

## Multi-parameter non-enhanced cardiac MRI for diagnosing pediatric myocarditis

ZHANG Xinlei<sup>1,2</sup>, ZHAO Xin<sup>1,2</sup>, ZHAO Baohan<sup>1,2</sup>, CHENG Meiyang<sup>1,2</sup>, FENG Zhanqi<sup>1,2</sup>, LU Lin<sup>1</sup>,  
LIAO Junjie<sup>1</sup>, CUI Shuhong<sup>1</sup>, YUE Xiang<sup>1</sup>, SHANG Honglei<sup>1,2\*</sup>

(1. Department of Medical Imaging, the Third Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China;  
2. Tianjian Laboratory of Advanced Biomedical Sciences, Zhengzhou 450001, China)

**[Abstract]** **Objective** To observe the value of multi-parameter non-enhanced cardiac MRI (CMRI) for diagnosing pediatric myocarditis. **Methods** Non-enhanced CMRI data of 32 children with myocarditis (myocarditis group) and 27 healthy children (control group) were retrospectively analyzed. Myocardial T1 and T2 values were obtained based on T1 mapping and T2 mapping, respectively, while myocardial strain parameters (global longitudinal strain [GLS], global radial strain [GRS] and global circumferential strain [GCS]) were obtained based on cine sequences. Myocardial T1, T2 values and myocardial strain parameters were compared between groups. CMRI parameters being statistically different between groups were used to build combined models using binary logistic regression method. The efficacy of each single CMRI parameter and the combined models for diagnosing pediatric myocarditis were evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curve and the area under the curve (AUC). **Results** Myocardial T1 values and T2 values in myocarditis group were higher, while GLS was lower than those in control group (all  $P < 0.05$ ). No significant difference of GRS and GCS was found between groups (both  $P > 0.05$ ). AUC of myocardial T1 value, T2 value and GLS for diagnosing pediatric myocarditis was 0.749, 0.794 and 0.763, respectively. Based on above parameters, T1+T2, T1+GLS, T2+GLS and T1+T2+GLS models were established, with AUC of 0.850, 0.869, 0.877 and 0.939, respectively. The AUC of T1+GLS model was higher than that of T1 value, of T1+T2+GLS model was higher than that of the other combined models and each single parameter ( $Z = 1.975 - 2.155$ , all  $P < 0.05$ ). No significant difference of AUC was found among other combined models and single parameters when compared pairwise (all  $P > 0.05$ ). **Conclusion** Multi-parameter non-enhanced CMRI could effectively diagnose pediatric myocarditis.

**[Keywords]** child; myocarditis; magnetic resonance imaging

**DOI:** 10.13929/j.issn.1003-3289.2026.01.002

## 多参数非增强心脏 MRI 诊断儿童心肌炎

张新磊<sup>1,2</sup>, 赵鑫<sup>1,2</sup>, 赵保涵<sup>1,2</sup>, 程美英<sup>1,2</sup>, 冯占起<sup>1,2</sup>, 陆林<sup>1</sup>, 廖俊杰<sup>1</sup>,  
崔书红<sup>1</sup>, 岳翔<sup>1</sup>, 尚红磊<sup>1,2\*</sup>

(1. 郑州大学第三附属医院医学影像科, 河南 郑州 450052; 2. 天健先进生物医学实验室, 河南 郑州 450001)

**[摘要]** **目的** 观察多参数非增强心脏 MRI (CMRI) 诊断儿童心肌炎的价值。 **方法** 回顾性分析 32 例临床诊断心肌炎患儿 (心肌炎组) 和 27 名健康儿童 (对照组) 的非增强 CMRI 资料, 基于 T1 mapping 及 T2 mapping 获得心肌 T1 及 T2 值, 基于电影序列获得心肌应变参数 [整体纵向应变 (GLS)、整体径向应变 (GRS) 和整体圆周应变 (GCS)]。对比组间心肌 T1、T2 值及心肌应变参数, 以二元 logistic 回归方法基于组间差异有统计学意义的 CMRI 参数构建联合模型, 绘制受试者

