

探讨步态分析在膝关节生物力学失衡中的临床应用

文家涛¹, 任世定², 王悦良², 林佳炯¹, 韦兆益¹, 王明杰^{2*}

¹广西中医药大学研究生院, 广西 南宁

²广西中医药大学第一附属医院骨伤科, 广西 南宁

收稿日期: 2023年7月13日; 录用日期: 2023年8月3日; 发布日期: 2023年8月15日

摘要

步态分析是定量评估步态障碍的有效工具, 它可提供功能诊断、治疗计划评估和疾病进展监测。目的可以分为三个不同的类别, 分别是: 描述特定人群在步行时的运动特征和步态模式、对特定人群的步行功能和严重程度进行评估分类和比较、评估特定治疗干预对步态障碍的改善效果和影响因素。通过文献整理分析发现: 膝关节步态分析研究主要集中在前交叉韧带损伤与重建、膝骨关节炎、半月板损伤及修复、髌骨病变等方面。该综述强调了膝关节生物力学失衡的主要步态特征和适应性疾病。综述还指出了膝关节步态分析的一些局限性和挑战, 并提出了未来研究的一些方向。因此本文系统汇总了近些年国内外对上述及其它膝关节疾病步态分析的相关文献, 总结了近几年来关于该研究范畴的最新进展。

关键词

步态分析, 生物力学, 膝关节, 前交叉韧带, 半月板, 膝骨关节炎

To Explore the Clinical Application of Gait Analysis in Knee Biomechanical Imbalance

Jiatao Wen¹, Shiding Ren², Yueliang Wang², Jiajiong Lin¹, Zhaoyi Wei¹, Mingjie Wang^{2*}

¹Graduate School of Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning Guangxi

²Department of Orthopedics and Traumatology, The First Affiliated Hospital of Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning Guangxi

Received: Jul. 13th, 2023; accepted: Aug. 3rd, 2023; published: Aug. 15th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 文家涛, 任世定, 王悦良, 林佳炯, 韦兆益, 王明杰. 探讨步态分析在膝关节生物力学失衡中的临床应用[J]. 临床医学进展, 2023, 13(8): 12770-12776. DOI: 10.12677/acm.2023.1381790

Abstract

Gait analysis is an effective tool for quantitative assessment of gait disorders, which can provide functional diagnosis, treatment plan evaluation and disease progression monitoring. Objectives can be divided into three different categories, namely: describing the movement characteristics and gait patterns of specific groups of people during walking, evaluating and comparing the walking function and severity of specific groups of people, and evaluating the improvement effect and influencing factors of specific treatment interventions on gait disorders. Through literature analysis, it is found that the gait analysis of knee joint mainly focuses on anterior cruciate ligament injury and reconstruction, knee osteoarthritis, meniscus injury and repair, patellar lesions and so on. This review highlights the main gait characteristics and adaptive diseases of knee biomechanical imbalance. The review also points out some limitations and challenges of knee gait analysis, and proposes some directions for future research. Therefore, this paper systematically summarizes the relevant literature on gait analysis of the above and other knee diseases at home and abroad in recent years, and summarizes the latest progress in this research category in recent years.

Keywords

Gait Analysis, Biomechanics, Knee Joint, Anterior Cruciate Ligament, Meniscus, Knee Osteoarthritis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

步态分析(gait analysis)是利用力学原理、处理手段和已经掌握的人体解剖、生理学知识对人体行走功能状态进行分析的一种生物力学研究方法[1]。随着现代科技的发展,尤其是计算机,表面肌电仪、压力分布测试系统、动作捕捉系统的高精度仪器的逐步应用,使步态分析应用领域更广泛、程度更深、内容更专业[2]。步态分析可以帮助人们了解自己的行走方式,发现潜在的问题,改善身体功能和运动效率,也可以为医生和康复师提供客观的数据,指导治疗和训练计划,还可以促进运动生物力学的研究,探索人体运动的规律和机理。本文通过对国内外对膝关节异常步态的相关文献进行检索,分析并总结对临床诊断具有意义的诊察要点,从而通过步态分析为特定人群的疾病诊断提供方向。

