

形态学和功能磁共振成像在颞下颌关节紊乱病诊断方面的研究进展

陈曦 朱雯雯 张容慈 吴明乐 沈山
暨南大学口腔医学院, 广州 510000
通信作者: 沈山, Email: tshensh@126.com

【摘要】 颞下颌关节紊乱病(TMD)是颞下颌关节和咀嚼肌疼痛和功能障碍的常见疾病,严重影响患者生活质量。磁共振成像(MRI)具有很高的软组织分辨能力,被认为是颞下颌关节软组织成像的金标准,已成为TMD的首选影像学检查方法。本文简要回顾和分析形态学和功能MRI在TMD的研究进展。

【关键词】 颞下颌关节; 颞下颌关节紊乱病; 磁共振成像

基金项目: 佛山市卫生健康局医学科研课题(20200336)

引用著录格式: 陈曦, 朱雯雯, 张容慈, 等. 形态学和功能磁共振成像在颞下颌关节紊乱病诊断方面的研究进展[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2022, 16(3):155-159.

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2022.03.004

Research progress of morphology and functional magnetic resonance imaging in diagnosis of temporomandibular joint disorders

Chen Xi, Zhu Wenwen, Zhang Rongci, Wu Mingle, Shen Shan
College of Stomatology, Jinan University, Guangzhou 510000, China

Corresponding author: Shen Shan, Email: tshensh@126.com

【Abstract】 Temporomandibular joint disorder (TMD) is a common disease characterized by pain and dysfunction of the temporomandibular joint and masticatory muscles, which has a negative impact on patients' quality of life. With its high soft tissue resolution, magnetic resonance imaging (MRI) is considered the gold standard for soft tissue imaging of the temporomandibular joint and has become the preferred imaging method for TMD. This paper provides a brief overview and analysis of the research progress on morphologic and functional MRI in TMD.

【Key words】 Temporomandibular joint; Temporomandibular joint disorder; Magnetic resonance imaging

Fund program: Medical Research Project of Foshan Municipal Health Bureau(20200336)

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2022.03.004

颞下颌关节紊乱病(temporomandibular joint disorder,

TMD)是口腔颌面部常见疾病之一, TMD并非指单一疾病, 而是一个集合术语^[1], 包括颞下颌关节和(或)咀嚼肌紊乱疾病、关节结构紊乱及关节退行性疾病。临床医生通过询问病史和检查一般不难诊断TMD, 其中影像学检查主要用来作为关节盘移位和关节退行性疾病的辅助诊断。传统X线片如颞下颌关节经颅侧斜位片、髁突经咽侧位片等存在拍摄步骤复杂、影像可能出现重叠等缺点。其中, 关节造影虽然用来诊断关节盘穿孔, 但是和关节镜检查一样具有创伤性。近年来, 锥形束CT(cone-beam computed tomography, CBCT)和磁共振成像(MRI)基本取代了传统的颞下颌关节影像检查, 成为颞下颌关节常用的影像学检查方式, 而MRI因具有对周围软组织分辨力高、非侵袭性等优点^[2], 不仅能显示关节盘, 还能分清骨皮质、骨髓及软骨等^[3], 逐渐成为TMD主要影像学检查方式。随着影像学技术的发展, MRI从单一的形态学研究逐步转变为形态与结构相结合的系统研究, 即功能性MRI, 它能够在形态学改变之前, 通过直接量化关节盘间的含水量检测关节盘内相关软组织的水分子信号^[4], 从而能早期检测到关节退行性变化。本文简要介绍MRI常规序列、MRI液体衰减反转恢复(fluid attenuated inversion recovery, FLAIR)序列、扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)、弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)、磁共振T2弛豫时间图成像(T2 mapping)在颞下颌关节疾病的研究进展, 以期临床研究提供一定的参考。

