

宝石能谱 CT 双低检查技术在颅脑 CTA 中的应用研究

徐军, 张又新, 吴红英, 胡孝梨, 雷子乔, 罗昆

【摘要】 目的:探讨宝石能谱 CT 最佳单能量成像结合自动能谱协议选择技术在颅脑 CTA 检查中的应用价值。**方法:**将 120 例行颅脑 CTA 的患者随机分为两组, 常规剂量组和能谱低剂量组, 扫描前两组均采用 15 mL 的对比剂和 20 mL 的生理盐水进行小剂量团注测试, 估算出对比剂到达靶血管的峰值时间。扫描时常规剂量组 60 例行常规扫描, 管电压为 120 kVp, 0.7 mL/kg 对比剂, 流率 4.0 mL/s, 能谱低剂量组 60 例采用能谱双能量扫描模式及自动能谱协议选择技术, 管电压为 140、80 kV 瞬时切换, 0.5 mL/kg 对比剂, 流率 3.0 mL/s, 扫描后重建出最佳单能量 65 keV 的图像。比较常规剂量组和能谱低剂量组右颈内动脉、右大脑中动脉、右侧颞肌和窦汇 CT 值、图像背景噪声 (SD)、信噪比 (SNR)、对比噪声比 (CNR)、CT 剂量指数 (CTDIvol)、剂量长度乘积 (DLP)、有效辐射剂量 (ED) 以及图像质量主观评分的差异。**结果:**两组图像右颈内动脉、右大脑中动脉和右侧颞肌的强化 CT 值差异没有统计学意义 ($t = -0.465, 0.560, -1.525, P > 0.05$), 窦汇的 CT 值差异有统计学意义 ($Z = -6.456, P < 0.05$)。两组图像的 SD、SNR、CNR 和主观评分差异没有统计学意义 ($t = -0.975, Z = -0.530, -0.409, \chi^2 = 0.635, P > 0.05$)。两组患者的辐射剂量 (CTDL、DLP、ED) 和对比剂剂量差异有统计学意义 ($t = 15.904, 15.849, 15.849, t = 12.235, P < 0.05$)。**结论:**运用宝石能谱 CT 最佳单能量成像结合自动能谱协议选择技术在颅脑 CTA 检查中可以降低患者的对比剂剂量和辐射剂量, 且与常规扫描模式相比, 可有同等的动脉显示效果以及信噪比。

【关键词】 宝石能谱 CT; 最佳单能量; 颅脑 CTA; 对比剂

【中图分类号】 R814.42; R816.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2022)03-0297-05

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.03.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application research of gemstone spectral CT double-low examination technology in cranial CTA XU Jun, ZHANG You-xin, WU Hong-ying, et al. Department of Radiology, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Hubei Province Key Laboratory of Molecular Imaging, Wuhan 430022, China

【Abstract】 Objective: To explore the application value of gemstone spectral CT optimal single-energy imaging combined with automatic spectral imaging protocol selection technology in cranial CTA examination. **Methods:** One hundred and twenty patients undergoing cranial CTA were randomly divided into the conventional-dose group and the spectral low-dose group. Before scanning, 15 mL contrast agent and 20 mL normal saline were used for the low-dose bolus test in both groups to estimate the peak time for the contrast agent to reach the target vessel. The conventional group (60 cases) was scanned with 120 kVp tube voltage, and 0.7 mL/kg contrast agent with a flow rate of 4.0 mL/s. The spectral low-dose group (60 cases) was scanned in dual-energy scanning mode using automatic spectral imaging protocol selection technology with instantaneous switching tube voltage between 140 and 80 kV, 0.5 mL/kg contrast agent with a flow rate of 3.0 mL/s. After scanning, the optimal single energy 65 keV image was reconstructed. The CT value, image background noise (SD), signal-to-noise ratio (SNR), contrast-to-noise ratio (CNR), CT dose index (CTDIvol), dose length product (DLP), effective radiation dose (ED), and subjective scores of image quality in the right internal carotid artery, right middle cerebral artery, right temporalis muscle, and sinus confluence were compared between the conventional-dose group and spectral low-dose group. **Results:** There were no significant differences in

作者单位: 430022 武汉, 华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科, 分子影像湖北省重点实验室

