

集成 MRI 技术在肿瘤影像诊断中的应用

杨凡, 林蒙

【摘要】 集成 MRI 是一种新的定量成像技术,它可以在单次采集中获得多种对比加权图像,不仅减少了整体扫描时间,也能测量组织的弛豫时间及质子密度,进而用于组织定量分析。近年来集成 MRI 主要用于中枢神经系统,可以进行脑组织分割及髓鞘体积测量,但其在全身肿瘤疾病中的应用也展现出了良好的应用前景。本文将对集成 MRI 技术的特点及其在肿瘤疾病中的应用进行综述。

【关键词】 集成 MRI; 磁共振成像; 肿瘤; 中枢神经系统

【中图分类号】 R739.4; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)01-0103-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.01.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



集成磁共振成像技术是基于多回波多延迟采集方法,对每一层信号用不同的回波时间和延迟饱和以交错的方式进行采集,是一种新的定量 MRI 技术。与其它多模态 MRI 技术相比,其可以通过一次图像采集产生多个定量序列和常规加权序列,并且可以准确获得定量纵向弛豫 T_1 ($1/R_1$) 值、横向弛豫 T_2 ($1/R_2$) 值及质子密度(PD)值。集成 MRI 技术具有稳定性好、整体扫描时间短的优点,目前主要应用于中枢神经系统疾病的诊断和评价中。近年来,随着集成 MRI 技术的不断优化和研究的进一步深入,图像信噪比及空间分辨率明显提高,使得集成 MRI 技术的应用范围扩大到了非中枢神经系统。目前,集成 MRI 技术在肿瘤相关领域中的研究日渐增多,本文将对集成 MRI 技术的特点及其在全身肿瘤中的应用进行综述。

集成 MRI 技术的基本原理及特点

1. 集成 MRI 技术的基本原理

目前临床上使用的集成 MRI 采集技术包括多动态多回波序列(multidynamic multiecho, MDME)、稳定进动的分段反转恢复快速成像序列(inversion recovery-prepared true fast imaging with steady-state precession, IR-TrueFISP)、磁共振指纹序列(magnetic resonance fingerprinting, MRF)、顺序采集梯度回波序列(strategically acquired gradient echo, STAGE)及多路径多回波序列(multipathway multiecho, MPME)等^[1]。其中常用的 MDME 技术采集过程分为两个阶段:在第一个阶段(饱和),在层面 m 上施加一个 120° 饱和脉冲,随之将其损毁;在第二个阶段(采集),使用

90° 激发脉冲 a 和多个 180° 重聚焦脉冲为层面 n 提供有效的饱和延迟时间,并进行采集。通过层面 m 和 n 的组合,可以获得不同 R_1 和 R_2 弛豫的图像矩阵^[2]。最后选择适当的 TE 和 TR,能够生成 T_1 WI、 T_2 WI 和质子加权(proton density weighted image, PDWI)图像,增加 TI 可生成反转恢复图像,如短 TI 反转恢复脉冲序列(short T1 inversion recovery, STIR)和快速小角度激发反转恢复序列(fluid attenuated inversion recovery, FLAIR)。

2. 集成 MRI 技术的特点

集成 MRI 技术可定量评估及可重复性良好:集成 MRI 技术可以定量测量组织的 T_1 、 T_2 弛豫值及质子密度值(proton density, PD),用于定量组织评估和治疗疗效监测^[3]。在单次扫描结束后,集成 MRI 技术会生成 R_1 、 R_2 图及 PD 图,凭借 R_1 、 R_2 图可生成 T_1 、 T_2 -mapping,之后再自动重建出各种对比加权图像^[4]。

Krauss 等^[5]应用集成 MRI 技术对健康志愿者使用两种不同的头部线圈进行扫描,采集两次图像中脑灰质、脑白质及脑脊液的 T_1 、 T_2 及 PD 值,结果发现两次扫描之间组织弛豫值差异无统计学意义。此外,集成 MRI 技术的稳定性和可重复性也已经在乳腺、膝关节及脊柱等部位得到了验证^[6-8]。

