

综 述

膝骨关节炎进展与影像学指标相关性的研究现状*

田晓燕¹ 金 凤^{2,*} 白小龙¹郭欢莹¹ 冉云龙¹ 李振鑫¹

1.内蒙古医科大学第一临床医学院

2.内蒙古医科大学附属医院放射影像科

(内蒙古 呼和浩特 010050)

【摘要】目前,针对膝骨关节炎(KOA)的进展与影像学指标之间的相关性,已经形成了一系列深入的研究。这些研究致力于探索和理解影像学检查所揭示的关节结构或成分变化与疾病进展之间的联系,旨在为临床提供更为精确的评估工具和治疗方法,为患者制定个性化的治疗计划。本综述旨在深入探讨X线、CT和MRI检查在评估KOA进展中所采用的多种测量指标,并探讨这些指标对提示KOA进展的临床应用价值,同时为未来的研究发展提供方向性的指导。

【关键词】膝关节炎;观测指标;体层摄影术;X线计算机;磁共振成像

【中图分类号】R684.3

【文献标识码】A

【基金项目】MRI多模态成像定量评估膝关节骨性关节炎的临床价值及与WOMAC评分的相关性分析(202201266);MRI多模态成像定量评估膝关节骨性关节炎的临床价值探讨(202210132034)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.06.056

Current Research Status on the Correlation between the Progression of Knee Osteoarthritis and Imaging Indicators*

TIAN Xiao-yan¹, JIN Feng^{2,*}, BAI Xiao-long¹, GUO Huan-xuan¹, RAN Yun-long¹, LI Zhen-xin¹.

1.The First Clinical Medical College of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010050, Inner Mongolia, China

2.Department of Radiology and Imaging, the Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010050, Inner Mongolia, China

ABSTRACT

At present, a series of in-depth studies have been conducted on the correlation between the progression of knee osteoarthritis and imaging indicators. These studies aim to explore and understand the relationship between changes in joint structure or composition revealed by imaging examinations and disease progression, aiming to provide more accurate assessment tools and treatment methods for clinical practice, and to develop personalized treatment plans for patients. This review aims to explore in depth the various measurement indicators used in X-ray, CT, and MRI examinations to evaluate the progression of knee osteoarthritis (KOA), and to explore the clinical application value of these indicators in indicating the progression of KOA, while providing directional guidance for future research development.

Keywords: Knee Osteoarthritis; Observable Indicator; Tomography, X-ray Computed; Magnetic Resonance Imaging

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是一种以关节软骨退变、软骨下骨硬化及滑膜增生等病理改变为主要表现的全关节疾病,具有较高的发病率和患病率,其主要的临床表现为疼痛、僵硬及功能障碍等,并且随着全球人口老龄化的发展,KOA给社会带来了沉重的经济负担^[1-3]。当前,KOA影像学分析主要侧重于表面的直观表现。然而,KOA的诊断和治疗常常受限于其临床表现的多样性、结构进展与临床结果之间的复杂联系,以及需要长期跟踪来监测结构变化。因此,对于临床医生来说,能够精确且可重复地评估患者的疾病进展速度和标准变得尤为关键。本文将综述与KOA进展相关的影像学指标,以期临床提供更深入的见解。

1 基于X线的影像学指标

虽然医学影像学不断发展,但时至今日X线片仍然是其结构性诊断和监测其进展的首选方式。与其他成像技术相比,X线片具有费用低、设备普及、速度快等特点。X线片可以显示骨关节炎的骨骼特征,包括关节间隙、骨赘、关节面硬化等,对KOA的早期诊断、术前指导、术后评估方面有着重要的意义^[4]。并由此得出KOA疾病进展最常用的Kellgren-Lawrence(K/L)系统,K/L系统对关节间隙的狭窄程度、软骨下骨硬化及骨赘情况进行综合评分,进而间接确定KOA的发生并判断其进展程度^[5]。

膝关节X线片判断KOA进展的主要解剖标准及特征包括:关节间隙、角度测量等,观察这些指标的变化可以更深入地了解KOA的形态学特点,进而改善临床结果和优化手术价值^[6-7]。