2. 步态分析在前交叉韧带相关疾病中的研究

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)是膝关节运动学和生物力学的重要结构,是膝关节中四个主要韧带之一,其主要约束和限制胫骨前移,对内外翻应力也有一定作用。膝关节 ACL 损伤是常见的膝关节损伤之一,ACL 位于膝关节的中心,控制着胫骨相对于股骨的旋转和前向运动,因为它抵抗胫骨前移和旋转负荷,当 ACL 损伤时,它会造成膝关节前方和旋转方向上的不稳定性,影响股骨和胫骨之间的正常运动,进而导致步态异常[3]。

Park JH 等[4]对 114 例单侧 ACL 完全断裂的患者进行膝关节生物力学分析,比较了受损侧与健侧膝关节在轴向和矢状面的运动学和动力学差异,发现 ACL 断裂患者在行走时主要表现为膝关节屈曲角度和

内外翻力矩减少, 内外旋角度和力矩增加。Kokkotis C 等[5]使用机器学习方法, 对 151 例受试者的三维地面反作用力、矢状面运动学和动力学参数进行了分析, 发现 ACL 损伤患者在行走时主要表现为膝关节屈曲角度、内外旋角度和内外旋力矩减少, 而在步态周期的早期与晚期, 内外翻角度和内外翻力矩增大。综上, ACL 损伤患者在行走时主要表现为膝关节屈曲角度减少。缘由受损膝关节的屈曲角度通常小于健侧膝关节或正常人的屈曲角度, 这可能是为了减少膝关节的不稳定性和疼痛感。形体上, 受损膝关节的内外旋角度通常大于健侧膝关节或正常人的内外旋角度, 这可能是为了增加膝关节的稳定性和补偿内外翻力矩的不足。这些步态变化可能导致膝关节的对称性和协调性降低, 影响行走效率及舒适度。功能解剖上, 受损膝关节的屈伸力矩通常小于健侧膝关节或正常人的屈伸力矩, 这可能是由于 ACL 损伤导致的前后稳定性减弱, 使得受损膝关节在前后方向上承受更大的应力。这些步态变化可能致使膝关节的负荷分布不均, 增加软骨与骨头磨损或退变, 进而导致骨关节炎的发生和发展。

临床上, ACL 损伤常采取前交叉韧带重建(anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR)。赵立连等[6]回顾性分析了 270 例 ACLR 并进行了二次关节镜探查的病例, 使用各种评分和测试评价膝关节功能和稳定性; 三维运动捕捉步态分析系统比较膝关节自由度运动学参数, 发现采用自体腘绳肌腱重建 ACL 可获得较好的膝关节稳定性和功能。Erhart-Hledik JC 等[7]提出一个假设: ACLR 术后 2 年的膝关节步态力学两侧差异与长期患者报告的结果评分变化相关。并研究了 16 名接受单侧 ACLR 的患者进行步态分析, 测量他们的膝关节运动学、动力学和能量消耗, 并用 Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) 评估他们的膝关节功能和疼痛。研究认为 ACLR 术后 2 年的步态力学两侧差异可以作为预测长期患者报告结果变化的一个指标, 也可以作为评估 ACLR 效果和康复方案的一个参考。还有学者观察到, ACLR 组在行走时表现出与正常组相似的膝关节屈曲角度, 但仍然存在较高的内翻角度和胫骨内旋角度[8]。上诉研究表明, 步态分析可以帮助评估重建手术效果, 指导康复训练, 预防并发症, 提高运动功能。

3. 步态分析在膝骨关节炎中的研究

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是一种膝关节的退行性慢性疾病, 该病患病几率随年龄增长而增加, 在 60 岁及以上时, 10%的男性和 18%的女性表现出 KOA 症状[9]。关于 KOA 的发生与进展, 应考虑多种可改变的危险因素, 如膝关节错位和肌无力。就不利的适应性代偿性运动发生而言, 更深入的了解 KOA 的发展与膝关节生物力学失衡的关系, 可能会改善临床决策并适当干预治疗方案。