**[基金项目]** 河南省科技攻关项目 (252102311090)。

**[第一作者]** 张新磊 (1999—), 男, 河南新乡人, 在读硕士, 医师。研究方向: 小儿影像学诊断。E-mail: 723363224@qq.com

**[通信作者]** 尚红磊, 郑州大学第三附属医院医学影像科, 450052; 天健先进生物医学实验室, 450001。E-mail: 275069174@qq.com

**[收稿日期]** 2025-08-25 **[修回日期]** 2025-12-02

工作特征(ROC)曲线,计算曲线下面积(AUC),评估各单一 CMRI 参数及联合模型诊断儿童心肌炎的效能。**结果** 心肌炎组心肌 T1 值、T2 值高于而 GLS 低于对照组( $P$ 均 $<0.05$ );组间 GRS 及 GCS 差异均无统计学意义( $P$ 均 $>0.05$ )。以 T1 值、T2 值及 GLS 诊断儿童心肌炎的 AUC 分别为 0.749、0.794 及 0.763;基于上述参数分别建立的 T1+T2、T1+GLS、T2+GLS 及 T1+T2+GLS 联合模型的 AUC 分别为 0.850、0.869、0.877 及 0.939;其中,T1+GLS 模型的 AUC 高于 T1 值,T1+T2+GLS 模型的 AUC 高于其他 3 个联合模型及单一参数( $Z=1.975\sim 2.155$ , $P$ 均 $<0.05$ ),其他联合模型与单一参数间 AUC 两两比较差异均无统计学意义( $P$ 均 $>0.05$ )。**结论** 多参数非增强 CMRI 能有效诊断儿童心肌炎。

**[关键词]** 儿童;心肌炎;磁共振成像

**[中图分类号]** R541; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2026)01-0007-05

心肌炎指多种原因所致的心肌组织炎性病变,以心肌充血、水肿、坏死及纤维化为主要病理特征<sup>[1]</sup>。心内膜心肌活检为诊断心肌炎的金标准,但具有侵入性且阳性率并不高,使其临床应用受限<sup>[2]</sup>;临床常结合临床症状、体征、影像学检查及实验室指标等综合诊断心肌炎。多参数心脏 MRI(cardiac MRI, CMRI)可无创评估心功能和心肌组织特征,对心肌炎诊疗具有重要价值<sup>[3]</sup>。MRI 通常依据 2018 年版路易斯湖标准诊断心肌炎,增加了表征心肌组织特征的弛豫时间 mapping 定量参数,使影像学诊断心肌炎迈向精准化阶段;衍生于心肌特征追踪技术的应变参数,包括整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)、整体径向应变(global radial strain, GRS)及整体周向应变(global circumferential strain, GCS),能更好地反映心肌功能受损,具有良好应用前景<sup>[4-6]</sup>。目前针对儿童心肌炎的 MRI 研究尚少。本研究观察多参数非增强 CMRI 诊断儿童心肌炎的价值。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象** 回顾性纳入 2023 年 3 月—2024 年 10 月于郑州大学第三附属医院接受心脏 MR 检查的 32 例心肌炎患儿(心肌炎组)及性别、年龄与之相匹配的 27 名健康儿童(对照组)。心肌炎组男 17 例、女 15 例,年龄 3~13 岁、平均 $(7.0\pm 2.5)$ 岁;其中 13 例心肌酶指标(肌酸激酶同工酶、肌酸激酶同工酶质量、高敏肌钙蛋白 T 及氨基末端 B 型利钠肽原中至少 1 项)异常。对照组男 18 名、女 9 名,年龄 3~11 岁、平均 $(7.7\pm 2.4)$ 岁。纳入标准:①心肌炎组均符合《儿童心肌炎诊断建议(2018 年版)》<sup>[7]</sup> 诊断心肌炎标准;②对照组 CMRI 及其他相关检查未见明显异常;③CMRI 未见明显图像伪影。本研究经医院伦理委员会批准(2025-376-01),豁免受检者监护人知情同意。