1.1 关节间隙 关节间隙宽度(joint space width, JSW)狭窄是KOA病程中一个持续发展的过程,因为软骨变薄是KOA的标志性特征,进而JSW狭窄被认为是KOA软骨缺失在平片上最主要的间接指征,也是KOA影像学诊断最敏感的指标^[8]。周清清等^[9]纳入KOA患者和正常对照组各100例膝关节X线片,通用Mimics medical软件手工测膝关节内侧最小JSW、外侧最小JSW等指标,结果显示内侧最小JSW在KOA和正常组间存在统计学差异($P<0.05$)。Ratzlaff等^[10]共纳入4796名患有KOA或有发生KOA风险的患者,通过X线片在内侧和外侧隔室中测量固定JSW,研究K/L分级和JSN转换间的固定JSW变化分布,并使用混合模型分析固定JSW的平均变化,结果显示在K/L分级和JSN中,定量测量的关节间隙宽度损失可以为KOA进展提供参考。

虽然,目前对于膝关节JSW的阈值尚未明确,但是通过监测JSW的变化,可以进一步增进我们对于膝关节JSW狭窄机制的理解,有效区分疾病的进展期和稳定期患者,为疾病的预测、分级诊疗提供更精准的指导。

1.2 角度测量 随着KOA的进展,它不仅会导致关节间隙的狭窄和骨赘的形成,还可能引起膝关节解剖结构的畸形变化,如膝内翻或膝外翻。这些结构上的改变,不仅影响膝

【第一作者】田晓燕,女,硕士在读,主要研究方向:骨肌影像诊断。E-mail: 1402872548@qq.com

【通讯作者】金 凤,女,主任医师,主要研究方向:骨肌影像诊断。E-mail: doctorjinfeng@163.com

关节的稳定性和运动范围,还可能导致在特定运动角度下的功能受限,从而严重影响患者的日常生活和活动能力。通过X线片,我们可以对一些关键角度进行精确测量,其中包括重要的股胫角(tibiofemoral angle, TFA)、关节间隙角(joint gap angle, JPA)、胫骨扭转角(tibial torsion angle, TTA)等,这种评估对于理解膝关节的病理变化和制定治疗计划至关重要。

股胫角是股骨解剖轴线与胫骨解剖轴线相交形成的向外侧夹角,目前多作为膝关节内外翻畸形矫正术的重要参考指标,临床通过对股胫角的观察从而对KOA患者病情程度进行评估,同时预测患者下肢力线变化情况^[11]。在KOA分型方面,内翻型KOA在不同分级的患者群均占大多数,且所占比重随着K/L等级的提高逐渐升高。沈钰等^[12]选取32例(51膝)KOA患者并分别拍摄下肢全长负重X线片,测量FTA、下肢力线和机械轴偏距、股骨远端力学外侧角、胫骨近端力学内侧角,然后根据K/L分级对上述参数进行分析,结果表明在膝内翻组中,FTA与K/L分级呈正相关(B 值=0.132, t =2.648, P =0.012, $P<0.05$)。于潇等^[13]纳入中老年KOA患者739例(1026膝),基于X线图像测量并比较各组TFA、JPA等各项指标,研究发现在内翻型KOA中,TFA与分级在0.01水平在具有显著正相关性,而在外翻型KOA中具有显著负相关性($P<0.05$)。

关节间隙角即股骨远端内外髁最低点连线与胫骨内外侧平台连线之间的外侧夹角,通常被应用于KOA进展的相关性研究。张雅晨^[14]等纳入226例下肢全长负重X线影像资料,对其进行包括JPA在内的下肢力线的相关测量,结果表明在K-L分级II-IV级时,组间比较JPA差异有统计学意义,说明JPA在II级时开始发生改变且呈正相关,JPA随K-L分级程度的增加而逐渐增大,提示在KOA发展到II级时股骨内侧髁关节软骨开始有磨损,经多因素logistic回归分析,JPA是判定KOA严重程度的独立影响因素,JPA的改变与下肢力学轴线的分布异常有密切的关系。于潇^[13]等研究发现无论在内翻型或外翻型KOA组中,JPA与K-L分级在0.01水平均具有显著正相关性($P<0.05$)。