比较 KOA 患者和健康受试者之间生物力学参数, 步态分析的研究报告了患者群体中的几种步态模式缺陷。不同学者观察到的缺陷包括但不限于膝关节屈曲角度减少, 导致行走速度降低、步幅缩短, 步态周期延长, 步行效率降低[10]; 而膝关节屈曲力矩减少, 导致股四头肌无力和肌活力降低, 膝关节不稳定, 易受外力影响, 还易导致未受累关节的代偿模式[11][12]; 膝关节内收受力矩增加, 导致内侧关节间隙受压, 外侧关节间隙张开, 除了导致内外侧肌肉受力不同, 还会加速软骨退变和骨质增生; 此外, 承重反应期与支撑相期膝关节运动范围缩小、双下肢在整个时间空间步态参数的区别[13]。根据以上步态分析, KOA 患者病情发展易导致以下几点, 局部功能解剖方面: 易致 KOA 患者的关节软骨发生退行性变, 致使软骨层变薄甚至消失; 还易致骨质增生, 由于关节软骨退变, 导致软骨下骨板受到直接的压力和摩擦, 刺激骨质代谢和重塑; 在负荷较大的部位, 出现软骨下骨硬化、囊变、囊裂等; 在负荷较小的部位, 出现骨赘形成、边缘增厚等; 还会造成 KOA 患者的关节滑液发生改变, 一旦软骨及囊内滑液出现病变, 异常的活动信号极易被步态分析收集单元捕获。形体方面: 关节软骨破坏, 滑液增多, 关节囊扩张导致关节肿胀, 甚者可触及积液; 由于关节软骨不均匀磨损, 骨质增生, 导致关节内外间隙不对称, 出现内翻或外翻的关节畸形; 关节软骨变性, 滑液减少, 关节囊收缩, 导致关节屈伸活动受限, 可出现关节僵硬, 晨起或久坐后僵硬感明显; 关节疼痛和功能障碍导致股四头肌、腘绳肌等下肢肌群活动减少, 出现肌肉

萎缩和力量下降,肌电动力测试系统可收集到肌力矩与肌电输出值的降低。神经反馈方面:关节疼痛是KOA的主要症状,也是影响生活质量的重要因素。关节疼痛的发生机制复杂,涉及到多种神经递质、受体、通道、信号通路等[14]。KOA患者的肌肉收缩发生异常,表现为股四头肌和腘绳肌的收缩力减弱、时相延迟、协调失调等,导致关节不稳、屈伸障碍、步态改变等;当KOA患者的本体感觉发生障碍,表现为对关节角度、速度、方向等信息的判断不准确,导致运动控制和平衡能力下降。步态分析可以为以上KOA特征的诊断、预后和治疗提供有价值的信息。例如,步态分析可以帮助识别KOA的严重程度和进展,以及风险因素和预测因子[15];KOA患者选择非手术干预计划和物理治疗时,目标是优化下肢运动范围和肌肉平衡、减轻疼痛并增加整体肌肉力量。

4. 步态分析在半月板损伤中的应用

半月板是膝关节中的软骨组织,起到缓冲和助力膝关节平滑运动的作用。半月板的外周有血管供应,但内部没有血管,因此自我修复能力很低。剧烈运动使半月板在股骨髁与胫骨之间受到的压迫、旋转、剪切应力、频繁的变换半屈位与伸直位关节角度及关节炎的影响似乎是半月板常见损伤机制[16]。有研究论述尽管不同的半月板损伤与下肢力线的表现关系错综复杂,但半月板损伤与下肢力线偏移关系密切[17][18]。因此下肢力线常作为重要评估依据,评估膝关节半月板损伤的严重程度,也可以评估治疗后的病情恢复情况。其中一种方法是使用正常指数,是指受伤膝盖的步态模式与健康膝盖的步态模式有多接近的量度,可以使用主成分分析计算正常指数,并可用于比较不同类型的半月板损伤,例如前交叉韧带缺陷合并半月板损伤[19]。半月板损伤的步态分析可以揭示膝关节生物力学异常的一些特征。其中一些特征为步幅缩短,步速减慢,步态不协调,患侧膝关节屈曲角度减小[20];垂直地面反作用力减小致使腿部肌肉力量下降,内外翻力矩增大导致半月板受到更大的剪切力,而内外旋角度增大又导致膝关节不稳定和软骨磨损[21][22]。治疗方面,Karahan M等[23]研究了经关节镜下半月板部分切除术后4周和12周的患者步态和双足平衡发现,相较于术后4周,术后12周的步态分析中,患者组的支撑相、步时、总双支撑时间减少,而步长、摆动相、步频、速度增加。作者认为术后患者的步态和平衡能力会逐渐恢复,但仍有改善空间,并使用了步态分析系统进行长期随访。退行性病变引起的半月板损伤,保守疗法治疗对改善疼痛、纠正膝关节生物力学失衡、促进半月板修复有明确疗效[24][25]。未来步态分析可以帮助半月板损伤患者进行个体化的运动康复锻炼,提高膝关节的活动度和肌肉力量,防止肌肉萎缩,减轻膝关节的压力,恢复正常的步态模式,预防骨关节炎的发生。

