

• 方法技术学 •

Impact factors of cardiac MR intravoxel incoherent motion imaging in normal population in China

LI Shilan, MOU Anna, LI Xin, ZHANG Chen, CHEN Hui, SONG Qingwei,
LIU Ailian, LI Zhiyong*

(Department of Radiology, First Affiliated Hospital of
Dalian Medical University, Dalian 116011, China)

[Abstract] **Objective** To explore the impact factors of cardiac MR intravoxel incoherent motion (CMR-IVIM) imaging in normal persons in China. **Methods** Ninety-nine healthy volunteers underwent cardiac IVIM imaging with 3.0T MR were enrolled. Short axis CMR-IVIM on the apex, middle and base of left ventricular was performed. Age, sex, body mass index (BMI) and heart rate were compared between imaging success group and failure group. In success group, trigger delay (TD) was compared among different ages and BMI, and correlation analysis was completed between TD and heart rate. TD/RR ratio was calculated. **Results** The success rate of CMR-IVIM imaging on the middle, base and apical part was 66.67% (66/99), 64.65% (64/99) and 60.61% (60/99), respectively. Heart rate in success group was lower than failure group ($t = -3.11$, $P = 0.003$). Age, sex and BMI had no statistical difference between the two groups (all $P > 0.05$). Heart rate and TD showed negative correlation ($r_s = -0.66$, $P < 0.01$). TD/RR interval was a relatively stable adjusting parameter, and TD/RR interval range was $(55.77 \pm 5.51)\%$ in successful cases. **Conclusion** IVIM imaging in normal population in China was feasible. Impact factors of success rate included heart rate, TD and TD/RR interval. TD/RR interval was a relatively stable adjusting parameter.

[Key words] Magnetic resonance imaging; Intravoxel incoherent motion; Myocardium

DOI:10.13929/j.1672-8475.201803049

中国正常人群心脏 MR 体素内不相干运动 成像技术的影响因素

李世兰, 牟安娜, 李 昕, 张 晨, 陈 辉, 宋清伟, 刘爱连, 李智勇*

(大连医科大学附属第一医院放射科, 辽宁 大连 116011)

[摘要] **目的** 探讨影响中国正常人群心脏 MR 体素内不相干运动(IVIM)成像成功率的影响因素。**方法** 收集 99 名接受 3.0T MR 心脏 IVIM 成像正常志愿者的资料, 均于左心室心尖部、中间部和基底部分别行 IVIM 扫描, 比较 IVIM 成像中图像成功组与失败组间年龄、性别、体质量指数(BMI)、心率, 成功组不同年龄、BMI 亚组间触发延迟(TD)时间; 对 TD 时间与心率行相关性分析, 同时计算 TD/RR 间期。**结果** 左心室中间部、基底部、心尖部 IVIM 成像中, 图像成功率分别为 66.67%(66/99)、64.65%(64/99)和 60.61%(60/99)。成功组心率低于失败组($t = -3.11$, $P = 0.003$), 2 组间年龄、性别和 BMI 差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。心率与 TD 时间呈负相关($r_s = -0.66$, $P < 0.01$)。成功组 TD/RR 间期为 $(55.77 \pm 5.51)\%$, 较稳定。**结论** 对中国正常人群行 IVIM 成像具有可行性。成功率影响因素包括心率、TD 时间、TD/RR 间期, TD/RR 间期是相对稳定的调节参数。

[基金项目] 辽宁省教育厅科研基金项目(L2016021)、辽宁省科技厅科研项目(20170540235)。

[第一作者] 李世兰(1993—), 女, 甘肃白银人, 在读硕士。研究方向: 心胸影像学。E-mail: 704496405@qq.com

[通信作者] 李智勇, 大连医科大学附属第一医院放射科, 116011。E-mail: zjy_lzy@126.com

[收稿日期] 2018-03-27 **[修回日期]** 2018-10-18

〔关键词〕 磁共振成像;体素内不相干运动;心肌

〔中图分类号〕 R3; R445.2 〔文献标识码〕 A 〔文章编号〕 1672-8475(2018)12-0748-05

目前体素内不相干运动 (intravoxel incoherent motion, IVIM) 已被用于评估诸多器官组织的微循环情况^[1-3]。2003 年, Callot 等^[4]于活体犬类心肌中证明 IVIM 技术可评估心肌微循环状况。但 IVIM 成像技术对组织生理性运动极度敏感, 在心脏检查中可导致心肌信号丢失, 降低信号强度和 SNR^[5-7], 用于心脏成像仍存在一定难度^[8]。2017 年本课题组^[9]对人活体心肌进行了 IVIM 成像, 但样本量较小, 未对正常人群成像的影响因素进行细化。本研究进一步探讨中国正常人群心脏 MR IVIM 成像技术的影响因素。