作者简介: 徐军 (1993—), 男, 湖北黄冈人, 技师, 主要从事 CT 和 MRI 技术的临床应用研究。

通讯作者: 罗昆, E-mail: luokun0011@163.com

the enhanced CT value of the right internal carotid artery, right middle cerebral artery, and right temporalis muscle between the two groups ($t = -0.465, 0.560, -1.525, P > 0.05$). However, the difference of CT values in sinus confluence was statistically significant ($Z = -6.456, P < 0.05$). There was no significant difference in SD, SNR, CNR, and subjective scores between the two groups ($t = -0.975, Z = -0.530, -0.409, \chi^2 = 0.635, P > 0.05$). However, there were statistical differences in the radiation dose (CTDL, DLP, and ED) and contrast agent dose between the two groups ($t = 15.904, 15.849, 15.849, t = 12.235, P < 0.05$). **Conclusion:** The optimal single-energy imaging combined with automatic spectral imaging protocol selection technology can reduce the patient's contrast agent dose and radiation dose in the cranial CTA examination. Compared with the conventional scanning mode, it has the same artery display effect and SNR.

【Key words】 Gemstone spectral CT; Best single energy; Cranial CTA; Contrast agent

颅脑 CTA 是临床常用的影像检查方法,常规检查辐射剂量较大,存在着潜在的辐射危害,同时还需要较快的流率注射较高浓度和较大剂量的对比剂来维持血管内的浓度,满足图像后处理和诊断需要,对于需要进行造影检查的肾功能不全患者,应尽可能减少对比剂剂量以降低对比剂肾病发生的概率^[1-3]。但减少对比剂剂量易造成血管显影浅淡或浓度不均,影响图像质量和诊断^[4]。而宝石能谱 CT 拥有低 keV 单能量成像和自动能谱协议选择等技术,可以改善图像质量,提高血管 CT 值和对比度,可以根据患者的体型和图像质量需求个性化患者的辐射剂量和扫描参数,从而可以降低对比剂剂量和辐射剂量^[5-6]。本研究旨在初步探讨宝石能谱 CT 双低检查技术在颅脑 CTA 检查中的应用价值。

材料与方法

1. 研究对象

前瞻性搜集 2021 年 1 月—4 月本院临床怀疑或诊断为脑血管病变,症状为头晕、头痛、肢体活动障碍等,接受头颅 CTA 检查的 120 例患者,按照数字表法随机分为常规剂量组及能谱低剂量组,每组各 60 例。常规剂量组男 35 例,女 25 例,年龄 20~80 岁,平均(56.87 ± 13.61)岁。能谱低剂量组男 31 例,女 29 例,年龄 18~92 岁,平均(53.45 ± 14.80)岁。所纳入对象排除严重肝肾功能不全、严重失代偿心功能不全、BMI $> 28 \text{ kg/m}^2$ 的患者。

2. 检查方法

采用 GE Discovery CT750 HD64 排螺旋 CT 扫描仪。两组扫描方式:常规剂量组采用常规螺旋扫描模式,自动管电流技术,管电压为 120 kVp QC(混合能量);能谱低剂量组采用宝石能谱成像(gemstone spectral imagine, GSI)扫描模式,自动能谱协议选择(automatic spectral imaging mode selection, ASIS)技术,管电压为 80 kV 和 140 kV 瞬时(0.5 ms)切换,扫

描时自动重建 65 keV 单能量图像。两组其他扫描参数相同:噪声指数 NI 为 15,探测器宽度 40 mm,螺距 0.984:1,机架旋转速度 0.5 s/r,扫描范围为颅底至颅顶,两组数据均进行 0.625 mm 层厚的重建,重建算法 ASIR 设为 50%,并将重建数据传输至 AW4.6 工作站。

3. 对比剂注射方案

采用拜耳 Stellant-D 高压注射器。对比剂采用碘克沙醇(320 mg I/mL),扫描前两组均采用 15 mL 的对比剂和 20 mL 的生理盐水进行小剂量团注测试,估算出对比剂到达靶血管的峰值时间 T。扫描时常规剂量组按体重 0.7 mL/kg 注射对比剂,流率 4.0 mL/s,扫描时间为峰值时间 T+2~3 s。能谱低剂量组按体重 0.5 mL/kg 注射对比剂,流率 3.0 mL/s,扫描时间为峰值时间 T+1~2 s,扫描后重建出最佳单能量 65 keV 的图像。