胫骨扭转角为胫骨近端关节面的横轴线与胫骨远端关节面的横轴线在冠状面上的夹角,用于评价胫骨远端踝关节旋转轴相对于近端膝关节旋转轴在横截面上绕胫骨纵轴的生理性扭转程度。胡鸿鹏等^[15]随机选取80例(107膝)罹患KOA内翻患者和50例(100膝)膝关节正常者,分为KOA组和对照组,测量并对比FTA和TTA组间差异及相关性,结果显示KOA患者膝关节内翻畸形与TTA呈负相关,其相关程度受年龄和K/L分级的影响,KOA患者年龄越大,TTA越小;K/L分级越高,TTA越小。

综上,下肢力线的改变引起应力失衡是KOA的关键病因,而膝关节轴线角的变化是导致下肢力线改变的重要原因,因此,进一步加深对KOA相关角度的研究有助于通过简单的影像学检查方法获得更为准确的临床诊断。

2 基于CT的影像学指标

CT成像是骨关节与软组织疾病的一种常用辅助检查方法,虽然目前X线检查仍是诊断KOA的首选检查方法,但是X线片为二维投影成像,不能完全反应膝关节周围复杂的解剖异常,而CT检查具有分辨率高,扫描快速的特点,可以对X线由于位置限制而产生的盲区进行显影,能够更准确地反映KOA进展情况^[16]。基于CT影像学检查技术可测得的指标包括软骨下骨硬化程度、髌下脂肪垫成分等,这些指标对于KOA进展的研究均具有十分重要的意义。

2.1 软骨下骨硬化程度 CT影像学检查还能够分析骨密度和软骨下骨硬化程度,这在疾病的发生和进展中也起到了一定的影响,进

而检测和量化膝关节相关组织矿化情况也能够为了解KOA病理生理进展提供一定的参考价值^[17]。Liew等^[18]纳入2093名接受膝关节X线和双膝CT检查的参与者,并在2年内每8个月进行一次疼痛评估,使用波士顿大学钙化膝关节评分对CT图像进行评分,并使用广义线性混合效应模型纵向研究了CT检测到的关节内矿化与频繁膝关节疼痛、间歇性或持续性膝关节疼痛恶化以及疼痛严重程度恶化的风险之间的关系,结果发现CT检测发现的关节内矿化与2年内膝关节疼痛更频繁、更持久和更严重有关,因此,针对关节内矿化展开治疗可能改善KOA进展的疼痛情况。虽然,目前膝关节软骨下骨硬化的研究取得了一定进展,但在量化评价KOA病理生理进展方面还需要一种良好的评价系统,这有待于开展更深层次的研究。

2.2 髌下脂肪垫成分 髌下脂肪垫(inpatljar fat pad, IFP)是一个在关节囊内滑膜外填满前膝间隙的结构,位于髌骨、髌韧带、胫骨平台和股骨髁组成的间隙内,具有丰富的血管和神经支配,是膝关节重要的组成部分之一。然而,传统CT检查仅能测量IFP的CT值及体积的大小,并且其显示效果在一定条件下不及MRI检查,而能谱CT可以通过物质分离技术将患有骨性关节炎的IFP相应物质分离^[19],具体量化IFP的早期改变且简单易行,对KOA患者提供早预防和早干预的机会。张敏等^[20]纳入KOA患者98膝为研究组(疼痛评分 >40 分),78膝为对照组(疼痛评分 <40 分且无临床症状),利用能谱CT水脂分离技术对其进行髌下脂肪垫水脂定量分析的相关性研究,结果显示,KOA患者其髌骨下脂肪垫的水含量(炎性水肿)增高,相对脂肪含量降低(组间脂基值及水基值 $P<0.05$)。

目前,虽然基于CT成像的研究与应用报道仍然较少,这可能与其费用较高、辐射量较大有关,但CT在KOA进展研究中展现出巨大的潜力和广阔的应用前景。CT扫描能够提供更精细的三维图像,有助于更深入地理解KOA的病理变化,从而为疾病的诊断和治疗提供更为精确的指导。随着技术的进步和成本的降低,预计CT影像学将在KOA的研究和临床实践中发挥越来越重要的作用。

3 基于MRI的影像学指标

随着医学影像学的不断发展,磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)也被逐渐应用于KOA进展的研究,MRI具有高软组织对比度,是临床检查中唯一能清晰显示软骨组织的成像技术,因此它被认为是评估关节软骨的最佳非侵入性方法^[21]。基于MRI影像学检查技术可测得的指标包括传统软骨形态、软骨成分、其它指标等,大量研究表明MRI在KOA中具有良好的应用效果。