一、形态学磁共振成像

1. 常规序列: 颞下颌关节MRI常规序列包括开、闭口斜矢状位T1加权成像(T1-weighted imaging, T1WI)、T2加权成像(T2-weighted imaging, T2WI)、质子密度加权成像(proton density-weighted imaging, PDWI)及斜冠状位PDWI扫描^[5], 这些成像通常由快速自旋回波序列产生^[6]。正常的关节盘在T1WI、T2WI、PDWI上均为低信号, 而上、下腔表面的滑膜呈现中等信号。双板区为平行的低信号带, 后带和双板区可见1条中等信号强度的竖线。闭口位扫描, 关节盘后带位于髁突头12点相对的位置, 而在张口位扫描, 关节盘后带位于髁突头12点的背侧位置。

当颞下颌关节出现紊乱时, 关节盘可出现位置和形态的改变。关节盘常被描述成蝴蝶结形, 关节盘的解剖部分除了前带、中间带和后带能够清楚地定义之外, 这些结构之间却很难清除分界, 只能通过从形态学上加以区分。在许多个体

中,解剖变异会给正常的关节盘的诊断造成困难。然而,开口位及闭口位的结合却有助于将正常关节盘与异常关节盘区分开来。在开口位时,关节盘的后带是从延伸的盘后组织突如形成,盘后组织会在关节窝下膨胀呈现为混杂不均的信号强度;而在闭口位时,盘后组织是一薄层结构,会呈现均匀一致的中等信号强度。

研究显示,在TMD患者中,关节盘的移位、颞下颌关节退行性改变和关节积液的风险会增加^[7]。当颞下颌关节出现器质性病变,可能出现骨皮质和关节软骨变薄、髁突头变形、骨质增生等影像学表现,其中关节腔变窄和关节结节与髁突的磨损是常见的退行性骨关节疾病。这些变化通过颞下颌关节磁共振常规序列扫描可直观显示。

2. 液体衰减反转恢复序列:FLAIR序列通常用于抑制脑脊液信号来区分脑损伤和脑脊液。有学者研究发现,FLAIR序列可能对颞下颌关节疼痛症状的诊断有用,如翼外肌的异常^[8]、盘后组织疼痛^[9],患者疼痛程度越重,异常部位的FLAIR信号强度越高。此外,它在鉴定关节积液的潜力可能较T2加权像大^[10],FLAIR图像显示TMD关节液内容物的变化可能是可行的。虽然,关节积液在T2加权像也显示高密度信号,但是关节积液FLAIR序列信号强度平均抑制率低于脑脊液^[11],FLAIR信号强度受关节积液含量的影响比T2加权信号强度更敏感^[12],这可能是由于包含能够在MRI图像上缩短T1弛豫时间的元素(如蛋白质)^[13]。但是,对于TMD伴有疼痛症状的患者,目前研究仅能证明可能含有诸如T2松弛时间缩短的蛋白质之类的元素。因此,关于FLAIR序列,后续需要进一步的研究来分析临床症状与FLAIR成像结果的关联。

二、功能性磁共振成像

1. 扩散加权成像:DWI信号反映活体组织水分子扩散程度^[14],通过量化组织内的表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)来捕获水分子的扩散过程^[15],表观扩散系数越大,组织内水分子的扩散能力越强,信号下降越多;反之亦然^[16]。DWI是对许多机构使用的肌肉骨骼MRI的最新补充。DWI反映了水分子的扩散和人体组织内毛细血管水平的循环,并为许多疾病和条件的常规MRI增加了有用的信息。与T2WI不同的是,DWI选择性地使布朗运动受限的水分子作为明亮信号,而T2WI将体内组织中的所有水分子反映为明亮的信号。

Sawada等^[17]应用磁共振扩散加权成像的表观弥散系数ADC定量评价TMD患者咀嚼肌的肌痛。该研究发现疼痛侧的咀嚼肌的平均ADC值明显大于无疼痛侧($P < 0.01$),提示咀嚼肌痛可能是由于水肿性改变。Hirahara等^[10]在2017年报道了颞下颌关节内风湿性关节炎的MRI表现为骨及软组织受累,包括下颌髁突骨髓信号异常、血管翳及腮腺淋巴结肿大。这些特征性的MRI表现有助于临床诊断颞下颌关节内风湿性关节炎。Hirahara等^[18]于2021年研究发现,DWI上的ADC值可以用来定量评估类风湿性关节炎(RA)患者颞下颌关节的下颌骨髁状突,提示DWI上的ADC值对RA的预测有