集成 MRI 技术扫描时间短及对比度良好:集成 MRI 技术可以在 6 min 内重建 10 种对比加权图像^[4],针对不同患者及临床需求,可以回顾性地个性化调整参数,提高病灶的对比度。对脑转移瘤的相关研究结果显示对比增强的集成 T1IR 图像的病灶-脑白质对比度和信噪比高于对比增强的常规 T1IR 图像^[9]。此外,对比增强的集成 T1IR 图像不仅可以显示更多的脑转移病灶,还可以显示常规增强图像中被血流相关伪影隐藏的转移灶,如乙状窦周围的转移灶及邻近浅

作者单位: 100021 北京,国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院影像诊断科

作者简介: 杨凡(1997—),男,四川邛崃人,硕士研究生,主要从事头颈部肿瘤影像诊断工作。

通讯作者: 林蒙, E-mail: lm152@139.com

表血管的脑皮质转移灶等^[9]。

Betts 等^[10]采用集成 MRI 技术评估 30 例儿童患者的中枢神经系统,发现集成 MRI 图像可以替代常规 T_1 、 T_2 图像,且集成 MRI 技术节省了约一半的扫描时间,有助于减少儿童因麻醉产生的风险和增加每日患者检查量^[4]。此外,更多研究表明集成 MR 有望用于痴呆、精神异常及孕妇等不能耐受长时间检查的患者^[3]。

集成 MRI 技术应用度较低及图像质量良好:有研究发现集成 MRI 图像的组内相关系数低于常规 MRI 图像(分别为 0.858 和 0.950),原因可能是观察者对集成 MRI 图像生疏^[11]。Blystad 等^[3]认为虽然集成 MRI 图像质量低于常规图像,但其诊断准确性与常规扫描图像近似一致。另一项研究认为集成 T_2 FLAIR 图像更容易受到流动伪影和白噪声伪影的影响^[12],虽然不影响整体集成 MRI 图像的诊断准确性,但在临床工作中可能需要常规 T_2 FLAIR 图像来辅助。未来随着扫描技术的不断优化以及集成 MRI 的广泛应用,集成 MRI 技术会更加便利。

集成 MRI 技术在肿瘤性疾病中的应用

肿瘤的发生、发展、浸润和转移都与其内在结构变化密切相关,组织结构变化可引起 T_1 、 T_2 值的改变。对肿瘤组织弛豫特性进行定量分析有助于良恶性病变的鉴别、恶性肿瘤的分级及评估恶性肿瘤的浸润情况等。集成 MRI 技术能够定量分析肿瘤组织弛豫特性,为临床诊断、治疗等方面的研究提供了更多信息。

1. 在肿瘤诊断方面的应用

不同病理类型及恶性程度肿瘤的弛豫特性存在不同程度差异,定量弛豫值的高低受到组织构成的影响,如大分子浓度、水合状态和组织含水量等^[13,14]。与良性肿瘤细胞相比,恶性肿瘤细胞体积较大,细胞质及细胞间质丰富,且常有淋巴细胞和浆细胞浸润,这些微观结构改变会导致定量 T_2 值减低^[6,15]。

对乳腺肿块的相关研究结果显示,恶性乳腺肿块的定量 T_1 值高于良性肿块[分别为 (1611.61 ± 215.88) ms 和 (1242.86 ± 139.27) ms],而恶性肿块的定量 T_2 值低于良性肿块[分别为 (80.93 ± 7.51) ms 和 (91.20 ± 6.36) ms];以定量 T_1 值 = 1345.00 ms 作为阈值时,诊断乳腺恶性肿瘤的 ROC 曲线下面积为 0.931^[16]。此外,当联合定量 T_1 、 T_2 值作为鉴别参数时,ROC 曲线下面积提高到了 0.978, Gao 等^[17]研究发现联合定量 T_2 、PD 值和 ADC 值在鉴别乳腺肿块良恶性方面比 BI-RADS 分级系统更高的诊断特异度(分别为 87.50% 和 75.00%)和阳性预测值(分别为 94.50% 和 89.80%)。

