

• 骨骼肌肉影像学 •

合成磁共振成像评估前交叉韧带早期退变的价值

夏振元, 莫欣鑫, 蓝岚, 余小平, 杨成, 李伟雄

【摘要】 目的:探讨合成磁共振成像(SyMRI)评估前交叉韧带(ACL)早期退变的临床价值。**方法:**搜集 80 例患者的单侧膝关节合成磁共振成像数据。根据关节镜结果将所有患者分为 3 组:正常组(30 例)、早期轻微退变组(28 例)和早期明显退变组(22 例)。采用单因素方差分析比较各组患者 ACL 的 T_1 值、 T_2 值及质子密度(PD)值的总体差异性,并采用 LSD- t 检验对各参数进行组间两两比较。采用受试者工作特征(ROC)曲线评估各项参数值对 ACL 早期退变的诊断效能。**结果:**单因素方差分析结果显示, T_1 值、 T_2 值和 PD 值在 3 组间总体分布的差异均具有统计学意义($F=11.248, 11.991$ 和 $118.162, P$ 均 <0.001)。LSD- t 检验结果显示,正常组的 PD 值低于轻微退变组,轻微退变组的 PD 值低于明显退变组,差异均具有统计学意义(P 均 <0.05)。 T_1 值及 T_2 值在正常组与轻微退变组之间的差异无统计学意义(P 均 >0.05),而正常组和轻微退变组的 T_1 值及 T_2 值均低于明显退变组(P 均 <0.05)。ROC 曲线分析结果显示 T_1 值对 ACL 早期退变的敏感度、特异度、约登指数及曲线下面积分别为 58%、80%、0.38 和 0.706, T_2 值的相应指标值分别为 88%、40%、0.28 和 0.677, PD 值的相应指标值为 92%、90%、0.82 和 0.957。**结论:**合成磁共振成像质子密度值可定量评估前交叉韧带早期退变性损伤。

【关键词】 前交叉韧带;退变性损伤;合成磁共振成像;诊断效能

【中图分类号】 R445.2;R686 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2022)04-0504-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.04.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The value of synthetic MRI in assessing early degeneration injury of anterior cruciate ligament XIA Zhen-yuan, MO Xin-xin, LAN Lan, et al. Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Guangxi University of Medicine, Guangxi 530007, China

【Abstract】 Objective: To investigate the clinical value of synthetic magnetic resonance imaging (SyMRI) in assessing early degeneration injury of anterior cruciate ligament (ACL). **Methods:** 80 unilateral knees of patients underwent SyMRI scan were collected and divided into normal group (30 cases), early mild degeneration group (28 cases) and early manifest degeneration group (22 cases) based on the results of arthroscopy. The population distribution of T_1 , T_2 and proton density (PD) values among three groups were compared by One-way ANOVA, and LSD- t test was used to compare these parameters between each two groups. Mild and manifest degeneration were defined as early degeneration, and the diagnostic efficacy of each parameter for ACL early degeneration were assessed by receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results:** The results of One-way ANOVA analysis showed that the population distribution of T_1 , T_2 and PD values among the three groups were all statistically different ($F=11.248, 11.991$ and 118.162 ; all $P<0.001$). LSD- t test showed that the PD values in normal group were lower than that in mild degeneration group, while the PD values in mild degeneration group were lower than that in manifest degeneration group (all $P<0.05$). There were no significant difference in T_1 and T_2 values between normal group and mild degeneration group (all $P>0.05$), while the T_1 and T_2 values in normal group and mild degeneration group were lower than those in manifest degeneration group (all $P<0.05$). The results of the ROC analysis revealed that the sensitivity, specificity, Youden index and area under the ROC curve of T_1 -value were 58%, 80%, 0.38 and

作者单位: 530007 南宁, 广西医科大学第二附属医院放射科

作者简介: 夏振元(1986-), 男, 广西南宁人, 硕士, 主治医师, 主要从事骨肌系统影像诊断工作。

通讯作者: 李伟雄, E-mail: liwx668@sina.com

基金项目: 广西壮族自治区临床重点专科建设项目(桂卫医发 2020-15)

0.706, those of T_2 -value were 88%, 40%, 0.28, and 0.677, respectively; and those of PD value were 92%, 90%, 0.82 and 0.957, respectively. **Conclusion:** The PD values in SyMRI can quantitatively evaluate the early degeneration injury of ACL.

