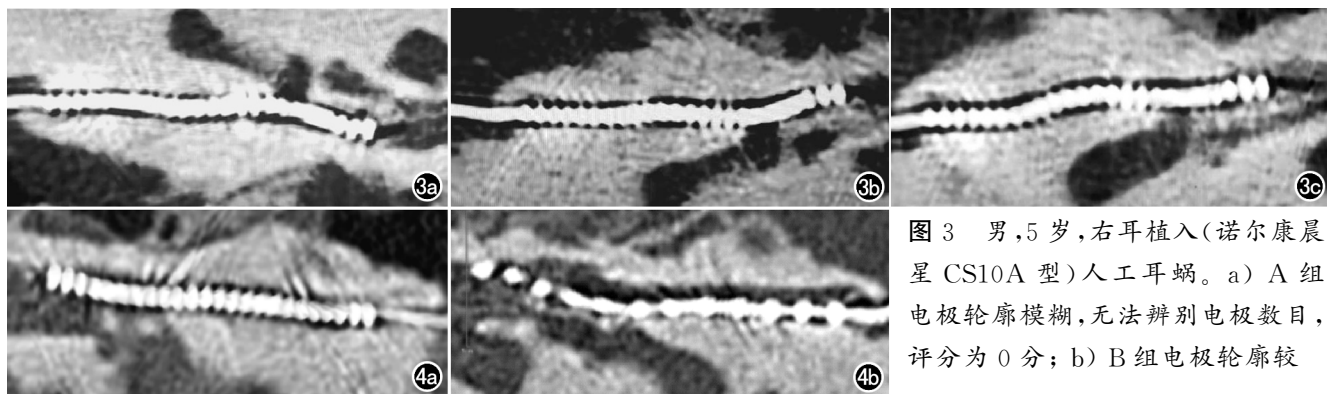


图 3 男, 5 岁, 右耳植入(诺尔康晨星 CS10A 型)人工耳蜗。a) A 组电极轮廓模糊, 无法辨别电极数目, 评分为 0 分; b) B 组电极轮廓较

清, 无法辨识电极数目, 评分为 1 分; c) C 组电极轮廓较清, 无法辨识电极数目, 评分为 1 分。图 4 不同人工耳蜗电极的 CPR 图(C 组)。a) 诺尔康晨星(CS10A 型), 电极间距 0.8mm, CPR 示有 24 个电极, 电极评分 2 分; b) SONATA(Standard 型), 电极间距 2.4mm, CPR 示 12 个电极, 电极评分 2 分。

目前关于 CI 术后 HRCT 显示电极的研究较多。对于其显示电极的效果上结论褒贬不一, 主要焦点问题在于 HRCT 图像的空间分辨率有限和电极的硬化伪影干扰。如袁丽琼等^[5]报道了 HRCT 结合三维重建能帮助准确评估人工耳蜗植入术后情况, 耳蜗大小及线性植入深度对术后电极角度植入深度有一定的预估作用。Burck 等^[6]认为 CBCT 能消除硬化伪影, 可比 HRCT 更清晰显示人工耳蜗植入后的电极位置信息和耳蜗细微结构。特别是对于电极间距小且硬化伪影明显的人工耳蜗, CBCT 可以获得更理想的结果^[7], 但该设备主要应用于口腔领域, 普及率不高, 而且容易出现运动伪影。李嘉慧等^[8]使用 320 排 CT 单能量去金属伪影算法可明显减轻人工耳蜗电极金属伪影, 提高图像质量, 改善电极的显示。本研究采用了第二代双源 CT 中空间分辨率最高的扫描协议, 首次评估了小 FOV 重建对 CI 术后耳颞部 CT 图像质量的影响, 同时利用耳蜗坐标系进行统一的后处理重建, 可避免耳蜗内电极盘曲的形态对主观评价的影响。

本研究中调整 FOV 回顾性重建 CI 术后患儿的 CT 图像, 其他重建参数均不变, 即 3 组图像的辐射剂量相同。小 FOV 重建后 3 组图像的空间分辨率逐渐增大, 图像的噪声依次增高, A 组图像噪声小于 B 组 ($P=0.003$), B 组小于 C 组 ($P=0.014$), 这是因为噪声与辐射剂量、空间分辨率有关。辐射剂量相同的情况下空间分辨率越高, 单个像素由于测量光子数量减少而增加了图像噪声^[9], 导致图像质量有所下降。但电极的可见性评分中 B 组与 C 组的评分多为 2 分 (61.1% 和 66.7%), A 组则多为 0 分 (63.9%)。Kruskal-Wallis 检验表明 3 组电极评分之间有差异 ($H=62.408, P<0.001$), C 组的秩均值 (71.33) 最高, 其次为 B 组 (68.97), A 组最低 (23.19)。可见小 FOV 重建可改善电极细节的显示。这可能是因为耳蜗内电

极与周围淋巴液、骨迷路间存在良好的密度差别, 弥补了噪声带来的影响, 这也是 HRCT 小 FOV 重建不适用于纵隔、腹部和头部的主要原因^[10]。B 组与 C 组间的电极可见性评分无显著差异 (调整后 $P=1$), 可能是由于 FOV 缩小到某种程度时图像的空间分辨率近似或达到该 CT 扫描仪的极限。因为 CT 最大空间分辨率主要是由 CT 机本身的硬件和软件决定的, 包括 CT 设备的孔径的大小, X 线球管的焦点大小、探测器单元的孔径和间距等^[11]。Meyer 等^[12]也证实了第三代 DSCT 的最大空间分辨率, 要优于第一、二代双源 CT, 可更好的显示内中耳的解剖结构。这也提示我们应随着 CT 硬件软件的升级, 积极探索最优化的 CT 扫描或重建方案, 对于不同扫描部位及检查目的, 权衡密度对比度、空间分辨率和图像质量之间的关系, 以便更好的服务临床。如本研究中诺尔康晨星 (CS10A 型) 电极排列紧密, 硬化伪影最明显, 可经过小 FOV 重建提高电极的显示 (图 3), 而 SONATA (Standard 型) 电极间距较大 (2.4 m), 硬化伪影轻微, 可尝试降低扫描条件, 利用小 FOV 重建以保证良好的显示效果。