鼻咽癌的定量 T_1 、 T_2 及 PD 值明显低于鼻咽良性增生组织^[18],当以定量 T_2 值 = 88.50 ms 作为阈值时,诊断鼻咽癌的 ROC 曲线下面积为 0.894,诊断敏感度、特异度分别为 90.00%、80.00%。Shi 等^[19]研究发现甲状腺乳头状癌(papillary thyroid carcinoma, PTC)的定量 T_2 值 $[(21.73 \pm 2.09)$ ms]低于甲状腺良性结节 $[(28.78 \pm 5.02)$ ms],其可能原因是定量 T_2 值的降低与肿瘤内铁质沉积有关。

有关子宫肿块良恶性鉴别的研究结果显示子宫肉瘤的定量 T_2 值更高[分别为 (93.15 ± 7.14) ms 和 (66.78 ± 10.94) ms],当以 T_2 值 = 82.50 ms 作为阈值时,诊断子宫肉瘤的 ROC 曲线下面积为 0.974,诊断敏感度、特异度分别为 95.00%、92.00%,当联合增强 MRI 和后处理得到的定量 T_2 参数(T_2 WI 上的肿瘤-子宫肌层对比率)进行鉴别诊断时,诊断敏感度达到 100%,这避免了恶性肿瘤的漏诊^[20]。

Carter 等^[21]在 37 例卵巢肿块患者中勾画了 109 个肿块 ROI,根据 ROI 中囊实性成分比例主观地分为 81 个囊性 ROI 和 28 个实性 ROI。当只选取实性 ROI 作为统计对象时,恶性肿瘤的 T_2 值高于良性肿块(分别为 128.9 ms 和 81.92 ms),而将全部 ROI 作为统计对象时,恶性卵巢肿块的 T_2 值低于良性肿块(分别为 271.38 ms 和 452.85 ms),研究者分析可能原因是恶性卵巢肿瘤常表现为囊实性不均质肿块,囊性均质肿块常提示良性,而囊性区域通常会延长 T_2 值。此外,实性卵巢肿块的 T_2 直方图分布特性的组合(T_2 平均值、标准偏差、偏度和峰度)可为良恶性鉴别提供依据,其 ROC 曲线下面积为 0.900^[21]。

对前列腺癌的相关研究结果显示,当肿块位于移行带时,前列腺癌组织的定量 T_1 、 T_2 值低于间质增生和腺体增生组织;当肿块位于外周带时,前列腺癌组织的定量 T_1 、 T_2 值低于非癌性增生组织,当以定量 T_1 值 = 1248.35 ms 作为阈值时,诊断外周带前列腺癌的 ROC 曲线下面积为 0.827,诊断敏感度、特异度分别为 91.30%、66.67%^[22]。Cui 等^[22]认为定量 T_1 、 T_2 值有助于鉴别前列腺结节的良恶性,但其诊断价值低于 ADC 值;而 Mai 等^[23]研究认为定量 T_2 值的诊断价值更高,两项研究结论的差异可能是 b 值大小不同(分别为 50/1400 和 50/1000,单位为 s/mm²)导致的。

2. 在肿瘤分级方面的应用

肿瘤分级是根据显微镜下肿瘤细胞外观进行的分类系统,有助于预测肿瘤生物学行为。高级别肿瘤分化程度低,侵袭性高,其内部结构具有更高的异质性,这些不同导致了组织弛豫值发生改变^[6]。

基于肾透明细胞癌的相关研究结果显示高级别肾癌的定量 T_2 值低于低级别肾癌[分别为 $(97.00 \pm$

12.00) ms 和 (132.00 ± 22.00) ms], 当以定量 T_2 值 = 110.00 ms 作为阈值时, ROC 曲线下面积为 0.930^[24], 其可能原因是肿瘤内部存在密集的增殖细胞、间质网状蛋白沉积和不规则的肿瘤脉管系统^[25,26]。