4. 图像重建和后处理分析

所有原始扫描数据均传至 AW 4.6 工作站进行图像后处理,重组方法采用 MPR、MIP、CPR 及 VR 等。分别在颈椎 2~3 椎间盘层面、大脑中动脉层面、窦汇层面以及枕骨大孔层面测量右颈内动脉、右大脑中动脉 M1 中段、窦汇和右侧颞肌的强化 CT 值,测量兴趣区(ROI)的面积为血管或肌肉横断面积的 1/2~2/3,以右侧颞肌处 ROI 的标准差(standard deviation, SD)为背景噪声,计算图像对比噪声比(contrast noise ratio, CNR)及信噪比(signal noise ratio, SNR)。CNR = (CT 值右大脑中动脉 - CT 值右侧颞肌)/SD; SNR = CT 值右大脑中动脉/SD。并且记录患者的辐射剂量,包括容积剂量指数(CT dose index volume, CTDIvol),剂量长度乘积(dose length product, DLP),根据 DLP 计算有效剂量(effective dose, ED)。ED = k × DLP, k = 0.0021 mSv/mGy · cm^[7]。

5. 图像质量及评价

图像质量评价参照文献标准^[8],以大脑中动脉分

支的显示情况为代表,采用 MIP 方法重建,以 4 分法进行评价;4 分,能清楚显示 MCA 段 2 级以上分支;3 分,能清楚显示 MCA 的一级分支;2 分,能清楚显示 M1 段,M2 段以上分支显示不清 ;1 分,M1 段显示不完全。所有图像由两名经验丰富的医生采用双盲法对图像质量作出评分,意见不一致时协商取得一致结果。

6. 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析。对计量资料进行正态检验和方差齐性检验,呈正态分布或近似正态分布时,计量资料用 $\bar{x}\pm s$ 表示,当方差齐时,两组比较采用独立样本 t 检验;当方差不齐时,两组比较采用 t' 检验;计量资料不满足正态分布时,计量资料用 M(Q)表示,并采用 Mann-Whitney U 非参数检验比较;计数资料采用卡方检验比较。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 两组图像客观评价

两组患者在性别构成、年龄、BMI 等方面差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

表 1 两组患者的基本临床资料

临床资料	常规剂量组	能谱低剂量组	χ^2/t	P 值
性别(男/女)	35/25	31/29	0.539 ^a	0.463
年龄(岁)	56.87±13.61	53.45±14.80	1.316	0.191
BMI(kg/m ²)	23.31±2.77	22.49±3.28	1.489	0.139

注:^a 为 0 个单元格(0.0%)的期望计数小于 5。最小期望计数为 27.00。

两组图像的右颈内动脉和右大脑中动脉强化 CT 值差异没有统计学意义($P>0.05$),说明两组图像在动脉显示效果上没有差异。两组图像在窦汇 CT 值上差异有统计学意义($P<0.05$),说明能谱低剂量组静脉污染较常规组明显。

表 2 两组图像强化 CT 值测量数据比较 (HU)

部位	常规剂量组	能谱低剂量组	t/Z	P 值
右颈内动脉	285.83±77.37	279.24±77.91	-0.465	0.643
右大脑中动脉	247.66±63.54	240.85±69.42	0.560	0.576
窦汇	89.88(39.17)	159.75(69.07)	-6.456	0.000
右侧颞肌	63.18±11.04	66.43±12.29	-1.525	0.130

两组图像的 SD,SNR 和 CNR 差异均没有统计学意义($P>0.05$),见表 3。

表 3 两组图像 SD,SNR 以及 CNR 的测量结果比较

参数	常规剂量组	能谱低剂量组	t/Z	P 值
SD	9.61±2.57	10.11±3.03	-0.975	0.332
SNR	25.61(11.13)	24.95(14.91)	-0.530	0.596
CNR	19.05(9.72)	17.93(11.42)	-0.409	0.682