**1.2 仪器与方法** 检查前 30 min 对年龄 $<8$ 岁受检者予盐酸右美托咪定注射液滴鼻( $5\sim 7\ \mu\text{g}/\text{kg}$  体重),并在检查过程持续静脉滴注咪达唑仑注射液 $0.03\sim 0.05\ \text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 以镇静。采用 GE Signa

Pioneer 3.0T MR 扫描仪及 16 通道体部线圈,在自由呼吸状态下以心电门控技术行心脏 MR 扫描。左心室短轴位 T2 mapping 参数:层数 5~8,TR 为 R-R 间隔时间的 2 倍,TE 11 ms,层厚 6 mm,层间距 2 mm,FOV 330 mm $\times$ 330 mm,矩阵 128 $\times$ 128;左心室短轴位电影序列参数:层数 5~8,TR 3.2 ms,TE 1.2 ms,层厚及层间距均同 T2 mapping,FOV 320 mm $\times$ 320 mm,矩阵 160 $\times$ 160;两腔心、四腔心及左心室流出道电影序列参数:层数均为 1,TR、TE、FOV 及矩阵均同左心室短轴位电影序列;左心室短轴位 T1 mapping 采用改良 Look-Locker 反转恢复序列,参数:TR 3.1 ms,TE 1.3 ms,FOV 320 mm $\times$ 320 mm,矩阵 128 $\times$ 128,层数、层厚及层间距均同 T2 mapping。

**1.3 分析图像** 由具有 5~10 年心脏影像学诊断经验的副主任医师和主治医师各 1 名独立分析图像,采用 CVI42 软件于左心室短轴位电影序列图像中勾画心、内外膜轮廓,软件自动计算并得出常规心功能参数,包括心脏指数、心输出量及左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)。选取心尖段、中间段和基底段的 T1 mapping 和 T2 mapping 图像,采用 CVI42 软件以人工智能自动识别结合手动调整方法获得心肌内、外膜 ROI(图 1),软件自动生成心肌 T1 和 T2 值。利用 CVI42 软件的心肌组织追踪技术分析左心室短轴、两腔心、四腔心和左心室流出道电影序列图像,以上述方法勾画左心室舒张末期心肌内、外膜轮廓(图 2),软件自动跟踪整个心动周期心肌内、外膜的运动,生成以下心肌应变曲线及参数<sup>[5,8]</sup>,包括 GLS、GRS 及 GCS。

**1.4 统计学分析** 采用 SPSS 26.0 和 GraphPad Prism 10.1.2 统计分析软件。以 Shapiro-Wilk 检验分析计量资料正态性,以  $\bar{x}\pm s$  表示符合正态分布者、以中位数(上下四分位数)表示不符合正态分布者,行  $t$  检验或 Mann-Whitney U 检验。采用频数表示计数资料,行  $\chi^2$  检验。采用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)评估观察者间所测 CMRI