1 资料与方法

1.1 一般资料 纳入 2015 年 5 月—2017 年 11 月在我院接受 3.0T MR 心脏 IVIM 成像的 99 名正常志愿者, 男 46 名, 女 53 名, 年龄 20~77 岁, 平均 (36.4±16.4) 岁 [男 (34.7±15.0) 岁, 女 (37.8±17.6)

岁], 平均体质量指数 (body mass index, BMI) 为 (23.27±4.29) kg/m² [男 (24.55±4.17) kg/m², 女 (22.18±4.12) kg/m²], 平均心率 (66.75±7.30) 次/分 [男 (67.15±8.21) 次/分, 女 (66.58±6.86) 次/分]。纳入标准: 心电图未见异常; 常规 MR 检查心脏结构与功能未见异常。排除标准: 存在心脏起搏器、心脏支架以及幽闭恐惧症等相对或绝对 MRI 禁忌证者; 糖尿病、血脂异常、高血压、心肌梗死、心脏手术史者。本研究获得我院伦理委员会批准, 所有受检者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 GE Signa HDxt 3.0T MR 扫描仪, 心脏专用 8 通道线圈, 梯度场 50 mT/m, 梯度场切换率 150 mT/m/s。主要采集层面包括左心室长轴、短轴、流入流出道层面以及四腔心层面。采用快速平衡稳态进动序列完成主要采集层面的电影扫描。IVIM 扫描中触

发延迟 (trigger delay, TD) 时间的选择基于左心室四腔心层面的图像, 观察并选取左心室舒张中晚期心肌运动幅度相对最小的时间节点, 以此作为选定的 TD 时间; IVIM 成像时依据心率的变化进行小幅度调整, 以确定扫描的最佳 TD 时间。心脏 IVIM 成像均使用心电门控与呼吸门控, 于呼气末屏气时, 左心室短轴层面 (心尖部、中部、基底部) 进行扫描, TE 51.2 ms, TR 857 ms, b 值取 0、20、50、80、100、120、200、300、500 s/mm², 激励次数分别为 2、2、2、2、2、2、2、2、4, 层厚 8~10 mm, 层间距 0, 矩阵 96×128, FOV 35 cm×35 cm, TD 360~640 ms; 总扫描时间 19~24 s, 受检者心率 50~80 次/分。