两组患者的辐射剂量(CTDL、DLP、ED)和对比剂总量差异有统计学意义($P<0.05$),见表 4。

表 4 两组患者辐射剂量和对比剂总量的数据比较

参数	常规剂量组	能谱低剂量组	t/t'	P 值
CTDLvol(mGy)	27.95±6.94	12.54±2.88	15.904	0.000
DLP(mGy·cm)	659.45±164.43	296.70±66.30	15.849	0.000
ED(mSv)	1.38±0.35	0.62±0.14	15.849	0.000
对比剂总量(mL)	60.50±7.41	45.28±6.17	12.235	0.000

2. 两组图像主观评价

两组患者检查完,均无明显不良反应,所有患者颅脑 CTA 显影均能满足影像诊断(图 1、2)。常规剂量组图像质量评分 4 分 40 例,3 分 20 例,能谱低剂量组质量评分 4 分 44 例,3 分 16 例,两组所有患者右侧大脑中动脉 M1 或 M2 段显影不清的情况均没有出现。在两组患者右侧大脑中动脉显示上,主观评分差异无统计学意义($P=0.427$)。

讨 论

肾毒性是静脉应用对比剂的主要副作用之一,其发生率与剂量呈正相关,同时还与一些危险因素有关,如糖尿病、肾衰竭和多发性骨髓瘤等等。一般来说,行头部 CTA 的患者往往年龄偏大同时伴有其他风险因素,因此 CTA 检查时减少对比剂剂量显得尤为重要。与此同时,颅脑 CTA 检查也存在着潜在的辐射危害,辐射损伤可引起细胞、组织、器官甚至各个系统的变化,最终导致整体功能变化直至发生病变,因此降低辐射剂量同样具有重要意义。

宝石能谱采用单源瞬时 kV 切换技术,高压发生器能在极短时间内完成 140 kV 和 80 kV 高低电压间的切换,几乎在同时同角度进行两个能量的数据采样,并根据这两种能量数据确定体素在 40~140 keV 范围内的衰减系数,获取该能量范围内的 101 个单能量图像^[9]。与常规 CT 图像相比,宝石能谱单能图像能有效地减少射线硬化伪影,具有更好的图像质量、SNR 和 CNR,还可以提供丰富的影像学信息,实现物质组成成分的初步分析及物质分离,并产生物质分离图,能够为临床提供更多的有价值信息,提高诊断符合率,此外宝石能谱 CT 还采用了全新的图像重建方法即 ASIR 重建算法,能在保证图像质量的前提下实现更低的辐射剂量^[10]。

宝石 CT 的自动能谱协议选择扫描模式可根据患者体型选择最优化的扫描参数,使患者辐射剂量个体化^[11]。另外 Bogot 等^[12] 和 Johnson 等^[13] 研究表明,颅脑 CTA 在单能量 65 keV 下能提高血管和周围组织的对比,增强血管显示效果。因此本研究主要基于这两点,重建 65 keV 单能量图像,通过最佳单能量成像及自动能谱协议选择技术来降低对比剂剂量和辐射剂量,旨在达到与常规 CT 能有同样的血管显影效果和图像质量,并探讨其在颅脑 CTA 检查中的应用价值。