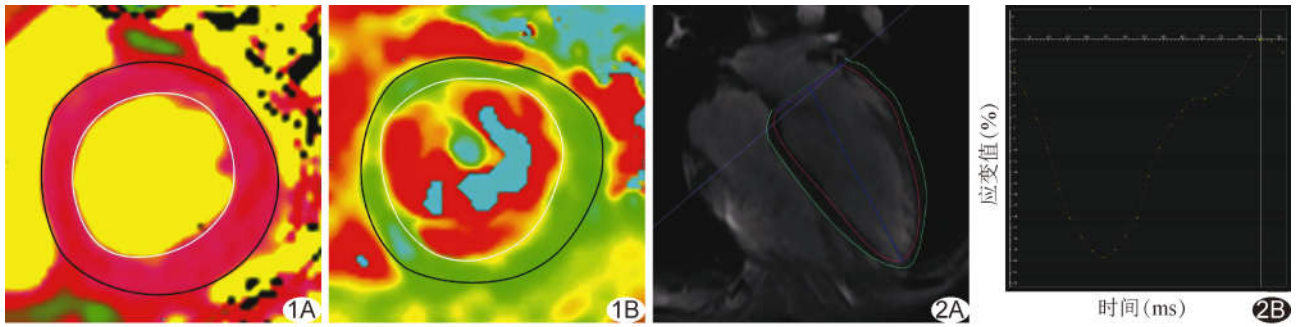


图 1 基于 T1 mapping(A)及 T2 mapping(B)图勾画心内、外膜示意图(白线代表心内膜,黑线代表心外膜) 图 2 于四腔心电影序列图像中勾画心肌内、外膜示意图(A,红色代表心内膜,绿线代表心外膜)并获得心肌 GLS 曲线(B)

定量参数及应变参数的一致性,以  $ICC \geq 0.75$  为一致性良好,取 2 名观察者所测结果的平均值进行分析。以二元 logistic 回归方法基于组间差异有统计学意义的 CMRI 参数构建联合模型,绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC),评估单一 CMRI 参数及联合模型诊断儿童心肌炎的效能,并以 DeLong 检验进行比较。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 一般资料及心功能参数 组间年龄、性别、心脏指数、心输出量及 LVEF 差异均无统计学意义( $P$  均  $> 0.05$ ),见表 1。

2.2 CMRI 参数 观察者间所测 T1 值、T2 值、GCS、GRS 及 GLS 的一致性均良好( $ICC$  为  $0.85 \sim 0.95$ )。

心肌炎组心肌 T1 值、T2 值均高于而 GLS 低于对照组( $P$  均  $< 0.05$ );组间 GRS 及 GCS 差异均无统计学意义( $P$  均  $> 0.05$ ),见表 2。

2.3 诊断效能 T1 值、T2 值及 GLS 诊断儿童心肌炎的 AUC 分别为  $0.749$ 、 $0.794$  及  $0.763$  ( $P$  均  $< 0.05$ ),其中 T1 值的敏感度达  $87.50\%$ ,T2 值的特异度达  $89.90\%$ ,见表 3 及图 3。基于上述参数分别建立联合模型 T1+T2、T1+GLS、T2+GLS 及 T1+T2+GLS,其 AUC 分别为  $0.850$ 、 $0.869$ 、 $0.877$  及  $0.939$  ( $P$  均  $< 0.001$ ),其中 T1+GLS 模型的 AUC 高于 T1 值,T1+T2+GLS 模型的 AUC 高于其他 3 个联合模型及各单一参数( $Z=1.975 \sim 2.155$ , $P$  均  $< 0.05$ );其他联合模型与单一参数间两两比较 AUC 差异均无统计学意义( $P$  均  $> 0.05$ )。见表 3 及图 3。

表 1 32 例心肌炎患儿与 27 名对照组儿童一般资料及心功能参数比较

| 组别                   | 年龄(岁)   | 性别(例/名) |    | 心脏指数[L/(min·m <sup>2</sup> )] | 心输出量(L/min)     | LVEF(%)            |
|----------------------|---------|---------|----|-------------------------------|-----------------|--------------------|
|                      |         | 男       | 女  |                               |                 |                    |
| 心肌炎组(n=32)           | 7.0±2.5 | 17      | 15 | 3.08(2.59,3.57)               | 2.99(2.26,3.71) | 59.82(56.73,62.80) |
| 对照组(n=27)            | 7.7±2.4 | 18      | 9  | 3.29±0.78                     | 3.16±0.99       | 60.64±7.09         |
| t/Z/χ <sup>2</sup> 值 | -1.003  | 1.113   |    | 0.766                         | 0.456           | 1.103              |
| P 值                  | 0.320   | 0.291   |    | 0.438                         | 0.648           | 0.270              |