1.3 图像分析 采用 GE ADW 4.6 工作站, 由 2 名心血管专科影像医师评估图像质量, 意见不一致时由高年

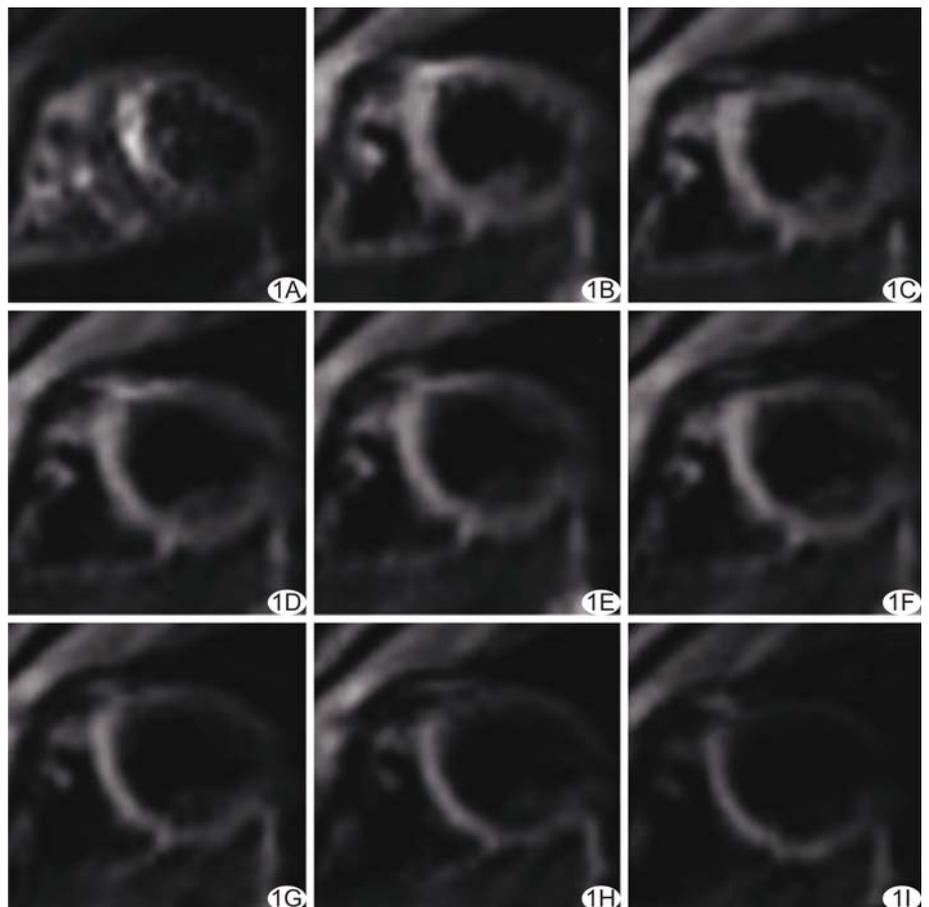


图 1 正常志愿者, 男, 61 岁, 左心室短轴心尖部心脏 IVIM 成像, 图像质量等级为 II 级 A~I 分别为 b 值为 0、20、50、80、100、120、200、300、500 s/mm² 的图像; 随 b 值增加, 左心室心肌信号衰减, 左心室侧壁信号明显衰减, 左心室心肌轮廓不清晰

资心血管专科影像医师做出最终评定。采用 3 级质量等级评估 IVIM 图像：I 级，左心室图像质量较差，存在严重心肌信号丢失或心肌未显示，无法测量参数；II 级，左心室图像质量中等，可能存在部分模糊的心肌边缘，或局部小范围心肌信号缺失，但可完成整体心肌的参数测量；III 级，左心室图像质量较好，心肌轮廓与边缘显示清楚，测量准确可靠。

I 级为失败图像，II 级（图 1）和 III 级（图 2）为成功图像。同一受检者左心室 3 层图像（心尖、中间、基底部）均完整显像并满足 II 级或 III 级图像质量时归入成功组，有 1 层及以上图像（无论心尖、中间、基底部）符合 I 级图像质量则归入失败组。成功组中，年龄 ≤ 35 岁为青年亚组，> 35 岁为中老年亚组；根据 BMI 分为 BMI < 24 kg/m² 亚组和 24 kg/m² ≤ BMI < 28 kg/m² 亚组。

记录影响 IVIM 成像的可调节参数 TD、心率、TD/RR 间期 × 100%。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计分析软件。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用 K-S 检验进行正态分布分析。成功组与失败组间年龄、性别、BMI、心率，中老年与青年亚组间、BMI < 24 kg/m² 与 24 kg/m² ≤ BMI < 28 kg/m² 亚组间的 TD 时间呈非正态分布时采用 Mann-Whitney U 检验，呈正态分布时采用独立样本 t 检验。成功组中，TD 时间与心率的相关性采用 Spearman 相关分析。以 P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 IVIM 图像质量评估 以心肌层面为基准，对 99 名正常志愿者共计采集 297 层图像，图像总成功率为 63.97% (190/297)，见表 1。左心室中间部、基底部、心

尖部的图像成功率分别是 66.67% (66/99)、64.65% (64/99)、60.61% (60/99)。

成功组 54 名，其中包括 162 层心肌层面，其中 II 级心肌 104 层，III 级心肌 58 层。失败组 45 名，包括 135 层心肌层面，其中 I 级心肌 107 层，II 级心肌 26 层，III 级心肌 2 层。

表 1 IVIM 图像分级结果(层)

分级	心尖部	中间部	基底部	合计
I 级	39	33	35	107
II 级	45	48	37	130
III 级	15	18	27	60

表 2 IVIM 成功组与失败组影响因素分析

组别	年龄(岁)	男性(名)	BMI(kg/m ²)	心率(次/分)
成功组(n=54)	36.4 ± 16.0	22	22.73 ± 4.22	64.74 ± 5.99
失败组(n=45)	36.3 ± 17.2	24	23.95 ± 4.33	69.16 ± 8.04
t 值	-0.96	-1.25	-1.36	-3.11
P 值	0.98	0.21	0.16	0.003