5. 步态分析在髌骨关节相关疾病中的应用

髌骨脱位的局部相关解剖主要围绕股骨、胫骨、股骨滑车与髌间窝之间的关系。这些结构之间的特殊关系决定着软组织的分布,因而髌骨或是位于滑车沟内,即位于下肢轴线上或稍内侧上。

股骨髌骨韧带的内外侧结构已有诸多研究,它只是一些纤细的纤维结缔组织;半月板韧带与髌骨支持带将髌骨压在股骨滑车上,髌骨韧带将髌骨与胫骨链接,施加向内下方倾斜的拉力,使髌骨不会向上、外侧脱位[26][27]。治疗髌骨脱位大多数要将这也韧带进行重建[28][29]。有研究表明,CT和MRI扫描结合步态股分析仪器如表面肌电仪,可以看到膝关节完全伸直甚至过伸的髌股关节及其周围组织,并通过肌电可以分析出在股四头肌的收缩力为零时的髌骨半脱位情况,可以检测出症状更轻程度的髌骨关节不稳定症状[30][31][32]。在髌骨疼痛(Patellofemoral pain, PFP)方面,Bazett-Jones DM等[33]通过涉及1300名PFP患者和1393名无痛对照组步态特征进行荟萃分析和系统评价,认为PFP患者的行走速度、节奏较慢,步幅缩短,对侧骨盆下降较大,膝关节屈曲角和膝关节伸展力矩较低;与无痛女性相比,PFP女性有更大的髌关节屈曲峰值和足外翻。Aaron Fox等[34]则对比了与健康对照组相比区分急性和慢性PFP

患者的步态运动学。与对照组相比,急性 PFP 亚组在站位上有更大的横向髌关节运动;慢性 PFP 亚组为更大的额平面髌关节运动,更大的膝关节外展及更大的踝关节内翻;二者在早期站立时都表现出更大的膝关节屈曲和更大的踝背屈。

此外,步态分析系统可以精准的测定肌肉的张力而发现异常的肌肉,可以全面地获取关节运动学、生物力学及肌电的参数,尽早发现异常变化,指导临床治疗有的放矢。有学者发现,髌骨软化症女子与正常对照组相比,单支撑阶段膝关节的屈曲显著减少,在摆动阶段股骨外旋转增加,并且在承重反应期足跟触地前就有股骨向内旋转[35]。还有研究通过肌电动力测试系统对髌骨软骨软化症患者大腿肌肉进行耐力测试,与健康的对照组相比,髌骨软骨软化症患者的股四头肌肌力和肌电图激活水平降低,力输出值低了 25%,特别是股四头肌的爆发力降低[36]。这些结果强调如果患者未接受干预和治疗,并反复使用错误的步态,可能会加重病情,进而出现下肢肌电、肌容量、肌力及肌张力等改变。

6. 展望

步态分析已经成为一种可行的评估工具,不仅运用于运动科学或基础生物力学研究,而且还已扩展到临床诊断、监测功能恢复情况和康复治疗中,是非常有价值的工具。相对于传统影像学,步态分析可以提供动态的、连续的、全面的、定量的和客观的步行功能评估,可以在自然环境和日常活动中采取非合作方式进行;而影像学通常只能提供静态的、间断的、局部的、定性的和主观的结构评估,还需要患者在特定环境中采用标准姿势,并且配合医师的临床操作;步态分析收集单元穿戴可持续性,能够在更广泛的环境中收集数据并降低成本,更好地获得患者的生物力学和功能运动数据[37];使用可穿戴传感器的步态分析系统可以使患者在活动中诱导出不适症状;步态分析数据通常还可以保存于移动电子设备之中,方便通过时间尺度进行数据对比,查看疾病恢复或加重程度[38]。