3.1 软骨形态 MRI通过常规技术就可以直接评估透明软骨并反映其生化和组织学复杂性,能够提供有关软骨厚度、软骨表面形态、软骨物质内信号变化和软骨下骨异常等信息,在KOA早期时,关节软骨含水量减少、软骨变薄;而在晚期时,软骨消失、关节变窄,导致关节功能丧失。此外,MRI通过最新的技术还能提供有关透明软骨的生化和生理特征的信息,因此,MRI在检测早期软骨病变方面越来越敏感。

MRI软骨参数包括软骨厚度、软骨体积以及相应区域软骨下剥落面积百分比的集中测量^[22]。Edd等^[23]纳入19个符合标准的内侧KOA膝盖,测量五年内从KL1到KL2再到KL3连续进展的股骨软骨T2弛豫时间和厚度的纵向变化,结果表明内侧间室KL1和KL2之间、KL1和KL3之间的T2值增加($P\leq 0.02$),软骨厚度从KL1到KL2和KL3减少($P\leq 0.014$),因此,这些数据支持使用T2弛豫时间分析来检测早期KOA期间的疾病相关变化,而早期是治疗干预的重要时期。王斌等^[24]人发现KOA患者WOMAC评分越大,软骨体积趋于越

小,从而推测软骨体积在KOA患者临床症状进展中起到某种保护作用;KOA患者软骨T2值与K/L分级及WORMS评分具有一定相关性,表明软骨T2值的改变与膝关节BML(骨髓病变)及骨赘的大小相互影响;而软骨T2值对KOA的诊断效能优于软骨厚度和体积,揭示了软骨T2信号强度改变早于软骨形态学改变,可作为KOA辅助诊断或早期预测的影像学征象之一。Chunbo等^[25]纳入600名患有轻度至中度KOA的患者,测量其膝关节MRI软骨参数,包括软骨厚度、软骨体积、软骨下骨暴露面积和软骨厚度均匀性等,并随访12个月和24个月随访时软骨参数的变化,分别构建0个月、12个月、24个月的列线图模型以预测KOA的疾病进展,结果显示各列线图均表现出良好的预测效能,其中基于24个月的列线图模型在决策曲线分析中临床有效性高于其他列线图模型,因此,基于MRI软骨变化的列线图有助于预测轻度至中度KOA的进展。

3.2 软骨成分除了定性或定量的形态学评估外,MRI还可以对软骨的生化成分进行表征和定量,即成分或定量磁共振成像,通过测量细胞外基质的分子结构来详细说明软组织的状态^[26]。关节软骨由高度组织的胶原蛋白和蛋白聚糖网络以及存在于这些大分子之间的水分子组成,KOA患者上述结构被破坏,就会导致蛋白聚糖大小和糖胺聚糖(glycosaminoglycan, GAG)含量的减少以及含水量和流动性的增加,而这些变化无法通过常规MRI充分检测到,需要采用T1p、T2 mapping和软骨延迟钆增强MRI(dGEMRIC)等MRI序列进行分析,这对于早期识别软骨退行性变的进展至关重要^[27]。

T1p mapping技术可使用T1p参数对细胞外基质中运动受限水和大分子之间的低频慢动作相互作用敏感生成T1p弛豫时间图,在检测GAG和水含量方面表现出很高的灵敏度^[28]。T2 mapping可使用T2弛豫时间来评估软骨中大分子的水迁移率和组织,这对于KOA早期形态检测具有潜在作用^[29]。高健等^[30]选取经临床诊断为KOA患者56例(分为轻度KOA组及重度KOA组)另选取18例健康志愿者为正常对照组,上述人员均行3.0T MRI常规扫描及T2 mapping、T1p扫描,分别测量各组膝关节股骨内、外侧髁亚分区关节软骨T2*及T1p值,结果显示T2 mapping及T1p成像可以有效地反映KOA关节软骨组织学成分的改变,并与关节软骨退行性变程度显著相关,通过T2*及T1p值可以对KOA严重程度进行评估($P<0.05$),并且两者具有一定的相关性,两者互补对早期KOA诊断有重要的临床应用价值。间接测量软骨中GAG含量的另一种可用方法是dGEMRIC,基于T1值图通过钆造影剂(GBCA)扩散在低GAG浓度区域的积累来进行评估^[31]。Van等^[32]纳入12例KOA患者,在全膝关节置换术前利用3.0T磁共振进行了dGEMRIC和T1p mapping成像,分别在六个感兴趣的软骨区域计算dGEMRIC和T1p mapping的结果,并在全膝关节置换术期间采集股骨和胫骨软骨中软骨硫酸化糖胺聚糖(sGAG)和胶原蛋白含量,最后采用四维多变量混合效应模型同时评估dGEMRIC和T1p定位结果与上述成分含量的相关性,结果显示dGEMRIC可以帮助准确测量KOA患者体内软骨sGAG含量,而T1p定位似乎不适合。