表 2 32 例心肌炎患儿与 27 名对照组儿童 CMRI 定量参数及应变参数比较

| 组别         | T1 值(ms)                    | T2 值(ms)   | GLS(%)                | GRS(%)             | GCS(%)                |
|------------|-----------------------------|------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| 心肌炎组(n=32) | 1 219.50(1 198.25,1 244.00) | 55.84±2.94 | -14.40(-16.03,-13.33) | 33.13±7.03         | -18.64±2.41           |
| 对照组(n=27)  | 1 169.00(1 151.00,1 208.00) | 52.78±2.19 | -16.42±2.25           | 34.90(32.10,40.50) | -19.50(-21.60,-18.40) |
| t/Z 值      | 3.272                       | 4.469      | -3.463                | -1.621             | 1.872                 |
| P 值        | 0.001                       | <0.001     | <0.001                | 0.105              | 0.061                 |

表 3 单一 CMRI 参数及联合模型诊断儿童心肌炎效能

| 参数或模型        | 敏感度(%) | 特异度(%) | 截断值         | AUC(95%CI)         |
|--------------|--------|--------|-------------|--------------------|
| T1 值         | 87.50  | 63.00  | 1 186.50 ms | 0.749(0.615,0.883) |
| T2 值         | 62.50  | 89.90  | 55.50 ms    | 0.794(0.680,0.908) |
| GLS          | 65.60  | 81.50  | -14.95%     | 0.763(0.642,0.884) |
| T1+T2 模型     | 78.10  | 81.50  | -           | 0.850(0.753,0.946) |
| T1+GLS 模型    | 90.60  | 74.10  | -           | 0.869(0.773,0.966) |
| T2+GLS 模型    | 84.40  | 85.20  | -           | 0.877(0.789,0.965) |
| T1+T2+GLS 模型 | 93.80  | 81.50  | -           | 0.939(0.871,1.000) |