Cai 等^[27]研究了集成 MRI 在膀胱癌分级中的应用, 结果显示高级别膀胱癌的定量 T_1 、 T_2 及 PD 值明显低于低级别膀胱癌[两者 T_2 值分别为 (106.00 ± 19.00) ms 和 (124.00 ± 23.00) ms], 以 T_2 值 = 109.00 ms 作为阈值时, ROC 曲线下面积为 0.723, 诊断敏感度、特异度分别为 77.80%、66.70%。Wang 等^[28]也发现高级别膀胱癌的定量 R2 值高于低级别膀胱癌[分别为 (20.96 ± 7.75) s⁻¹ 和 (16.55 ± 5.54) s⁻¹], 两者之间差异有统计学意义, 可能原因是高级别肿瘤生长迅速常伴坏死, 细胞内大分子物质被释放到细胞间隙等^[6,29]。Cai 等^[27]研究发现虽然 ADC 值的诊断价值高于集成 MRI, 但由于集成 MRI 稳定性好及扫描时间短, 在膀胱肿瘤相关应用中有很高的应用价值。

基于子宫颈癌的相关研究结果显示低分化子宫颈癌的定量 T_2 值低于高分化宫颈癌[分别为 (83.80 ± 9.50) ms 和 (92.80 ± 9.50) ms], 差异有统计学意义, 当以定量 T_2 值 = 89.20 ms 作为阈值时, ROC 曲线下面积为 0.768, 且其诊断效能高于 ADC 值^[30]。

相关研究发现集成 MRI 技术有助于前列腺癌的危险分层, 其中高级别(Gleason 评分 ≥ 7)前列腺癌的定量 T_2 、PD 值低于低级别(Gleason 评分 ≤ 6)前列腺癌[T_2 值分别为 (80.9 ± 5.48) ms 和 (87.66 ± 5.89) ms, PD 值分别为 (73.79 ± 4.60) ms 和 (79.47 ± 7.29) ms], 两者之间差异均有统计学意义^[22]。

3. 在肿瘤微浸润方面的应用

淋巴血管间隙侵犯(lymphovascular space invasion, LVSI)被定义为淋巴管/血管内存在肿瘤细胞, 是影响子宫颈癌预后的一个主要因素^[31]。Li 等^[30]研究发现定量 T_2 值在鉴别有无淋巴血管间隙侵犯方面优于 ADC 值, 其中无淋巴血管间隙侵犯子宫颈癌的定量 T_2 值高于有淋巴血管间隙侵犯的子宫颈癌[分别为 (93.90 ± 9.10) ms 和 (82.20 ± 8.20) ms], 当以定量 T_2 值 = 88.10 ms 作为阈值时, 诊断子宫颈癌淋巴血管侵犯的 ROC 曲线下面积为 0.852, 诊断敏感度、特异度分别为 83.70%、85.00%。

脑组织恶性胶质瘤具有渗透性, 周围常伴组织水肿, 故临床上难以鉴别肿瘤浸润与瘤周组织水肿。有学者发现比较增强前后 T_1 缩短程度可以反映肿瘤的微小浸润^[32]。Blystad 等^[33]研究了 20 例恶性脑胶质瘤患者的瘤周 R1 值特点, 结果显示增强前后瘤周区域 R1 差值高于同层面对侧正常脑实质[分别为 (0.047 ± 0.029) s⁻¹ 和 (0.032 ± 0.029) s⁻¹], 差异有统

计学意义, 可能因为肿瘤微小浸润伴新生血管, 导致 R1 值发生变化, 所以 R1 值的差异可能反映了难以在常规增强图像显示的肿瘤浸润病变, 与既往研究结果类似^[34,35]。