近年来,钠MRI、弥散加权成像(DWI)、弥散张量成像(DTI)等MRI影像学技术逐渐成熟,其对于KOA进展软骨成分研究中均有着不错的应用前景,然而这些方法目前并未广泛使用,有待进一步推广发展。

3.3 其它指标 MRI针对KOA进展的研究传统上主要集中于软骨,然而事实上KOA并不是单纯受软骨作用而导致的,它是关节中不同结构相互作用的结果^[33-34]。因此,基于MRI对KOA进展除软骨以外结构的研究还有很多,例如前交叉韧带(anterior cruciate ligament,

ACL)、IFP等,其均对KOA进展研究具有一定的指导作用。

目前,KOA患者疼痛和机械功能失调的机制尚不完全清楚,但其涉及所有关节结构和多个相互关联的通路,其中就包括ACL。在受KOA影响的患者中,约20-40%发生偶发性ACL受损,伴有纤维退化、切迹宽度和深度的改变,ACL受损会导致膝关节生物力学失衡改变,因此可能会增加KOA发生的风险^[35]。Ping等^[36]纳入337例发生KOA的膝关节与337例对照膝关节,利用MR图像提取ACL的成像特征,并建立ACL信号强度改变的半定量评分,结果证实ACL信号强度改变越严重,与KOA发生的关系越强,这表明未来应该更加重视ACL退化,而不是ACL完整性。

除了基于CT检查对IFP的研究以外,MRI检查同样也可以对其展开研究,并且相较于CT检查,MRI检查能够利用特殊序列显示更多IFP细节,提供更多定量信息,其中包括信号强度、面积变化等^[37]。Wang等^[38]纳入90名符合条件的受试者,基于T2加权脂肪抑制MRI来评估IPFP的信号强度变化、最大矢状面面积和深度,结果显示IFP信号强度和面积改变与膝关节临床症状相关,结构异常和40岁以上成年人的屈曲角度分别存在,说明IFP可能是早期和中期KOA的关键影像学生物标志物。

除此之外,基于MRI优秀的成像技术,相信未来会有更多的MRI扫描技术投入临床,进而进一步推动KOA进展与影像学指标等线关性的研究^[39-40]。

4 总结和展望

随着全球老龄化程度的加深,KOA的发病率在逐年攀升,但是由于医学影像诊断与临床诊疗制度发展的不同步,目前KOA的分级诊疗情况并不完善。许多患者往往早期没能够得到及时的诊治而快速发展至膝关节置换阶段,其主要因素还是由于影像学检查对于各个时期的KOA进展程度并不灵敏而导致的。近年来,随着人们对于关节间隙、测量角度、软骨形态、软骨成分等与KOA进展相关指标的深入研究,对于KOA的分级也有了更清晰的认识。因此,对KOA的影像学指标进行更深入的探讨和研究,对于提高早期KOA的诊断敏感性和效率至关重要。这不仅能够提升KOA的整体诊疗质量,而且有助于实现对病情的早期干预和有效管理,从而改善患者的长期预后。