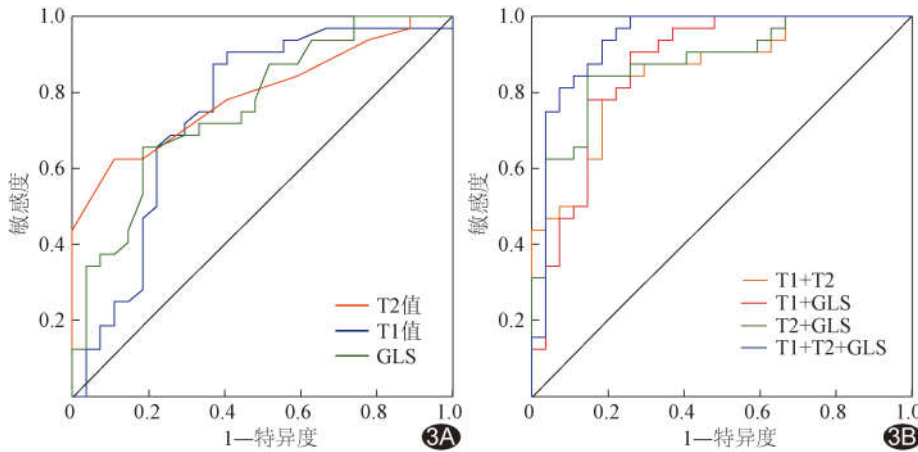


图 3 单一 CMRI 参数(A)及联合模型(B)诊断儿童心肌炎 ROC 曲线图

### 3 讨论

儿童心肌炎的主要病理学特征为炎症反应致细胞通透性增大和血管扩张,进而出现心肌组织水肿<sup>[9]</sup>。心肌组织水肿在 CMRI 中表现为 T1、T2 值延长,尤其 T2 值。T1 mapping、T2 mapping 及电影序列均为心脏 MR 非增强序列,无需对比剂即可测量心肌 T1 及 T2 弛豫时间<sup>[10]</sup>。本研究心肌炎组 T1 值和 T2 值均高于对照组,二者诊断儿童心肌炎的 AUC 分别为 0.749 和 0.794,以 T1 值的敏感度较高,达 87.50%,可能 T1 值对细胞内、外游离水含量的变化敏感<sup>[11]</sup>,儿童急性心肌炎引发的血管扩张、充血和细胞间隙增大可延长 T1 值;而其特异度较低的可能原因在于心肌活动性炎症及纤维化区域均可出现 T1 弛豫时间延长,降低了其对于活动性炎症的特异性。T2 mapping 可显示儿童心肌炎所致心肌水肿、量化心肌水肿程度。既往研究<sup>[12]</sup>显示,T2 mapping 对急性心肌炎儿童心肌轻度水肿的提示作用早于初始 T1 值改变。

心功能障碍是儿童心肌炎的特征性表现之一<sup>[11]</sup>。心肌结构和功能的亚临床改变于儿童心肌炎病程早期即可发生,及时识别此类亚临床变化对于早期诊断和准确干预至关重要<sup>[13]</sup>。心肌应变参数能更好地反映心脏收缩功能变化。左心室心肌收缩和舒张是涉及所有 3 个心肌层的复杂生理过程,其协同作用能确保血流动力学稳定、实现左心室收缩功能<sup>[13]</sup>。本研究组间 GLS 差异有统计学意义,与既往研究<sup>[14]</sup>相符;主要原因可能是心内膜下心肌纤维从心尖到心底呈纵向排列,左心室心肌纤维从心外膜到心内膜由左手螺旋过渡到右手螺旋<sup>[15]</sup>,而儿童心肌炎主要累及心外膜,该区域力学变化最先导致 GLS 异常。本研究组间 GRS 及 GCS 差异虽无统计学意义,但二者均呈下降趋势,可能与本研究纳入急性心肌炎未累及心肌中层,或者

样本量较小有关。

本研究结果显示,T1 + T2 模型诊断儿童心肌炎的效能与单一 T1 值或 T2 值相当,其 AUC 为 0.850;提示对于无法接受增强扫描的儿童,联合应用 T1 mapping 与 T2 mapping 可获得良好诊断效果。T1 + GLS 模型的 AUC 高于 T1 值,T1 + T2 + GLS 模型的 AUC 高于其他 3 个联合模型及各单一参数,表明联合 GLS 有利于提高诊断儿童心

肌炎效能;而非增强 T1 mapping、T2 mapping 定量参数对儿童心肌炎具有良好诊断效能,联合心肌应变参数可提高诊断效能,为临床诊断儿童心肌炎提供新的 CMR 扫描方案。

综上,多参数非增强 CMRI 能有效诊断儿童心肌炎。但本研究为单中心、小样本观察,缺乏病理对照;有待未来扩大样本量、收集随访资料进一步进行纵向研究。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:张新磊研究实施、数据分析、撰写和修改文章;赵鑫、程美英和陆林指导;赵保涵图像处理、数据分析;冯占起经费支持;廖俊杰、崔书红和岳翔图像处理;尚红磊指导、审阅文章。