目前,基于步态分析的基础理论及临床应用方面的研究取得了一定成就,但仍存在一些问题待解决[39]。1) 目前步态分析只能用表面肌电仪和足底压力仪等间接方法,结合数学模型估算关节受力和力矩,无法精确测量关节面、肌肉韧带的受力情况。2) 膝关节生物力学失衡患者群的大数据样本不足。步态受身高、体重、性别、年龄、病情严重程度等多种因素影响,需要对个体差异进行分组、对疾病分阶段研究。3) 步态分析系统还未在临床广泛普及,大部分应用于实验室或专业的运动学,未能对潜在的下肢生物力学失衡做出提示,从而提早干预,预防疾病进一步恶化。4) 检测方法因设备而异,行业内缺乏一致的标准,需要进一步研究如何规范,以便更准确、更立体地测量下肢运动学及动力学等参数。5) 目前缺乏基于步态分析系统对疾病的评估标准,导致参数分析结果与现有的疾病诊断、临床分型和严重程度不匹配,需要完善专家共识与相关指南。也需要更多的纵向和随机对照研究,以建立步态参数和膝关节相关疾病的结果之间的因果关系。相信随着对膝关节疾病更深入的了解以及可穿戴传感器技术的进一步发展,将增强步态分析监测和指导膝关节运动和康复的能力。

基金项目

国家自然科学基金项目(82160949);广西壮族自治区中医药管理局自筹经费科研课题(GXZYA20220032);广西中医药大学第一附属医院课题(2020QN025)。

参考文献

- [1] 黄萍,钟慧敏,陈博,等. 正常青年人三维步态:时空及运动学和运动学参数分析[J]. 中国组织工程研究, 2015(24): 3882-3888.
- [2] 张峻霞,高昆,谢兵. 步态分析研究综述[J]. 包装工程, 2022, 43(10): 41-53.
- [3] Cimino, F., Volk, B.S. and Setter, D. (2010) Anterior Cruciate Ligament Injury: Diagnosis, Management, and Preven-