4. 在肿瘤分子分型方面的应用

由集成 MRI 技术获得的定量 T_1 、 T_2 值有助于鉴别乳腺癌的分子标记及分子亚型^[36]。Matsuda 等^[37]研究发现三阴性乳腺癌的定量 T_2 值比其它类型乳腺癌更高[分别为 (96.44 ± 17.81) ms 和 (78.94 ± 11.83) ms], 以定量 T_2 值 = 83.50 ms 作为截点时, ROC 曲线下面积为 0.780, 诊断敏感度为 93.80%, 可能因为三阴性乳腺癌比其它类型乳腺癌有更高水平的血管内皮生长因子以促进血管生成, 进而提高了定量 T_2 值^[36,38]。Ki-67 表达水平是乳腺癌中一个有价值的预后因子, 相关研究发现增强后 T_1 值的标准偏差在乳腺癌 Ki-67 高表达组($Ki-67 \geq 14\%$)与低表达组($Ki-67 < 14\%$)之间差异有统计学意义(分别为 135.07 ± 55.37 和 60.35 ± 36.26 , $P < 0.05$), 当以 98.5 作为阈值时, ROC 曲线下面积为 0.885, 其诊断敏感度、特异度及准确度分别为 77.80%、87.00% 及 82.00%^[39]。

其它

集成 MRI 技术可以提供更高的软组织分辨率, 在以 CT 图像为基础的靶区勾画中展现了很好的应用价值。部分研究借助双金字塔网络对男性盆腔 CT 图像开发了一种集成 MRI 辅助的多器官分割方法^[40,41], 通过双金字塔网络, 结合 CT 图像提供的骨结构信息和 CT 辅助的集成 MRI 图像提供的软组织信息, 可以同时分割盆腔多种器官组织, 有助于简便目前放疗计划制定的工作流程。Dai 等^[42]研究发现集成 MRI 技术辅助的深度学习方法在头颈部肿瘤危及器官的勾画中优势明显, 其可以快速准确勾画危及器官, 有助于头颈部肿瘤放疗计划的制定。

集成 MRI 是一种新的图像采集和分析方法, 其可以定量测量组织 T_1 、 T_2 及 PD 值。在单次扫描中, 集成 MRI 可以重建多种对比加权图像, 提高了扫描灵活性。目前, 集成 MRI 技术在肿瘤中的应用主要是肿瘤诊断、肿瘤分化、肿瘤微浸润及肿瘤分子分型等方面, 但其具有稳定性高、可重复性好、扫描简便等优势, 随着 MRI 技术的快速发展和研究的进一步深入, 集成 MRI 技术在肿瘤相关领域中的应用会更加开阔。

参考文献:

- [1] Ji S, Yang D, Lee J, et al. Synthetic MRI: technologies and applications in neuroradiology[J]. J Magn Reson Imaging, 2020, 55(4): 1013-1025.