综上所述, 小 FOV 重建会导致图像噪声增加, 但得益于耳颞部良好的密度对比, 可利用它来提高人工耳蜗电极的显示。

参考文献:

- [1] 袁永一, 戴朴. 微创人工耳蜗植入手术策略[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(2): 87-91. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20201001-02764.
- [2] 黄健健, 夏巍, 唐翔龙, 等. 锥形束 CT 在人工耳蜗植入中的研究进展[J]. 临床耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2021, 35(6): 567-572. DOI: 10.13201/j.issn.2096-7993.2021.06.019.
- [3] 祁文, 赵鹏飞, 吕晗, 等. 基于 HRCT 评估感音聋患儿永存岩鳞炎[J]. 放射学实践, 2019, 34(12): 1304-1307. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.12.005.
- [4] Verbist BM, Skinner MW, Cohen LT, et al. Consensus panel on a

- cochlear coordinate system applicable in histologic, physiologic, and radiologic studies of the human cochlea[J]. Otol Neurotol, 2010, 31(5): 722-730. DOI: 10.1097/MAO.0b013e3181d279e0. PMID: 20147866; PMCID: PMC2945386.
- [5] 袁丽琼, 牟肖霖, 肖亮. MSCT 评估人工耳蜗植入术后电极形态及位置的初步研究[J]. 放射学实践, 2020, 35(4): 467-472. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.04.014.
- [6] Burck I, Schneider SV, Balster S, et al. Radiohistologic comparison study of temporal bone specimens after cochlear implant electrode array insertion: is cone-beam CT superior to MDCT? [J]. Am J Roentgenol, 2021, 216(3): 752-758. DOI: 10.2214/AJR.20.23157. Epub 2021 Jan 13. PMID: 33439050.
- [7] 范新泰, 王娜, 侯凌霄, 等. 锥形束 CT 对人工耳蜗植入术后电极位置的评估[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2019, 54(8): 566-570. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-0860.2019.08.002.
- [8] 李嘉慧, 魏凡钦, 周春香, 等. 单能量去金属伪影算法重建联合重建技术在人工耳蜗 CT 成像质量中的评估[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科, 2020, 27(6): 333-337. DOI: 10.16066/j.1672-7002.2020.06.010.
- [9] Ji X, Zhang R, Li K, et al. Impact of the sensitivity factor on the signal-to-noise ratio in grating-based phase contrast imaging[J]. Proc SPIE Int Soc Opt Eng, 2019, 10948: 109481Q. DOI: 10.1117/12.2512251. Epub 2019 Mar 1. PMID: 31068738; PMCID: PMC6502255.
- [10] Salimova N, Hinrichs JB, Gutberlet M, et al. The impact of the field of view (FOV) on image quality in MDCT angiography of the lower extremities[J]. Eur Radiol, 2022, 32(5): 2875-2882. DOI: 10.1007/s00330-021-08391-x. Epub 2021 Dec 13. PMID: 34902060; PMCID: PMC9038851.
- [11] 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 , 1024×1024 , and 2048×2048 [J]. Acad Radiol, 2018, 25(7): 869-876. DOI: 10.1016/j.acra.2017.11.017. Epub 2018 Jan 17. PMID: 29373211.
- [12] Meyer M, Haubenreisser H, Raupach R, et al. Initial results of a new generation dual source CT system using only an in-plane comb filter for ultra-high resolution temporal bone imaging[J]. Eur Radiol, 2015, 25(1): 178-185. DOI: 10.1007/s00330-014-3406-4. Epub 2014 Sep 8. PMID: 25194708.
- (收稿日期: 2022-03-09 修回日期: 2022-06-27)

欢迎订阅 2023 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管, 华中科技大学同济医学院主办, 与德国合办的全国性影像学学术期刊, 创刊至今已 38 周年。遵照同行评议、价值导向、等效应用原则, 国内各大学、协会、组织机构通过科技工作者推荐、专家评议、结果公示等规定程序, 《放射学实践》杂志入选中国科协发布 10 大领域《我国高质量科技期刊分级目录》业内认可的较高水平期刊。《放射学实践》杂志再次入选 2020 年版北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。

本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向, 关注国内外影像医学的新进展、新动态, 全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果, 受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为中国科学引文数据库(CSCD)核心库来源期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、中国科技核心期刊、中国高质量科技期刊分级目录临床医学领域医学影像学期刊, 并在中国学术期刊分区中位列 Q1 区。

主要栏目: 论著、继续教育园地、专家荐稿、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、传染病影像学、影像技术学、外刊摘要、学术动态、请您诊断、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊, 每册 25 元, 全年定价 300 元。

国内统一刊号: ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R 邮政代号: 38-122

电话: (027) 69378385

E-mail: fsxsjzz@163.com 网址: <http://www.fsxsj.net>

编辑部地址: 430199 武汉市蔡甸区中法新城同济医院专家社区别墅 C 栋