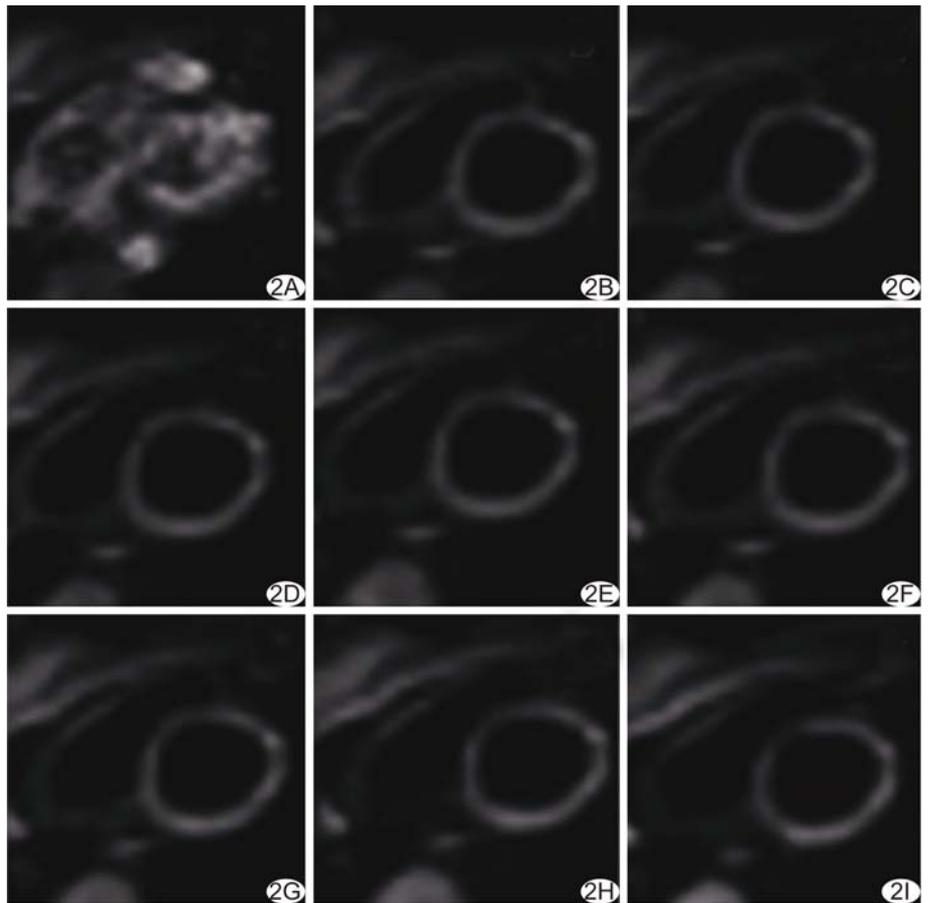


图 2 正常志愿者，女，23 岁，左心室短轴基底部心脏 IVIM 成像，图像质量为 III 级 A~I 分别为 b 值为 0、20、50、80、100、120、200、300、500 s/mm² 的图像；左心室心肌轮廓较清晰，心肌信号无衰减，心腔内血流抑制均匀，无伪影干扰

2.2 图像成功率的影响因素分析 成功组受检者心率低于失败组, 差异有统计学意义 ($t = -3.11, P = 0.003$)。2 组之间年龄、性别和 BMI 差异均无统计学意义, 见表 2。失败组中有 3 名受检者心率均 < 60 次/分。

成功组平均 TD (520.93 ± 67.10) ms, 与心率呈负相关性 ($r_s = -0.66, P < 0.01$), 见图 3。

成功组中, 中老年亚组 22 名, 青年亚组 32 名, 中老年亚组 TD [(554.55 ± 60.77) ms] 明显高于青年亚组 [(497.81 ± 62.00) ms; $t = -2.93, P = 0.003$]; BMI < 24 kg/m² 亚组 36 名, TD 时间 (519.71 ± 59.48) ms, 24 kg/m² \leq BMI < 28 kg/m² 亚组 18 名, TD 时间 (535.00 ± 64.28) ms; 不同 BMI 亚组间 TD 差异无统计学意义 ($t = 0.29, P = 0.39$)。成功组 TD/RR 间期为 (55.77 ± 5.51)%, 较稳定。