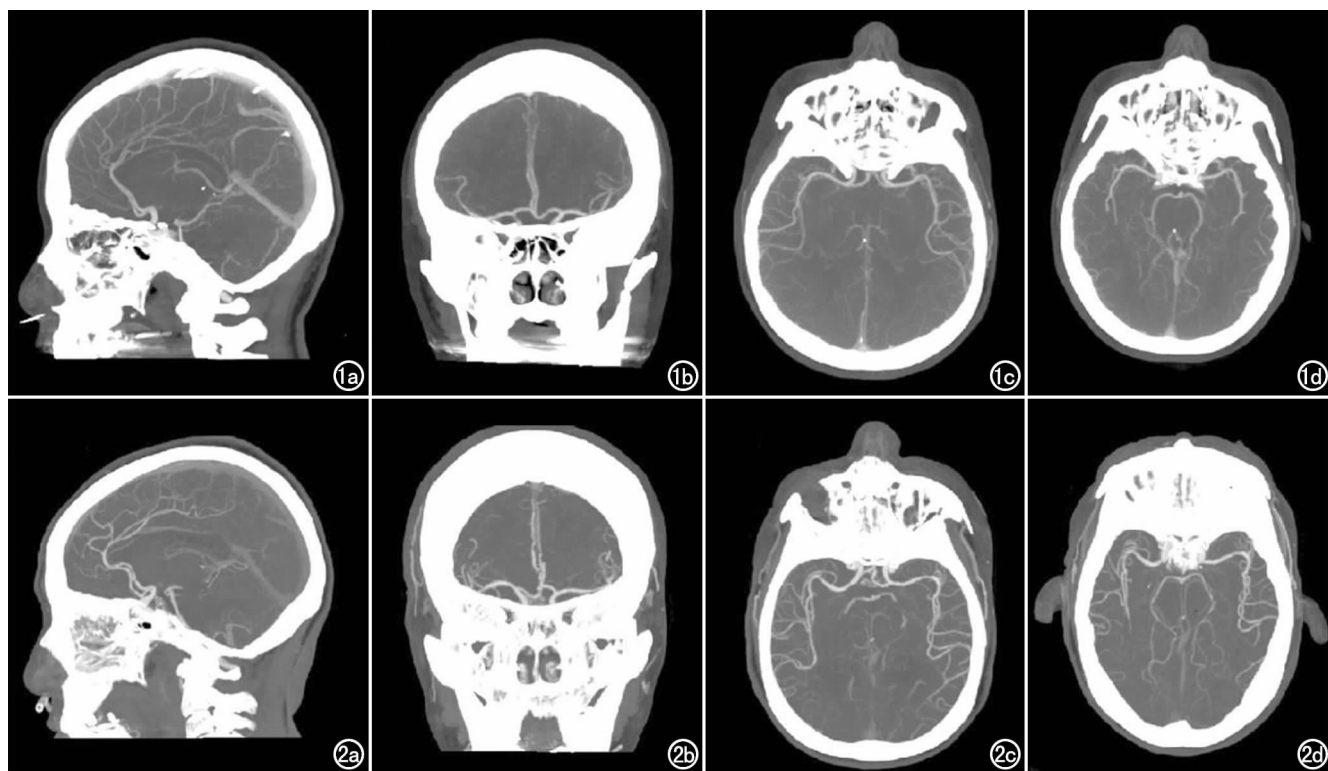


图1 能谱 65 keV 头部血管 MIP 图像。 图2 常规 120 kV 头部血管 MIP 图像。两组图像脑部的主要动脉血管及其分支均能清晰显示,评分均为 4 分,其中对于窦汇强化 CT 值,能谱组比常规组偏高,可能存在一定的静脉干扰。

本研究采用的是小剂量团注测试技术,这个方法简单直观,通过测出靶血管的时间-密度曲线,得到对比剂到达颅脑动脉的峰值时间,可以精确延迟时间,利于把握准确的扫描时机,获得更好的图像质量^[14]。但是在一定程度上增加了患者对比剂的剂量,以致对比剂总剂量只降低了约 25%。另外在实验结果中,能谱低剂量组的窦汇 CT 值较常规组要高出许多,并且差异具有统计学意义,这说明能谱低剂量组扫描的颅脑 CTA 静脉窦污染较常规组要严重一些,究其原因可能跟对比剂的流率降低有关,导致靶血管的峰值时间推后,扫描时间较晚而静脉提前显影。其次,本研究没有采用个体化的注射方案,而是两组分开按照统一的流率注射对比剂,对于体重过大的患者,就会存在注射流率不足,从而导致颅内动脉血管充盈不佳,对比剂浓度不高,增强效果不明显,而需要增加对比剂剂量。相反,对于体重过轻的患者,对比剂的注射流率过高,血管强化 CT 值明显,易造成对比剂剂量使用过多。最终会导致两组患者的血管强化 CT 值不均衡,标准差大。

当然本研究也有其优点。第一,收集的病例患者全部来自于急诊科室,患者身体状况较差,采用的对比剂是安全性最高的等渗非离子型对比剂碘克沙醇,在临床检查中不易发生过敏反应,已有大量数据研究证

实。第二,本研究采用的“小剂量团注测试+低对比剂剂量”的方式,能够有效预防或减轻对比剂渗漏,降低对比剂渗漏风险。第三,采用了能谱最佳单能量成像和自动能谱协议选择技术,降低了患者的对比剂剂量和辐射剂量,在实验结果中,能谱组较常规组的对比剂剂量降低约 25%,辐射剂量降低了约 55%,其中属辐射剂量降低最为明显。因此本研究在临床检查中也具有一定的参考价值。