参考文献

- [1] Geng R, Li J, Yu C, et al. Knee osteoarthritis: current status and research progress in treatment (Review) [J]. *Exp Ther Med*, 2023, 26 (4): 481.
- [2] 樊子娟, 王桂彬, 李川, 等. 《中国骨关节炎诊疗指南(2021年版)》解读和评价[J]. *中国循证医学杂志*, 2022, 22 (6): 621-627.
- [3] Liu S, Wang B, Fan S, et al. Global burden of musculoskeletal disorders and attributable factors in 204 countries and territories: a secondary analysis of the global burden of disease 2019 study [J]. *BMJ Open*, 2022, 12: e062183.
- [4] Roemer FW, Demehri S, Omoumi P, et al. State of the art: imaging of osteoarthritis-revisited 2020 [J]. *Radiology*, 2020, 296 (1): 5-21.
- [5] Felson DT, Naimark A, Anderson J, et al. The prevalence of knee osteoarthritis in the elderly. The Framingham Osteoarthritis Study [J]. *Arthritis Rheum*, 1987, 30: 914-918.
- [6] 郑永智, 陈飞飞, 康乾, 等. 膝内翻畸形程度对全膝关节置换术的影响[J]. *中国矫形外科杂志*, 2024, 32 (7): 584-590.
- [7] Ahmed S, Hiba A, Ilya B, et al. Osseous morphological differences in knee osteoarthritis [J]. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 2022, 104 (9): 805-812.
- [8] Jansen MP, Roemer FW, Marijnissen AKCA, et al. Exploring the differences between radiographic joint space width and MRI cartilage thickness changes using data from the IMI-APPROACH cohort [J]. *Skeletal Radiol*, 2023, 52 (7): 1339-1348.