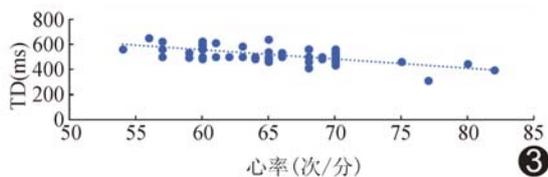


图 3 成功组 TD 与心率相关性散点图

3 讨论

目前国内学者逐渐在人类活体心脏上进行 IVIM 成像, 在无对比剂注入的情况下, IVIM 成像也可以定量评估心肌微循环的灌注状况^[9-10]。但 IVIM 成像的稳定性与成功率方面存在一定问题, 严重制约此项技术的广泛应用。本研究针对正常人群分析此项技术的影响因素 (包括年龄、性别、BMI、心率、TD、TD/RR 间期等), 以寻找较为稳定的调节参数。

本研究在左心室短轴位进行 3 层心脏 IVIM 成像, 以左心室的心肌层面为基准, 图像总成功率 63.97%, 较既往研究^[9] IVIM 心脏成像的总成功率 68.23% 有所降低, 提示随着纳入样本量的增加, IVIM 技术的稳定性有所下降。本研究中左心室各部位 IVIM 成像的成功率从高到低依次为中间部 66.67%, 基底部 64.65%, 心尖部 60.61%。心尖部成功率偏低的原因可能在于心尖部的心肌运动幅度较中间部和基底部稍大; 心尖部心肌距离肺组织较近, 受呼吸运动影响也略大; 心尖部心肌受腹部尤其是胃肠道蠕动等影响也略重。另外, 本组心脏 IVIM 成像失败的受检者中, 在 b 值较高的情况下 ($b = 500$ s/mm²), 左心室心肌往往可以显示清晰, 但在 b 值较低时心肌信号却显

示不清晰, 最终制约了整体图像成功率, 原因可能是在扫描期间受检者的心率或呼吸出现了波动, 或与脉冲和磁场射频的角度有关, 尤其屏气状态不稳定的情况下会严重影响心肌信号的衰减, 尚需深入研究。

心脏本身不间断的运动状态也影响心脏 IVIM 成像, 因此, 有效控制心脏节律和心率为成像的关键。心脏节律稳定是图像清晰、稳定的前提条件, 而心率也是制约 IVIM 成像的一个关键因素。既往研究^[11]发现, 当心率 < 70 次/分时, 心脏 IVIM 成像的成功率升高。本研究分析结果也显示, IVIM 成像成功组的平均心率为 (64.74 ± 5.99) 次/分, 显著低于 IVIM 成像失败组的平均心率 [(69.16 ± 8.04) 次/分, $P = 0.003$], 提示心率是 IVIM 成像成功与否的一个重要影响因素。同时, 本研究发现成功组和失败组间年龄、BMI 以及性别均无统计学差异, 提示年龄、性别和 BMI 不是影响 IVIM 成像成功与否的关键因素。

TD 时间作为心脏 IVIM 成像的重要调节参数^[6], 也会影响图像的成功率, TD 一般是在四腔心层面上, 人为选定心脏舒张中晚期时心肌运动幅度最小的时间节点, 即心脏相对静止期, 与心率密切相关。心率较慢时, IVIM 图像的成功率有所升高, 因 TD 时间较长, 则采集 IVIM 图像的时间较充足。本研究成功组中, 中老年亚组的 TD 时间显著高于青年亚组 ($P < 0.05$), 可能与中老年人人群的整体心率稍慢有关, 尽管心率慢, 心脏相对静止期长, 成像成功率高, 但总体的扫描时间也会延长, 进而延长患者的总体屏气时间。本研究 3 名失败组受检者心率均 < 60 次/分, 但超长的扫描时间影响了成像质量, 此时受检者屏气成败可能影响图像的成功与否。

尽管 TD 时间是影响心脏 IVIM 成像的重要调节参数, 但最终选择还需注意心率的变化情况。本研究发现心率与 TD 呈负相关 ($r_s = -0.66, P < 0.01$), 选用两者的比值将是一个相对稳定的参数, 即 TD 占 RR 间期 (心率) 的百分比。本研究成功组的 TD/RR 间期为 (55.77 ± 5.51)%, 即选择 RR 间期的 50%~60% 的时间节点 (心室舒张中晚期) 作为 TD 时间更稳定、合理, 成功率也更高。TD/RR 间期作为一个相对稳定的参数, 也更便于临床实践操作, 但还需更多临床实践加以验证。