一定的价值。ADC值可作为一种新的无创性方法,客观地评估TMD的存在和严重程度。因此,DWI或许可用于活动性炎症改变的定量评价,可检测在T2加权MRI图像无法识别的初始炎症^[10]。

2. 弥散张量成像:DTI允许在体内无创测量水的平移运动,提供有关水在不同组织中各向异性(或缺乏各向异性)的信息^[19]。与DWI相比,DTI可以通过有效扩散张量来表征水的扩散运输,DTI数据通常表明脑组织内水分子的运动。将2D扩散加权图像与3D扩散模型中的所有对角线元素相结合,可以创建高分辨率MRI序列,甚至可以识别脑室周围白质中的细微结构变化,特征向量定义了局部纤维束方向场^[20],能明确水分子在组织中的扩散方向^[21]。颞下颌关节盘的胶原纤维和咀嚼肌中的纤维束,水沿优先方向扩散,DTI可通过测量组织结构的特征值和特征向量来反映组织结构的微观细节^[22]。

最初,DTI并不适用于颞下颌关节盘的研究。Benavides等^[23]动物实验研究结果表明,DTI可能是检测颞下颌关节盘早期病变的关键工具,因为在疾病的病理环境下,纤维组织和扩散特性的规律可能会被破坏,但还需要进行额外的工作来优化DTI方案,并在更接近当前临床影像情况的低场强下测试这种模式。DTI除了独特的体内纤维^[24]可视化外,DTI还可以量化咀嚼肌的扩散特性。

Shiraishi等^[25]评估了健康人在开口、咬合和休息时3个不同位置(下颌切迹水平、下颌孔水平和下颌磨牙根尖)咬肌的扩散参数,结果表明,不同水平和不同颌位的咬肌扩散参数不同。Chikui等^[26]研究咬合对咬肌扩散系数和T2的影响,并评价咬合力分布对这些指标的影响,发现咬肌扩散系数对咬合变化敏感,二次特征值最敏感,而咬合力的相对分布对各项指标均无影响。Liu等^[27]探讨DTI评价翼外肌形态和功能的可行性。DTI能灵敏地检测下颌运动引起的翼外肌纤维形态和功能的变化,为同时研究下颌运动时翼外肌的功能和形态特征提供了一种新的无创方法,这可能为进一步研究TMD的发病机制提供新的思路。Nastro等^[21]应用DTI技术,对2例下颌不对称患者的翼外肌和咬肌的形态特征进行非侵入性评价,首次探讨TMD患者咀嚼肌扩散参数的变化,初次发现术后偏侧翼外肌较术前有显著增加。由此可见,DTI更多地应用于与TMD有关的肌肉病变方面的研究。

3. 磁共振T2弛豫时间图成像:T2 mapping是一种允许量化关节软骨结构组成的方法^[28],可以在不借助造影剂的情况下,提供有关软骨胶原网络状态的信息^[29],作为一种通过描述组织横向磁化衰减来反映组织特性的半定量分析的磁共振诊断技术,能较好地评价关节软骨早期的改变。目前,该技术已经越来越多地应用于大关节,例如膝关节^[30]。研究发现,颞下颌关节盘与膝关节半月板的相似之处在于I、II型胶原蛋白、糖胺聚糖和水的组成^[31]。关节软骨内丰富的胶原交叉排列成网状,蛋白聚糖和水嵌入其中,水质子被胶原蛋白多糖基质固定在软骨中,呈结合水状态^[32]。因此,正常关节软骨在T2加权图像上的信号强度较低,若软骨出现病理