总之,本研究证实了运用宝石能谱 CT 最佳单能量成像结合自动能谱协议选择技术在颅脑 CTA 检查中可以降低患者的对比剂剂量和辐射剂量,且与常规扫描模式相比,可有相同的动脉显示效果以及信噪比。

参考文献:

- [1] 马丽娅,李震,沈亚琪,等. 碘对比剂相关急性肾损伤及相关危险因素的大样本回顾性研究[J]. 放射学实践, 2018, 33(9): 918-922.
- [2] Tepel M, Aspelin P, Lameire N. Contrast-induced nephropathy: a clinical and evidence-based approach [J]. Circulation, 2006, 113(14): 1799-1806.
- [3] Toprak O, Cirit M. Risk factors and therapy strategies for contrast-induced nephropathy[J]. Ren Fail, 2006, 28(5): 365-381.
- [4] Namimoto T, Oda S, Utsunomiya D, et al. Improvement of image quality at low-radiation dose and low-contrast material dose abdominal CT in patients with cirrhosis: intraindividual comparison of low tube voltage with iterative reconstruction algorithm and standard tube voltage[J]. J Comput Assist Tomogr, 2012, 36(4):

- 495-501.
- [5] 朱正,赵心明,周纯武. 宝石能谱单能量成像及自适应统计迭代重建技术在腹部低剂量 CT 扫描中的可行性研究[J]. 放射学实践, 2017,32(4):418-500.
- [6] 杨明,范文亮,余建明,等. 能谱智能匹配联合双低技术在 CT 门静脉成像中的可行性研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2019,39(1):16-21.
- [7] Mccollough C, Edyvean S, Gould B, et al. The measurement, reporting, and management of radiation dose in CT [J]. Linac Transl Sci, 2008,8(4):330-333.
- [8] 吕璐璐,徐鹏,胡春峰,等. 头颈部 CT 血管造影和 ABCD2 评分对短暂性脑缺血血管特征及介入疗效评价[J]. 介入放射学杂志, 2014,23(5):381-384.
- [9] 叶伦,叶奕兰,冉艮龙,等. 宝石能谱 CT 的成像原理及临床应用[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2013,7(19):8919-8921.
- [10] 邓凯,张成琪,李伟,等. 宝石能谱 CT 的特点及临床应用价值[J]. 中国医药导报, 2011,8(25):16-17.
- [11] Lv P, Liu J, Chai Y, et al. Automatic spectral imaging protocol selection and iterative reconstruction in abdominal CT with reduced contrast agent dose: initial experience [J]. Eur Radiol, 2017,27(1):374-383.
- [12] Bogot NR, Fingerle A, Shaham D, et al. Image quality of low-energy pulmonary CT angiography: comparison with standard CT [J]. Am J Roentgenol, 2012,197(2):W273-W278.
- [13] Johnson TR, Krau B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience [J]. Eur Radiol, 2007, 17(6):1510-1517.
- [14] 樊红霞,李相生,毕永民,等. 小剂量团注测试扫描技术减少肺动脉 CT 血管成像造影剂剂量及浓度的可行性研究[J]. 中国分子心脏病学杂志, 2015,85(6):10-14.

(收稿日期:2021-06-03 修回日期:2021-07-11)

《放射学实践》杂志微信公众平台开通啦!

遵照同行评议、价值导向、等效应用原则,国内各大学会、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》。

《放射学实践》杂志微信公众平台立足于准确地传递医学影像领域的最新信息,致力于为关注医学影像领域的广大人士服务。欢迎大家通过微信平台,以文字、图片、音频和视频等形式与我们互动,分享交流最新的医学影像资讯。您还可以通过微信平台免费阅读及搜索本刊所有发表过的论文,投稿作者可以查询稿件状态等。

您可以通过以下方式关注《放射学实践》杂志微信公众平台:

1. 打开微信,通过“添加朋友”,在搜索栏里直接输入“放射学实践”进行搜索。
2. 在“查找微信公众号”栏里输入“放射学实践”即可找到微信公众号,点击“关注”,添加到通讯录。
3. 打开微信,点击“扫一扫”,手机镜头对准下面的二维码,扫出后点击关注即可。



关注有惊喜!