总之, 对中国正常人群进行 IVIM 成像可行, 成功率的影响因素包括心率、TD 和 TD/RR 间期, 心率与 TD 呈负相关, TD/RR 间期是一个相对稳定的调节参数。

[参考文献]

[1] Winfield JM, Orton MR, Collins DJ, et al. Separation of type and grade in cervical tumours using non-mono-exponential models of diffusion-weighted MRI. *Eur Radiol*, 2017, 27(2):627-636.

[2] 江建芹, 蔡荣芳, 崔磊, 等. 肺癌体素内不相干运动参数值测量的短期可重复性及影响因素. *中国医学影像技术*, 2018, 34(4): 543-547.

[3] 赵江涛, 孟令平. 体素内不相干运动技术在肝脏疾病中的应用进展. *中国医学影像技术*, 2017, 33(7):1100-1103.

[4] Callot V, Bennett E, Decking UK, et al. In vivo study of microcirculation in canine myocardium using the IVIM method. *Magn Reson Med*, 2003, 50(3):531-540.

[5] Coelho-Filho OR, Rickers C, Kwong RY, et al. MR myocardial perfusion imaging. *Radiology*, 2013, 266(3):701-715.

[6] Delattre BM, Viallon M, Wei H, et al. In vivo cardiac diffusion-weighted magnetic resonance imaging: Quantification of normal

perfusion and diffusion coefficients with intravoxel incoherent motion imaging. *Invest Radiol*, 2012, 47(11): 662-670.

[7] Rapacchi S, Wen H, Viallon M, et al. Low b-value diffusion-weighted cardiac magnetic resonance imaging initial results in humans using an optimal time window imaging approach. *Invest Radiol*, 2011, 46(12):751-758.

[8] Gamper U, Boesiger P, Kozerke S. Diffusion imaging of the in vivo heart using spin echoes-considerations on bulk motion sensitivity. *Magn Reson Med*, 2007, 57(2):331-337.

[9] Mou A, Zhang C, Li M, et al. Evaluation of myocardial microcirculation using intravoxel incoherent motion imaging. *J Magn Reson Imaging*, 2017, 46(6):1818-1828.

[10] Xiang SF, Zhang XQ, Yang SJ, et al. STROBE—A preliminary investigation of IVIM-DWI in cardiac imaging. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(36):e11902.

[11] 李志伟, 袁思殊, 黄璐, 等. 心肌磁共振多 b 值 DWI 的初步探讨. *放射学实践*, 2013, 28(3):337-340.

《中国医学影像技术》杂志 2019 年征订启事

《中国医学影像技术》杂志于 1985 年创刊,是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊。刊号:ISSN 1003-3289, CN 11-1881/R。曾获百种中国杰出学术期刊,现为中国精品科技期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、荷兰《医学文摘》收录源期刊、英国《科学文摘》收录源期刊、俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊、WHO《西太平洋区医学索引》(WPRIM)来源期刊、《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina)收录期刊。

《中国医学影像技术》杂志是临床医学影像学与影像医学工程及理论研究相结合的综合性学术期刊,刊登放射、超声、核医学、介入治疗、影像技术学、医学物理与工程学等方面的基础研究及临床实验研究的最新成果。以论文质量优、刊载信息量大、发刊周期短为其特色,是我国影像医学研究探索和学术交流的良好平台。

《中国医学影像技术》为月刊,160 页,大 16 开本,彩色印刷。单价 26 元,全年定价 312 元。订户可随时向当地邮局订阅,邮发代号 82-509;亦可向编辑部直接订阅,免邮寄费(欢迎通过银行转账,附言栏请注明订阅杂志名称)。

联系电话:010-82547903 传真:010-82547903

E-mail: cjmit@mail.ioa.ac.cn 网址: www.cjmit.com

编辑部地址:北京市海淀区北四环西路 21 号大猷楼 502 室 邮编:100190

银行账户名:《中国医学影像技术》期刊社 账号:110907929010201

开户行:招商银行北京分行清华园支行 联系人:杜丽香