- [2] Hagiwara A, Warntjes M, Hori M, et al. SyMRI of the brain: rapid quantification of relaxation rates and proton density, with synthetic MRI, automatic brain segmentation, and myelin measurement [J]. *Invest Radiol*, 2017, 52(10): 647-657.
- [3] Blystad I, Warntjes JB, Smedby O, et al. Synthetic MRI of the brain in a clinical setting [J]. *Acta Radiol*, 2012, 53(10): 1158-1163.
- [4] 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.
- [5] Krauss W, Gunnarsson M, Andersson T, et al. Accuracy and reproducibility of a quantitative magnetic resonance imaging method for concurrent measurements of tissue relaxation times and proton density [J]. *Magn Reson Imaging*, 2015, 33(5): 584-591.
- [6] Jung Y, Gho SM, Back SN, et al. The feasibility of synthetic MRI in breast cancer patients: comparison of T_2 relaxation time with multiecho spin echo T_2 -mapping method [J]. *Br J Radiol*, 2018, 92(1093): 20180479.
- [7] Drake-Perez M, Delattre BMA, Boto J, et al. Normal values of magnetic relaxation parameters of spine components with the synthetic MRI sequence [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2018, 39(4): 788-795.
- [8] Kumar NM, Fritz B, Stern SE, et al. Synthetic MRI of the knee: phantom validation and comparison with conventional MRI [J]. *Radiology*, 2018, 289(2): 465-477.
- [9] Hagiwara A, Hori M, Suzuki M, et al. Contrast-enhanced synthetic MRI for the detection of brain metastases [J]. *Acta Radiol Open*, 2016, 5(2): 2058460115626757.
- [10] Betts AM, Leach JL, Jones BV, et al. Brain imaging with synthetic MR in children: clinical quality assessment [J]. *Neuroradiology*, 2016, 58(10): 1017-1026.
- [11] Hagiwara A, Hori M, Yokoyama K, et al. Synthetic MRI in the detection of multiple sclerosis plaques [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38(2): 257-263.
- [12] Tanenbaum LN, Tsiouris AJ, Johnson AN, et al. Synthetic MRI for clinical neuroimaging: results of the magnetic resonance image compilation (MAGiC) prospective, multicenter, multireader trial [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38(6): 1103-1110.
- [13] Ding Y, Rao SX, Chen C, et al. Assessing liver function in patients with HBV-related HCC: a comparison of T_1 -mapping on Gd-EOB-DTPA-enhanced MR imaging with DWI [J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(5): 1392-1398.
- [14] Fernandes JL, Rochitte CE. T_1 -mapping: technique and applications [J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2015, 23(1): 25-34.
- [15] Liu L, Yin B, Shek K, et al. Role of quantitative analysis of T_2 relaxation time in differentiating benign from malignant breast lesions [J]. *J Int Med Res*, 2018, 46(5): 1928-1935.
- [16] Meng T, He N, He H, et al. The diagnostic performance of quantitative mapping in breast cancer patients: a preliminary study using synthetic MRI [J]. *Cancer Imaging*, 2020, 20(1): 88.
- [17] Gao W, Zhang S, Guo J, et al. Investigation of synthetic relaxometry and diffusion measures in the differentiation of benign and malignant breast lesions as compared to BI-RADS [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2021, 53(4): 1118-1127.
- [18] Meng T, He H, Liu H, et al. Investigation of the feasibility of synthetic MRI in the differential diagnosis of non-keratinising nasopharyngeal carcinoma and benign hyperplasia using different contoured methods for delineation of the region of interest [J]. *Clin Radiol*, 2021, 76(3): 238 e9-e15.
- [19] Shi R, Yao Q, Wu L, et al. T_2^* -mapping at 3.0T MRI for differentiation of papillary thyroid carcinoma from benign thyroid nodules [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2016, 43(4): 956-961.
- [20] Malek M, Rahmani M, Seyyed Ebrahimi SM, et al. Investigating the diagnostic value of quantitative parameters based on T_2 -weighted and contrast-enhanced MRI with psoas muscle and outer myometrium as internal references for differentiating uterine sarcomas from leiomyomas at 3T MRI [J]. *Cancer Imaging*, 2019, 19(1): 20.
- [21] Carter JS, Koopmeiners JS, Kuehn-Hajder JE, et al. Quantitative multiparametric MRI of ovarian cancer [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2013, 38(6): 1501-1509.
- [22] Cui Y, Han S, Liu M, et al. Diagnosis and grading of prostate cancer by relaxation maps from synthetic MRI [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 52(2): 552-564.
- [23] Mai J, Abubrig M, Lehmann T, et al. T_2 -mapping in prostate cancer [J]. *Invest Radiol*, 2019, 54(3): 146-152.
- [24] Adams LC, Bressen KK, Jurmeister P, et al. Use of quantitative T_2 -mapping for the assessment of renal cell carcinomas: first results [J]. *Cancer Imaging*, 2019, 19(1): 35.
- [25] Farrar CT, Kamoun WS, Ley CD, et al. Sensitivity of MRI tumor biomarkers to VEGFR inhibitor therapy in an orthotopic mouse glioma model [J]. *PLoS One*, 2011, 6(3): e17228.
- [26] OH J, Cha S, Aiken AH, et al. Quantitative apparent diffusion coefficients and T_2 relaxation times in characterizing contrast enhancing brain tumors and regions of peritumoral edema [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2005, 21(6): 701-708.
- [27] Cai Q, Wen Z, Huang Y, et al. Investigation of synthetic magnetic resonance imaging applied in the evaluation of the tumor grade of bladder cancer [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2021, 54(6): 1989-1997.
- [28] Wang Y, Shen Y, Hu X, et al. Application of R_2^* and apparent diffusion coefficient in estimating tumor grade and T category of bladder cancer [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2020, 214(2): 383-389.
- [29] Korkolopoulou P, Konstantinidou AE, Kavantzias N, et al. Morphometric microvascular characteristics predict prognosis in superficial and invasive bladder cancer [J]. *Virchows Arch*, 2001, 438(6): 603-611.
- [30] Li S, Liu J, Zhang F, et al. Novel T_2 -mapping for evaluating cervical cancer features by providing quantitative T_2 maps and synthetic morphologic images: a preliminary study [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 52(6): 1859-1869.
- [31] Yu Q, Lou XM, He Y. Prediction of local recurrence in cervical cancer by a Cox model comprised of lymph node status, lymphovascular space invasion, and intratumoral Th17 cell-infiltration [J]. *Med Oncol*, 2014, 31(1): 795.
- [32] Jurcoane A, Wagner M, Schmidt C, et al. Within-lesion differences in quantitative MRI parameters predict contrast enhancement in multiple sclerosis [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2013, 38(6): 1454-1461.
- [33] Blystad I, Warntjes JBM, Smedby O, et al. Quantitative MRI u-