改变,胶原和蛋白聚糖的损失就增加了水的流动性,导致T2值升高^[33]。所以,可利用T2值松弛时间作为软骨胶原纤维组织和网络结构变化的间接指标^[34]。尽管在大关节中研究显示,糖胺聚糖与T2值之间的相关性存在分歧^[35],但在颞下颌关节中的研究显示,TMD患者关节盘糖胺聚糖的含量明显低于正常关节盘组织^[36]。在关节盘的前带和后带,可以发现充满糖胺聚糖的胶原纤维网络^[37],故可以预测水结合的糖胺聚糖有助于MRI信号的改变^[38]。

关于颞下颌关节T2 mapping的研究,目前文献报道多是采用3T MRI,与1.5T MRI相比,更高的场强可获得更高的信噪比,更高的信噪比可以换取更高的空间分辨率^[39]。因此,1.5T MRI下颞下颌关节盘中T2值的精度可能会受到影响。Cao等^[40]利用T2 Mapping技术对国内健康志愿者颞下颌关节盘作了分层研究,发现健康志愿者的关节盘的T2值具有自上而下的空间变异和前后空间变异的特点,认为空间变异与关节盘中胶原纤维的不同取向或魔角效应有关。而关于前后向的分层研究,与Schmid-Schwap等^[28]研究存在差异,该研究发现前带的T2弛豫时间最高,后带最低,并且从组织学分析T2值变化的原因:(1)样本量少,结果可能存在偏倚;(2)手动划分区域研究,可能存在测量误差。

与膝关节半月板不同,颞下颌关节盘具有重要的弹性纤维成分,这些纤维可能会随着年龄的变化而变化。Kakimoto等^[41]研究发现,与健康志愿者和年轻组相比,进展性TMD患者和老年组TMD患者的T2值较长,推测这可能是由于退变软骨中胶原和蛋白多糖的丢失,这与研究一致,颞下颌关节盘的T2弛豫时间可能与TMD的进展有关,但是是否与年龄存在相关性还需要进一步研究。

除此之外,Shigeno等^[42]通过T2 mapping探讨髌骨髓异常与髌突侵蚀和骨赘的关系,研究发现髌突的侵蚀和骨赘可能与骨髓异常有关,而且T2 mapping可显示关节炎患者,髌突出现轻微的骨髓改变。Nikkuni等^[43]利用T2 mapping来检测TMD伴肌筋膜疼痛患者组织中的水分含量,以及研究疼痛模式是否与水肿改变有关,结果是获得了不同疼痛模式的T2值,其中压迫疼痛组疼痛侧和无疼痛侧的平均T2值存在显著差异,研究认为这是与其水肿性改变有关。

但是,也有相关研究报道,在像颞下颌关节这样的小关节中,周围参数的影响似乎很明显,可能不适合作为TMD患者的常规诊断工具^[2]。

三、总结与展望

TMD包括咀嚼肌类疾病、关节盘移位为主的结构紊乱疾病和关节退行性疾病。综上,FLAIR序列、DWI和DTI可用于咀嚼肌的异常改变预测。与颞下颌关节相关的肌肉,虽然临床上通过触诊检查,但是影像学方法对于深部肌肉的异常改变的无创诊断存在潜在的临床价值。

对于关节盘移位为主的结构紊乱疾病和关节退行性疾病。MRI的常规序列扫描即可诊断,研究显示T2 mapping可早期识别关节盘的病理改变,然而T2 mapping在颞下颌关节疾病的应用目前文献报道较少,当前研究者一般会手动将关

节盘划分成不同区域进行研究,但划分并无具体标准^[2,44],而且关节盘移位常伴有形态变化,更难以把握形态改变的关节盘的分层区域,也增加了测量误差。而7T MRI和超短回波时间(ultra short echo time,UTE)成像技术目前在临床应用受到限。因此,后续还需要进一步临床研究证实其在纤维软骨盘的潜在价值以及获得组织病理学的证据支持。

总之,形态学MRI成像能够更精确地监测关节宏观变化,多层次图像可以对颞下颌关节结构进行三维分析。但它不能提供有关关节软骨或关节盘超微结构组成的信息。因此,功能性MRI与形态学MRI一起,可能有助于无创研究软骨或关节盘的生理学和病理生理学。