### [参考文献]

- [1] BENZ D C, GRÄNI C, ANTIOCHOS P, et al. Cardiac magnetic resonance biomarkers as surrogate endpoints in cardiovascular trials for myocardial diseases[J]. Eur Heart J, 2023, 44 (45): 4738-4747.
- [2] AMMIRATI E, FRIGERIO M, ADLER E D, et al. Management of acute myocarditis and chronic inflammatory cardiomyopathy: An expert consensus document[J]. Circ Heart Fail, 2020, 13(11):e007405.
- [3] EICHHORN C, GREULICH S, BUCCIARELLI-DUCCI C, et al. Multiparametric cardiovascular magnetic resonance approach in diagnosing, monitoring, and prognostication of myocarditis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(7):1325-1338.
- [4] CHEN X, HU H, PAN J, et al. Performance of cardiovascular magnetic resonance strain in patients with acute myocarditis[J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2020, 10(4):725-737.
- [5] FISCHER K, LINDER O L, ERNE S A, et al. Reproducibility and its confounders of CMR feature tracking myocardial strain analysis in patients with suspected myocarditis[J]. Eur Radiol, 2022, 32(5):3436-3446.

- [6] XU J, YANG W, ZHAO S, et al. State-of-the-art myocardial strain by CMR feature tracking: Clinical applications and future perspectives[J]. Eur Radiol, 2022, 32(8):5424-5435.
- [7] 中华医学会儿科学分会心血管学组, 中华医学会儿科学分会心血管学组心肌炎协作组, 中华儿科杂志编辑委员会, 等. 儿童心肌炎诊断建议(2018 年版)[J]. 中华儿科杂志, 2019, 57(2):87-89.
- [8] SOEIRO A M, BOSSA A S, CÉSAR M C, et al. The association of myocardial strain with cardiac magnetic resonance and clinical outcomes in patients with acute myocarditis[J]. Front Cardiovasc Med, 2023, 10:1121083.
- [9] 袁新宇. 磁共振检查在儿童心肌炎诊疗中的应用价值[J]. 中国实用儿科杂志, 2020, 35(5):343-348.
- [10] 张丁, 赵鑫, 尚红磊, 等. 心脏 MRI 诊断儿童急性心肌炎[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(12):1823-1827.
- [11] 马帅, 袁新宇. 2018 年版《非缺血性心肌炎症心血管磁共振检查专家共识》解读[J]. 中国实用儿科杂志, 2020, 35(5):329-333.
- [12] CORNICELLI M D, RIGSBY C K, RYCHLIK K, et al. Diagnostic performance of cardiovascular magnetic resonance native T1 and T2 mapping in pediatric patients with acute myocarditis[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2019, 21(1):40.
- [13] ZLIBUT A, COJOCARU C, ONCIUL S, et al. Cardiac magnetic resonance imaging in appraising myocardial strain and biomechanics: A current overview [J]. Diagnostics (Basel), 2023, 13(3):553.
- [14] DOERNER J, BUNCK A C, MICHELS G, et al. Incremental value of cardiovascular magnetic resonance feature tracking derived atrial and ventricular strain parameters in a comprehensive approach for the diagnosis of acute myocarditis[J]. Eur J Radiol, 2018, 104:120-128.
- [15] MEINDL C, PAULUS M, POSCHENRIEDER F, et al. Patients with acute myocarditis and preserved systolic left ventricular function: Comparison of global and regional longitudinal strain imaging by echocardiography with quantification of late gadolinium enhancement by CMR[J]. Clin Res Cardiol, 2021, 110(11):1792-1800.

## 《中国医学影像技术》被数据库收录及获奖情况

《中国医学影像技术》杂志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, 被数据库收录及获奖情况如下:

中国科技期刊卓越行动计划二期中文单刊项目  
 首都科技期刊卓越行动计划中文单刊  
 百种中国杰出学术期刊(2011、2012 年)  
 中国精品科技期刊(F5000 项目来源期刊)  
 CAJ-CD 规范获奖期刊  
 中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊)  
 《中文核心期刊要目总览》收录期刊  
 《中国学术期刊影响因子年报》统计源期刊  
 科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告收录期刊  
 临床医学领域医学影像学、声学领域高质量科技期刊分级目录收录期刊  
 Scopus 数据库收录期刊  
 荷兰《医学文摘》来源期刊  
 WHO《西太平洋地区医学索引》(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