【Key words】 Anterior cruciate ligament; Degenerative injury; Synthetic magnetic resonance imaging; Diagnostic efficacy

早期准确评估前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)退变性损伤程度,有助于临床评估 ACL 的生理和病理状态,指导患者健康运动。合成磁共振成像(synthetic magnetic resonance imaging, SyMRI)可敏感地测量组织的弛豫时间及质子密度变化且具有较高的可重复性^[1-3],从而能应用于评估 ACL 早期退变性损伤,但目前相关研究报道较少。本文通过对比正常以及早期退变损伤 ACL 的合成磁共振成像参数的差异,旨在初步探讨 SyMRI 定量评估 ACL 早期退变性损伤的临床价值,并作为后期研究的技术验证。

材料与方法

1. 一般资料

搜集 2020 年 1 月—2021 年 9 月在本院经关节镜确诊的 80 例患者的单膝关节 SyMRI 数据。其中,女 46 例,男 34 例,年龄 30~70 岁,平均(50.03 ± 9.64)岁。纳入标准:① ACL 的状态经关节镜检查评估。② 所无明显膝关节外伤。排除标准:① 合并感染、肿瘤等影响 ACL 信号;② 具有类风湿、系统性红斑狼疮、痛风等其它可引起膝关节滑膜炎的基础性疾病;③ 因膝关节畸形、关节纤维化等原因引起膝关节运动功能障碍。关节镜下 ACL 分级标准如下。正常:ACL 表面光泽滑润,形态和结构无明显异常;早期退变:ACL 连续性良好,张力稍减低,光泽暗淡,表面不同程度毛糙、皲裂或伴有少许纤维束撕裂。其中,ACL 整体形态及连续性良好、张力如常,表面较毛糙、变白为早期轻微退变;ACL 整体形态及连续性较好、张力稍减低、表面明显毛糙、暗淡,伴或不伴有皲裂者为早期明显退变。

2. 检查方法

使用 Signa Pioneer 3.0T 磁共振成像仪和 16 通道体表柔性线圈。患者取仰卧位,膝关节屈曲 $10^\circ \sim 15^\circ$,足先进。常规扫描序列包括横轴面、冠状面和矢状面 FSE-PDWI 序列。横轴面 SyMRI 采用 2D-快速自旋多动态多回波序列(multiple-dynamic multiple-echo, MDME)进行扫描,又称一站式弛豫定量磁共振(MAGnetic resonance image Complication, MAGiC)序列。扫描参数:TR 4000 ms, TE 20 ms,视野 $160 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$,矩阵 320×224 ,层厚 4.0 mm,层间距 0.5 mm,激励次数 1。

3. 图像处理及分析

将 SyMRI 原始数据传输至主机 MAGiC 后处理软件中,软件自动生成横轴面 T_2 WI、 T_1 WI 和 STIR 图像,调整弛豫率使膝关节组织结构在 STIR 图像上显示最佳。在 STIR 图像上,选取 ACL 中上部水平两个相邻层面手动勾画 ROI,ROI 面积占该层面 ACL 面积的 $2/3 \sim 3/4$,此时软件将自动显示该 ROI 的 T_1 、 T_2 及质子密度(proton density, PD)值(图 1~3),每个层面测量 3 次,并取两个层面的平均值记为最终结果。

4. 统计学分析

使用 SPSS 22.0 软件包进行统计分析。采用单因素方差分析比较各组间患者年龄的差异。采用多组独立样本 Kruskal-Wallis 检验,对比各组间患者性别构成比的差异。对两组患者 ACL 的 T_1 值、 T_2 值和 PD 值分别进行秩次转换,采用单因素方差分析,对比各组间参数秩次的差异性,并采用 ROC 曲线评价各参数诊断 ACL 早期退变的效能。 $0.5 < \text{AUC} \leq 0.7$ 为诊断效能较低, $0.7 < \text{AUC} \leq 0.9$ 为诊断效能中等, $\text{AUC} > 0.9$ 为诊断效能较高^[4]。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