- sing relaxometry in malignant gliomas detects contrast enhancement in peritumoral oedema[J].Sci Rep,2020,10(1):17986.
- [34] Ellingson BM, Lai A, Nguyen HN, et al. Quantification of nonenhancing tumor burden in gliomas using effective T_2 maps derived from dual-echo turbo spin-echo MRI[J]. Clin Cancer Res, 2015, 21(19):4373-4383.
- [35] Muller A, Jurcoane A, Kebir S, et al. Quantitative T_1 -mapping detects cloudy-enhancing tumor compartments predicting outcome of patients with glioblastoma[J]. Cancer Med, 2017, 6(1): 89-99.
- [36] Du S, Gao S, Zhang L, et al. Improved discrimination of molecular subtypes in invasive breast cancer: comparison of multiple quantitative parameters from breast MRI[J]. Magn Reson Imaging, 2021, 77(4):148-158.
- [37] Matsuda M, Tsuda T, Ebihara R, et al. Triple-negative breast cancer on contrast-enhanced MRI and synthetic MRI: A comparison with non-triple-negative breast carcinoma[J]. Eur J Radiol, 2021, 142(1):109838.
- [38] Linderholm BK, Hellborg H, Johansson U, et al. Significantly higher levels of vascular endothelial growth factor (VEGF) and shorter survival times for patients with primary operable triple-negative breast cancer[J]. Ann Oncol, 2009, 20(10):1639-1646.
- [39] Matsuda M, Kido T, Tsuda T, et al. Utility of synthetic MRI in predicting the Ki-67 status of oestrogen receptor-positive breast cancer: a feasibility study[J]. Clin Radiol, 2020, 75(5):398 e1-e8.
- [40] Lei Y, Wang T, Tian S, et al. Male pelvic CT multi-organ segmentation using synthetic MRI-aided dual pyramid networks[J]. Phys Med Biol, 2021, 66(8). DOI:10.1088/1361-6560/abf2f9.
- [41] Dong X, Lei Y, Tian S, et al. Synthetic MRI-aided multi-organ segmentation on male pelvic CT using cycle consistent deep attention network[J]. Radiother Oncol, 2019, 141(12):192-199.
- [42] Dai X, Lei Y, Wang T, et al. Automated delineation of head and neck organs at risk using synthetic MRI-aided mask scoring regional convolutional neural network[J]. Med Phys, 2021, 48(10):5862-5873.

(收稿日期:2021-11-01 修回日期:2022-02-19)

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