利益冲突 所有作者均申明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Ouanounou A, Goldberg M, Haas DA. Pharmacotherapy in temporomandibular disorders: A review [J]. J Can Dent Assoc, 2017, 83:h7.
- [2] Bristela M, Skolka A, Eder J, et al. T2 mapping with 3.0 T MRI of the temporomandibular joint disc of patients with disc dislocation [J]. Magn Reson Imaging, 2019, 58: 125-134. DOI: 10.1016/j.mri.2019.02.002.
- [3] 傅开元,胡敏,余强,等. 颞下颌关节常规MRI检查规范及关节盘移位诊断标准的专家共识[J]. 中华口腔医学杂志, 2020, 55(9):608-612. DOI:10.3760/cma.j.cn112144-20200514-00268.
- [4] Yang B, Wendland MF, O'Connell GD. Direct quantification of intervertebral disc water content using MRI [J]. J Magn Reson Imaging, 2020, 52(4): 1152-1162. DOI: 10.1002/jmri.27171.
- [5] Tamimi D, Jalali E, Hatcher D. Temporomandibular joint imaging[J]. Radiol Clin North Am, 2018, 56(1): 157-175. DOI: 10.1016/j.rcl.2017.08.011.
- [6] Tomura N, Otani T, Narita K, et al. Visualization of anterior disc displacement in temporomandibular disorders on contrast-enhanced magnetic resonance imaging: Comparison with T2-weighted, proton density-weighted, and precontrast T1-weighted imaging[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2007, 103(2): 260-266. DOI:10.1016/j.tripleo.2006.02.003.
- [7] Roh HS, Kim W, Kim YK, et al. Relationships between disk displacement, joint effusion, and degenerative changes of the TMJ in TMD patients based on MRI findings [J]. J Craniomaxillofac Surg, 2012, 40(3): 283-286. DOI:10.1016/j.jcms.2011.04.006.
- [8] Kuroda M, Otonari-Yamamoto M, Araki K. Evaluation of lateral pterygoid muscles in painful temporomandibular joints by signal intensity on fluid-attenuated inversion recovery images [J]. Oral Radiol, 2018, 34(1): 17-23. DOI: 10.1007/s11282-017-0272-1.
- [9] Kuroda M, Otonari-Yamamoto M, Sano T, et al. Diagnosis of retrodiscal tissue in painful temporomandibular joint (TMJ) by fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR) signal intensity [J]. Cranio, 2015, 33(4): 271-275. DOI: 10.1080/08869634.2015.1097295.
- [10] Hirahara N, Kaneda T, Muraoka H, et al. Characteristic magnetic resonance imaging findings in rheumatoid arthritis of the