1. 一般资料的比较

正常对照组、轻微退变组及明显退变组患者的年龄分别为(41.23 ± 6.68)、(51.54 ± 6.15)和(60.09 ± 4.46)岁,组间差异有统计学意义($F = 64.94, P < 0.01$)。三组患者性别构成比的差异无统计学意义($H = 0.273, P = 0.872$)。

2. 各组间各项 SyMRI 参数的比较

T_1 、 T_2 和 PD 值在 3 组间的比较结果见表 1。将各组 T_1 、 T_2 和 PD 值进行秩次转换,以秩次作为变量,应用方差分析对各参数秩次进行检验,结果显示各参数秩次成正态分布,且方差齐,且组间总体差异均具有统计学意义($F = 11.248, 11.991$ 和 $118.162, P$ 均 < 0.01)。

进一步采用 LSD- t 检验进行组间两两比较,结果显示:PD 值在正常组、轻微退变组及明显退变组之间的差异均具有统计学意义($P < 0.01$),且正常组 PD 值低于轻微退变组,轻微退变组 PD 值低于明显退变组(图 1~3); T_1 值及 T_2 值在正常组和早期轻微退变组

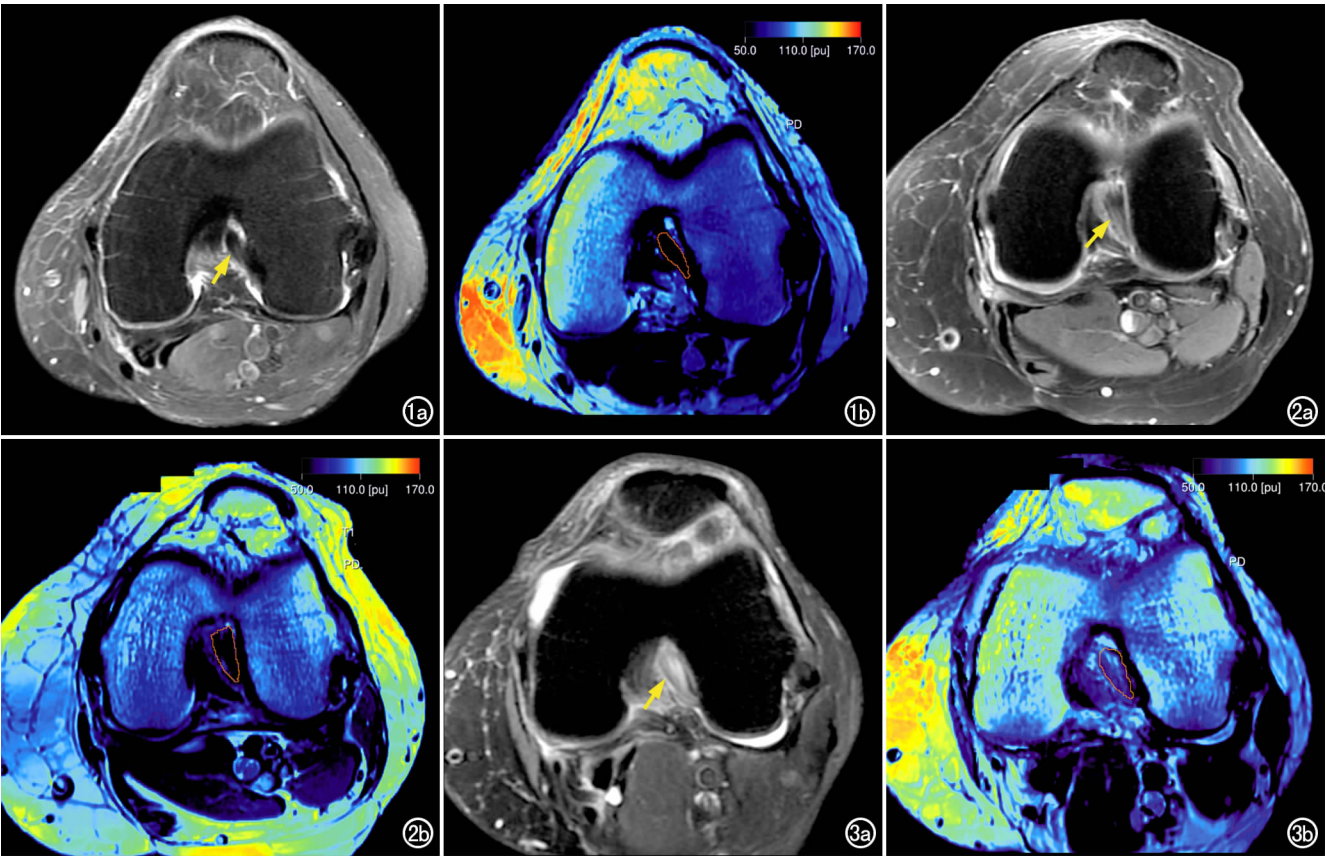


图 1 女,47 岁,ACL 正常患者。a)FSE-PDWI 序列示 ACL 呈正常低信号(箭);b)SyMRI-PD Mapping 示 ACL 色阶呈均匀深蓝色,其 T_1 、 T_2 和 PD 值分别为 1213ms、36ms 和 38.4pu。图 2 女,56 岁,ACL 早期轻微退变患者。a)FSE-PDWI 序列示 ACL 呈不均匀稍高信号(箭);b)SyMRI-PD Mapping 示 ACL 的 T_1 、 T_2 和 PD 值分别为 946ms、55ms 和 53.6pu。图 3 女,63 岁,ACL 早期明显退变患者。a)FSE-PDWI 序列示 ACL 信号明显增高(箭);b)SyMRI-PD Mapping 示 ACL 的 T_1 、 T_2 和 PD 值分别为 1685ms、79ms 和 76.4pu。