- [9]周清清. DR定量指标预测关节置换风险及卷积神经网络辅助诊断膝骨性关节炎的研究[D]. 南京医科大学, 2018.
- [10]Ratzlaff C, Ashbeck E, Guermazi A, et al. A quantitative metric for knee osteoarthritis: reference values of joint space loss[J]. *Osteoarthritis and Cartilage*, 2018, 26(9): 1215-1224.
- [11]黄亮, 王勇. X射线临床检查膝骨关节病的进展[J]. *中国医疗器械信息*, 2021, 27(10): 18-19, 38.
- [12]沈钰, 董丰琴, 朱艺, 等. 下肢全长负重位 X 线检查在膝关节炎内外翻畸形中的临床价值[J]. *现代医用影像学*, 2020, 29(3): 402-406.
- [13]于潇, 马勇, 郭杨, 等. 膝骨关节炎影像学分级同股股及髌股关节轴线角相关性分析[J]. *中国骨伤*, 2023, 36(4): 364-370.
- [14]张雅晨. 膝骨性关节炎K-L分级与下肢力线相关测量的研究[D]. 天津医科大学, 2021.
- [15]胡鸿鹏, 高勇岗, 刘泽明, 等. 膝关节骨关节炎患者膝关节内翻畸形与胫骨旋转角关系的临床研究[J]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2019, 5(2): 99-104.
- [16]Segal N, Rabe K, Lynch J, et al. Detection of meniscal extrusion: comparison of standing computed tomography to non-loaded magnetic resonance imaging[J]. *Osteoarthritis and Cartilage*, 2018, 26(S1): 441-442.
- [17]Guermazi A, Jarraya M, Lynch JA, et al. Reliability of a new scoring system for intraarticular mineralization of the knee: Boston University calcium knee score (BUCKS) [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2020, 28(6): 802-810.
- [18]Liew JW, Jarraya M, Guermazi A, et al. Relation of intra-articular mineralization to knee pain in knee osteoarthritis: a longitudinal analysis in the MOST study[J]. *Arthritis Rheumatol*, 2023, 75(12): 2161-2168.
- [19]Meer E, Patel M, Chan D, et al. Dual-energy computed tomography and beyond: musculoskeletal system[J]. *Radiol Clin North Am*, 2023, 61(6): 1097-1110.
- [20]张敏, 谭辉, 樊秋菊, 等. 能谱CT物质分离技术对膝关节骨性关节炎髌下脂肪垫物质的相关性研究[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2024, 22(1): 162-163.
- [21]Cheng KY, Lombardi AF, Chang EY, et al. Knee cartilage imaging[J]. *Clin Sports Med*, 2021, 40(4): 677-692.
- [22]Roemer FW, Guermazi A, Demehri S, et al. Imaging in osteoarthritis[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2022, 30(7): 913-934.
- [23]Edd SN, Omoumi P, Jolles BM, et al. Longitudinal femoral cartilage T2 relaxation time and thickness changes with fast sequential radiographic progression of medial knee osteoarthritis—data from the osteoarthritis initiative (OAI) [J]. *J Clin Med*, 2021, 10(6): 1294.
- [24]王斌. 多参数磁共振成像在膝关节骨性关节炎患者中的应用研究[D]. 陕西中医药大学, 2022.
- [25]Chunbo D, Yingwei S, Zhan Z, et al. Development and evaluation of nomograms for predicting osteoarthritis progression based on MRI cartilage parameters: data from the FNIH OA biomarkers Consortium[J]. *BMC Medical Imaging*, 2023, 23(1): 43.
- [26]Emanuel KS, Kellner LJ, Peters MJM, et al. The relation between the biochemical composition of knee articular cartilage and quantitative MRI: a systematic review and meta-analysis[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2022 May, 30(5): 650-662.
- [27]Luo P, Lu L, Xu R, et al. Gaining insight into updated mr imaging for quantitative assessment of cartilage injury in knee osteoarthritis[J]. *Curr Rheumatol Rep*, 2024, 26(9): 311-320.
- [28]Link TM, Joseph GB, Li X. MRI-based T1rho and T2 cartilage compositional imaging in osteoarthritis: what have we learned and what is needed to apply it clinically and in a trial setting?[J]. *Skeletal Radiol*, 2023, 52(11): 2137-2147.
- [29]Mallio CA, Bernetti C, Agostini F, et al. Advanced MR imaging for knee osteoarthritis: a review on local and brain effects[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 13(1): 54.
- [30]高健, 胡斌, 王国华, 等. MRI T2 mapping和T1ρ定量成像技术在膝关节骨性关节炎中的应用研究[J]. *医学影像学杂志*, 2022, 32(9): 1567-1571.
- [31]Emanuel KS, Kellner LJ, Peters MJM, et al. The relation between the biochemical composition of knee articular cartilage and quantitative MRI: a systematic review and meta-analysis[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2022, 30(5): 650-662.
- [32]Van TJ, Kotek G, Reijman M, et al. Is T1ρ mapping an alternative to delayed gadolinium-enhanced mr imaging of cartilage in the assessment of sulphated glycosaminoglycan content in human osteoarthritic knees? An in vivo validation study[J]. *Radiology*, 2016, 279(2): 523-31.
- [33]Guerra-González A, da Casa C, Crespo Í, et al. Anterior cruciate ligament innervation in primary knee osteoarthritis[J]. *Histol Histopathol*, 2022, 37(2): 151-157.
- [34]王涛, 张凤翔, 杨金花. 膝关节周围脂肪垫MRI表现与膝关节炎联系的研究进展[J]. *影像技术*, 2024, 36(2): 75-80.
- [35]Lucia C P, Augusto C M, Federica V, et al. Imaging of knee osteoarthritis: a review of multimodal diagnostic approach[J]. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 2023, 13(11): 7582-7595.
- [36]Ping L, Qianyi W, Peihua C, et al. The association between anterior cruciate ligament degeneration and incident knee osteoarthritis: Data from the osteoarthritis initiative [J]. *Journal of Orthopaedic Translation*, 2024, 44: 1-8.
- [37]Zeng N, Yan ZP, Chen XY, et al. Infrapatellar fat pad and knee osteoarthritis[J]. *Aging Dis*, 2020, 11(5): 1317-1328.
- [38]Wang Z, Lu J, Li Z, et al. Qualitative and quantitative measures in the infrapatellar fat pad in older adults: associations with knee pain, radiographic osteoarthritis, kinematics, and kinetics of the knee[J]. *Academic Radiology*, 2024, 31(8): 3315-3326.
- [39]高瑞晖, 郝金华, 邓日明, 等. 1.5T MRI不同3D序列对膝关节半月板根部成像效果比较[J]. *罕少疾病杂志*, 2022, 29(05): 88-90.
- [40]陈亚龙, 肖新广, 上官建伟. 磁共振FLAIR-FS序列成像在诊断早期膝关节滑膜炎中的应用研究[J]. *罕少疾病杂志*, 2024, 31(04): 92-94.

(收稿日期: 2024-07-24)

(校对编辑: 韩敏求)