- temporomandibular joint: Focus on abnormal bone marrow signal of the mandibular condyle, pannus, and lymph node swelling in the parotid glands[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2017, 75(4):735-741. DOI:10.1016/j.joms.2016.09.051.
- [11] Imoto K, Otonari-Yamamoto M, Nishikawa K, et al. Potential of fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR) in identification of temporomandibular joint effusion compared with T2-weighted images [J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2011, 112(2):243-248. DOI:10.1016/j.tripleo.2011.03.004.
- [12] Otonari-Yamamoto M, Imoto K. Differences in signal intensities of temporomandibular joint (TMJ) effusion on fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR) images [J]. *Oral Radiol*, 2018, 34(3):245-250. DOI:10.1007/s11282-018-0317-0.
- [13] Hanyuda H, Otonari-Yamamoto M, Imoto K, et al. Analysis of elements in a minimal amount of temporomandibular joint fluid on fluid-attenuated inversion recovery magnetic resonance images [J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2013, 115(1):114-120. DOI:10.1016/j.oooo.2012.09.083.
- [14] Guadilla I, Calle D, López-Larrubia P. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging [J]. *Methods Mol Biol*, 2018, 1718:89-101. DOI:10.1007/978-1-4939-7531-0_6.
- [15] Khoo MMY, Tyler PA, Saifuddin A, et al. Diffusion-weighted imaging (DWI) in musculoskeletal MRI: A critical review [J]. *Skeletal Radiol*, 2011, 40(6):665-681. DOI:10.1007/s00256-011-1106-6.
- [16] 李琼, 李震. 肾纤维化功能性MRI的研究进展[J]. *磁共振成像*, 2015, 6(5):390-393. DOI:10.3969/j.issn.1674-8034.2015.05.17.
- [17] Sawada E, Kaneda T, Sakai O, et al. Increased apparent diffusion coefficient values of masticatory muscles on diffusion-weighted magnetic resonance imaging in patients with temporomandibular joint disorder and unilateral pain [J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2019, 77(11):2223-2229. DOI:10.1016/j.joms.2019.04.031.
- [18] Hirahara N, Kaneda T, Muraoka H, et al. Quantitative assessment of the mandibular condyle in patients with rheumatoid arthritis using diffusion-weighted imaging [J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2021, 79(3):546-550. DOI:10.1016/j.joms.2020.10.007.
- [19] Lope-Piedrafita S. Diffusion tensor imaging (DTI) [J]. *Methods Mol Biol*, 2018, 1718:103-116. DOI:10.1007/978-1-4939-7531-0_7.
- [20] Siasios I, Kapsalaki EZ, Fountas KN, et al. The role of diffusion tensor imaging and fractional anisotropy in the evaluation of patients with idiopathic normal pressure hydrocephalus: A literature review [J]. *Neurosurg Focus*, 2016, 41(3):E12. DOI:10.3171/2016.6.Focus16192.
- [21] Nastro E, Bonanno L, Catalfamo L, et al. Diffusion tensor imaging reveals morphological alterations of the lateral pterygoid muscle in patients with mandibular asymmetry [J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2018, 47(1):20170129. DOI:10.1259/dmfr.20170129.
- [22] Oudeman J, Nederveen AJ, Strijkers GJ, et al. Techniques and applications of skeletal muscle diffusion tensor imaging: A review [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2016, 43(4):773-788. DOI:10.1002/jmri.25016.
- [23] Benavides E, Bilgen M, Al-Hafez B, et al. High-resolution magnetic resonance imaging and diffusion tensor imaging of the porcine temporomandibular joint disc [J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2009, 38(3):148-155. DOI:10.1259/dmfr/19195745.
- [24] Yang B, O'Connell GD. Intervertebral disc swelling maintains strain homeostasis throughout the annulus fibrosus: A finite element analysis of healthy and degenerated discs [J]. *Acta Biomater*, 2019, 100:61-74. DOI:10.1016/j.actbio.2019.09.035.
- [25] Shiraishi T, Chikui T, Inadomi D, et al. Evaluation of diffusion parameters and T2 values of the masseter muscle during jaw opening, clenching, and rest [J]. *Acta Radiol*, 2012, 53(1):81-86. DOI:10.1258/ar.2011.110136.
- [26] Chikui T, Shiraishi T, Ichihara T, et al. Effect of clenching on T2 and diffusion parameters of the masseter muscle [J]. *Acta Radiol*, 2010, 51(1):58-63. DOI:10.3109/02841850903280508.
- [27] Liu S, Wang M, Ai T, et al. *In vivo* morphological and functional evaluation of the lateral pterygoid muscle: A diffusion tensor imaging study [J]. *Br J Radiol*, 2016, 89(1064):20160041. DOI:10.1259/bjr.20160041.
- [28] Schmid-Schwap M, Bristela M, Pittschieler E, et al. Biochemical analysis of the articular disc of the temporomandibular joint with magnetic resonance T2 mapping: A feasibility study [J]. *Clin Oral Investig*, 2014, 18(7):1865-1871. DOI:10.1007/s00784-013-1154-5.
- [29] Matzat SJ, van Tiel J, Gold GE, et al. Quantitative MRI techniques of cartilage composition [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2013, 3(3):162-174. DOI:10.3978/j.issn.2223-4292.2013.06.04.
- [30] Yoon MA, Hong S-J, Im AL, et al. Comparison of T1rho and T2 mapping of knee articular cartilage in an asymptomatic population [J]. *Korean J Radiol*, 2016, 17(6):912-918.
- [31] Runci Anastasi M, Cascone P, Anastasi GP, et al. Articular disc of a human temporomandibular joint: Evaluation through light microscopy, immunofluorescence and scanning electron microscopy [J]. *J Funct Morphol Kinesiol*, 2021, 6(1):22. DOI:10.3390/jfkm6010022.
- [32] Bezci SE, Werbner B, Zhou M, et al. Radial variation in biochemical composition of the bovine caudal intervertebral disc [J]. *JOR Spine*, 2019, 2(3):e1065. DOI:10.1002/jsp2.1065.
- [33] Subburaj K, Kumar D, Souza RB, et al. The acute effect of running on knee articular cartilage and meniscus magnetic resonance relaxation times in young healthy adults [J]. *Am J Sports Med*, 2012, 40(9):2134-2141. DOI:10.1177/0363546512449816.
- [34] Drake-Pérez 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. DOI:10.3174/ajnr.A5566.