之间的差异均无统计学意义($P>0.05$),而正常组和早期轻微退变组的 T_1 值及 T_2 值均低于早期明显退变组($P<0.01$),详见表 1。

3. SyMRI 各参数对 ACL 早期退变的诊断效能

采用 ROC 曲线分析评估 SyMRI 各参数对 ACL 早期退变的诊断价值,结果见表 2 和图 4。PD 对 ACL 早期退变有较高的诊断效能,其敏感度、特异度、约登指数及 AUC 分别为 92%、90%、0.82 和 0.957。

讨 论

SyMRI 是近年来新兴的一种磁共振定量成像技术,可实现对组织弛豫时间及质子密度绝对值的同时测量^[5-6]。不同于常规扫描序列,其采用基于多个延迟饱和和多回波原理的 MAGiC 序列进行成像扫描,成像过程中首先通过不同 TR 施加的多个饱和脉冲,以获得组织 T_1 弛豫时间,并同时进

表 1 三组间交叉韧带 SyMRI 参数的比较

参数	正常组	轻微退变组	明显退变组	F 值	P 值
T_1 /ms	809.57±186.83	870.36±178.70	1183.45±378.94	11.248	<0.01
T_2 /ms	48.43±6.86	49.79±7.32	64.36±13.88	11.991	<0.01
PD/pu	36.13±5.73	49.12±7.19	64.00±6.67	118.162	<0.01

表 2 各项 SyMRI 参数对 ACL 退变的诊断效能

参数	阈值	约登指数	AUC	95%CI	标准误	P 值	敏感度	特异度
T_1	873.50ms	0.38	0.706	0.590~0.82	0.059	0.002	58.0%	80.0%
T_2	45.50ms	0.28	0.677	0.559~0.796	0.062	0.008	88.0%	40.0%
PD	42.85pu	0.82	0.957	0.918~0.996	0.014	0.000	92.0%	90.0%