- [35] 王平,黄刚,张文文,等.应用磁共振 T2-mapping 成像评价非专业马拉松运动员膝关节软骨改变[J].中国临床医学影像杂志, 2014,25(12):877-881.
- [36] Axelsson S, Holmlund A, Hjerpe A. Glycosaminoglycans in normal and osteoarthrotic human temporomandibular joint disks [J]. *Acta Odontol Scand*, 1992, 50(2): 113-119. DOI: 10.3109/00016359209012753.
- [37] Rubenstein JD, Kim JK, Morova-Protzner I, et al. Effects of collagen orientation on MR imaging characteristics of bovine articular cartilage[J]. *Radiology*, 1993, 188(1): 219-226. DOI: 10.1148/radiology.188.1.8511302.
- [38] Eder J, Tonar Z, Schmid-Schwap M, et al. Regional collagen fiber network in the articular disc of the human temporomandibular joint: Biochemical 3 - Tesla quantitative magnetic resonance imaging compared to quantitative histologic analysis of fiber arrangement [J]. *J Oral Facial Pain Headache*, 2018, 32(3): 266-276. DOI: 10.11607/ofph.1879.
- [39] Schreiner MM, Mlynarik V, Zbýň Š, et al. New technology in imaging cartilage of the ankle[J]. *Cartilage*, 2017, 8(1): 31-41. DOI: 10.1177/1947603516632848.
- [40] Cao Y, Xia C, Wang S, et al. Application of magnetic resonance T2 mapping in the temporomandibular joints [J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2012, 114(5): 644-649. DOI: 10.1016/j.oooo.2012.05.025.
- [41] Kakimoto N, Shimamoto H, Chindasombatjaroen J, et al. Comparison of the T2 relaxation time of the temporomandibular joint articular disk between patients with temporomandibular disorders and asymptomatic volunteers [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2014, 35(7): 1412-1417. DOI: 10.3174/ajnr.A3880.
- [42] Shigeno K, Sasaki Y, Otonari-Yamamoto M, et al. Evaluating the mandibular condyles of patients with osteoarthritis for bone marrow abnormalities using magnetic resonance T2 mapping [J]. *Oral Radiol*, 2019, 35(3): 272-279. DOI: 10.1007/s11282-018-0357-5.
- [43] Nikkuni Y, Nishiyama H, Hyayashi T. The relationship between masseter muscle pain and T2 values in temporomandibular joint disorders [J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2018, 126(4): 349-354. DOI: 10.1016/j.oooo.2018.06.003.
- [44] Zhao ZJ, Ge HZ, Xiang W, et al. Exploration of mri T2 mapping image application in articular disc displacement of the temporomandibular joint in adolescents [J]. *Int J Gen Med*, 2021, 14: 6077-6084. DOI: 10.2147/IJGM.S330116.

(收稿日期:2022-01-24)

(本文编辑:王嫚)