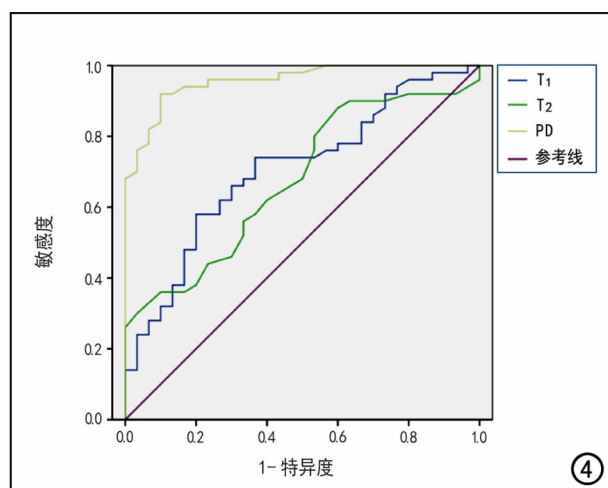


图4 SyMRI参数诊断ACL早期退变的ROC曲线,以PD的AUC最大, T_2 的AUC最小。

采集,获取组织 T_2 弛豫时间,最后通过计算可获得PD定量图谱^[7-9],从而实现对组织结构弛豫时间及质子密度的定量评估。有研究表明MAGiC序列应用于膝关节成像,其图像质量和对病变的显示及诊断均与常规MRI无统计学差异^[10]。Lee等^[11]的研究结果表明SyMRI中测量的 T_2 值可对膝关节软骨早期损伤进行定量评估。孟铁豹等^[12]的研究结果显示SyMRI可通过测量和分析 T_1 和 T_2 值的变化提高对前列腺癌的诊断敏感性。另外在神经系统方面,SyMRI可敏感地定量评估脑组织发育以及神经纤维髓鞘化状态^[13],以上SyMRI的技术原理及在临床各相关方面的研究为其评估前交叉韧带早期退变奠定了一定的理论与实践基础。

前交叉韧带是保证膝关节稳定及正常活动的重要结构,虽然运动损伤及外伤是导致其损伤的主要原因^[14],但随着年龄的增长,前交叉韧带常出现磨损、黏液变性以及轻微外伤后修复等退变性损伤改变,退变性损伤所导致的内部组织结构及成分的改变是ACL弛豫时间和质子密度发生变化的基础。在弛豫时间方面,本研究结果显示, T_1 及 T_2 值在正常组和轻微退变组之间差异无统计学意义($P>0.05$),而正常组和早期轻微退变组的 T_1 及 T_2 值均低于早期明显退变组($P<0.05$),且约登指数均不足0.5,诊断效能均较低,说明SyMRI测得的 T_1 及 T_2 值可反映较明显的ACL退变性损伤,但对轻微退变性损伤不敏感,对定量评估ACL的轻微退变性损伤存在较大误判风险。该研究结果与车树楠等^[15]关于SyMRI在乳腺癌诊断方面的研究存在较大差异,这可能与不同组织的弛豫时间差异较大有关。另外本研究中将ACL早期退变性损伤进行更细微的划分,亦是研究结果存在差异的原因。

在质子密度变化方面,本研究结果显示,PD值在

正常组、轻微退变组及明显退变组之间的差异均具有统计学意义(P 均 <0.01),且正常组的PD值低于轻微退变组,轻微退变组的PD值低于明显退变组。本研究结果显示的PD值的变化规律与Arita等^[16]及李白洁^[17]等关于SyMRI中PD值定量评估前列腺癌方面的统计结果相一致。说明SyMRI中测量的PD值可评估前交叉韧带早期退变性损伤,且其敏感度明显高于 T_1 值及 T_2 值,这可能是因为ACL退变性损伤常伴有水分子、粘液蛋白或其它成分的增加,这些成分的轻微变化,可使本身氢质子含量较少的前交叉韧带的PD明显提高,但轻微退变尚不足以影响ACL内部结构中整体氢质子的自旋弛豫及晶格弛豫,这可能是正常组与轻微退变组之间 T_1 值及 T_2 值无统计学差异的原因。随着ACL组织结构的退变进展,其内结构和成分更复杂,水分子增多, T_1 值及 T_2 值的变化逐步得以体现。ROC曲线分析显示PD值对ACL退变性损伤具有较高的诊断效能,其敏感度、特异度、约登指数及曲线下面积分别为92%、90%、0.82和0.957,进一步说明SyMRI中测量的PD值可用于定量评估ACL早期退变性损伤。

本研究存在一些局限性:首先,样本数据较少,需要增加样本量进一步验证;其次,ACL常由多个纤维束组成,其间常存在富含脂肪的结缔组织,可能对ACL的SyMRI定量参数值的测量可能有一定影响,尚需进一步评估韧带内各个纤维束的定量参数值,以验证SyMRI技术的可行性。

综上所述,由SyMRI生成的PD值可定量评估ACL的早期退变性损伤,具有较高的临床参考价值。

参考文献:

- [1] Goncalves FG, Serai SD, Zuccoli G. Synthetic brain MRI: review of current concepts and future directions[J]. Top Magn Reson Imaging, 2018, 27(6): 387-393.
- [2] 徐良洲, 徐霖, 贺梦吟, 等. 集成MR序列 T_1 、 T_2 弛豫定量的可重复性研究[J]. 放射学实践, 2019, 34(11): 1178-1181.
- [3] Andica C, Hagiwara A, Hori M, et al. Automated brain tissue and myelin volumetry based on quantitative MR imaging with various in plane resolutions[J]. J Neuroradiol, 2018, 45(3): 164-168.
- [4] 颜虹, 徐勇勇. 医学统计学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 228-230.
- [5] 陈爽, 欧阳汉. 集成MRI在临床诊断中的应用价值[J]. 磁共振成像, 2020, 11(9): 833-836.
- [6] Duchaussoy T, Budzik JF, Norberciak L, et al. Synthetic T_2 -mapping is correlated with time from stroke onset: a future tool in wake-up stroke management[J]. Eur Radiol, 2019, 29(12): 7019-7026.
- [7] 刘辉明, 尹国平, 别非, 等. 对比集合序列与常规序列头部MR图像质量[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(2): 268-271.
- [8] Lee SH, Lee YH, Song HT, et al. Quantitative T_2 -mapping of knee cartilage: comparison between the synthetic MR imaging and

- the CPMG sequence[J]. Magn Reson Med Sci, 2018, 17(4): 344-349.
- [9] Maekawa T, Hagiwara A, Hori M, et al. Effect of gadolinium on the estimation of myelin and brain tissue volumes based on quantitative synthetic MRI[J]. AJNR, 2019, 40(2): 231-237.
- [10] Yi J, Lee YH, Song HT, et al. Clinical feasibility of synthetic magnetic resonance imaging in the diagnosis of internal derangements of the knee[J]. Korean J Radiol, 2018, 19(2): 311-319.
- [11] Lee SH, Lee YH, Hahn S, et al. Optimization of T₂-weighted imaging for shoulder magnetic resonance arthrography by synthetic magnetic resonance imaging[J]. Acta Radiol, 2018, 59(8): 959-965.
- [12] 孟铁豹, 刘辉明, 张蔚菁, 等. 集成磁共振成像弛豫时间定量在前列腺癌诊断中的应用[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(3): 605-608.
- [13] Lee SM, Choi YH, You SK, et al. Age-related changes in tissue value properties in children: simultaneous quantification of relaxation times and proton density using synthetic magnetic resonance imaging[J]. Invest Radiol, 2018, 53(4): 236-245.
- [14] 戴灼南, 袁建华, 司建荣, 等. 膝关节交叉韧带及软骨损伤: 3D-SPACE 与常规序列 MRI 的对比研究[J]. 放射学实践, 2018, 33(12): 1312-1316.
- [15] 车树楠, 李静, 薛梅, 等. 集成磁共振成像对乳腺良恶性病变的鉴别诊断价值[J]. 中华肿瘤杂志, 2021, 43(8): 872-877.
- [16] Arita Y, Takahara T, Yoshida S, et al. Quantitative assessment of bone metastasis in prostate cancer using synthetic magnetic resonance imaging[J]. 2019, 54(10): 638-644.
- [17] 李白洁. 合成磁共振成像(SyMRI)定量技术在前列腺癌诊断价值中的研究[D/OL]. 山东大学. [2021. 01. 02]. DOI: 10. 27272/d.cnki.gshdu. 2021. 001423.
- (收稿日期: 2021-11-09 修回日期: 2022-02-01)

欢迎订阅 2022 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 37 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