- tion. *American Family Physician*, **82**, 917-922.
- [4] Park, J.H., Choi, M.H., Lee, J., *et al.* (2021) Gait Deviations of Patients with Ruptured Anterior Cruciate Ligament: A Cross-Sectional Gait Analysis Study on Male Patients. *Knee Surgery & Related Research*, **33**, Article No. 45. <https://doi.org/10.1186/s43019-021-00128-w>
 - [5] Kokkotis, C., Moustakidis, S., Tsatalas, T., *et al.* (2022) Leveraging Explainable Machine Learning to Identify Gait Biomechanical Parameters Associated with Anterior Cruciate Ligament Injury. *Scientific Reports*, **12**, Article No. 6647. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10666-2>
 - [6] 赵立连, 卢明峰, 邢基斯, 等. 前交叉韧带重建术后膝关节功能及三维运动步态分析[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2021, 15(1): 23-32.
 - [7] Erhart-Hledik, J.C., Chu, C.R., Asay, J.L. and Andriacchi, T.P. (2017) Gait Mechanics 2 Years after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Are Associated with Longer-Term Changes in Patient-Reported Outcomes. *Journal of Orthopaedic Research*, **35**, 634-640. <https://doi.org/10.1002/jor.23317>
 - [8] Gao, B. and Zheng, N.N. (2010) Alterations in Three-Dimensional Joint Kinematics of Anterior Cruciate Ligament-Deficient and -Reconstructed Knees during Walking. *Clinical Biomechanics*, **25**, 222-229. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.11.006>
 - [9] van der Straaten, R., De Baets, L., Jonkers, I. and Timmermans, A. (2018) Mobile Assessment of the Lower Limb Kinematics in Healthy Persons and in Persons with Degenerative Knee Disorders: A Systematic Review. *Gait Posture*, **59**, 229-241. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.10.005>
 - [10] Sun, J., Liu, Y., Yan, S., *et al.* (2017) Clinical Gait Evaluation of Patients with Knee Osteoarthritis. *Gait Posture*, **58**, 319-324. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.08.009>
 - [11] Winters, J.D. and Rudolph, K.S. (2014) Quadriceps Rate of Force Development Affects Gait and Function in People with Knee Osteoarthritis. *European Journal of Applied Physiology*, **114**, 273-284. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2759-8>
 - [12] Rühling, M., Kirschbaum, S., Perka, C. and Graef, F. (2023) Functional Gait Analysis Reveals Insufficient Hindfoot Compensation for Varus and Valgus Osteoarthritis of the Knee. *International Orthopaedics*, **47**, 1233-1242. <https://doi.org/10.1007/s00264-023-05738-5>
 - [13] Zeng, X., Ma, L., Lin, Z., *et al.* (2017) Relationship between Kellgren-Lawrence Score and 3D Kinematic Gait Analysis of Patients with Medial Knee Osteoarthritis Using a New Gait System. *Scientific Reports*, **7**, Article No. 4080. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04390-5>
 - [14] 王迷娜, 刘璐, 赵洛鹏, 等. 膝关节关节炎因子及信号通路的研究进展[J]. 中国骨伤, 2020, 33(4): 388-392.
 - [15] Taş, S., Güneri, S., Baki, A., *et al.* (2014) Effects of Severity of Osteoarthritis on the Temporospacial Gait Parameters in Patients with Knee Osteoarthritis. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, **48**, 635-641. <https://doi.org/10.3944/AOTT.2014.13.0071>
 - [16] 林定坤, 曹学伟, 宇飞鹏, 等. ZYYXH/T402-2012 膝关节半月板损伤[S]. 北京: 中华中医药学会, 2012.
 - [17] 傅德杰, 杨柳, 郭林. 半月板损伤与下肢力线[J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29(4): 330-333.
 - [18] 许涛, 周游. 下肢力线与内侧半月板损伤修复新进展[J]. 中国骨伤, 2022, 35(6): 595-600.
 - [19] Liu, X.D., Huang, H.S., Ren, S., Rong, Q.G. and Ao, Y.F. (2020) Use of the Normalcy Index for the Assessment of Abnormal Gait in the Anterior Cruciate Ligament Deficiency Combined with Meniscus Injury. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, **23**, 1102-1108. <https://doi.org/10.1080/10255842.2020.1789119>
 - [20] Lin, Z.F., Huang, W.H., Ma, L.M., *et al.* (2018) Kinematic Features in Patients with Lateral Discoid Meniscus Injury during Walking. *Scientific Reports*, **8**, Article No. 5053. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22935-0>
 - [21] Liu, X., Huang, H., Yin, W., *et al.* (2020) Anterior Cruciate Ligament Deficiency Combined with Lateral and/or Medial Meniscal Injury Results in Abnormal Kinematics and Kinetics during Level Walking. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, **234**, 91-99. <https://doi.org/10.1177/0954411919886763>
 - [22] 吴铮, 任静, 万建杉, 等. 步态周期下半月板损伤对膝关节生物力学性能的影响[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(21): 3299-3303.
 - [23] Karahan, M., Özcan, M. and Cıgali, B.S. (2022) Balance Evaluation and Gait Analysis after Arthroscopic Partial Meniscectomy. *Indian Journal of Orthopaedics*, **56**, 1199-1205. <https://doi.org/10.1007/s43465-022-00621-8>
 - [24] 成向东, 刘佳. 保守疗法治疗膝关节半月板损伤的临床观察[J]. 中国医药导报, 2016, 13(9): 104-107, 111.
 - [25] 向伟明, 丁思明, 黄焕强, 等. 针刀治疗膝关节半月板损伤临床观察[J]. 上海针灸杂志, 2015(10): 981-985.
 - [26] Tanaka, M.J., Chahla, J., Farr II, J., *et al.* (2019) Recognition of Evolving Medial Patellofemoral Anatomy Provides

- Insight for Reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **27**, 2537-2550. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5266-y>
- [27] Hinckel, B.B., Gobbi, R.G., Kaleka, C.C., *et al.* (2018) Medial Patellotibial Ligament and Medial Patellomeniscal Ligament: Anatomy, Imaging, Biomechanics, and Clinical Review. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **26**, 685-696. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4469-y>
- [28] 罗亮, 向飞帆, 梁杰, 等. 髌股内侧韧带重建治疗非骨性畸形复发性髌骨脱位的效果分析[J]. 实用骨科杂志, 2022, 28(7): 663-666.
- [29] Bailey, M.E.A., Metcalfe, A., Hing, C.B., Eldridge, J. and BASK Patellofemoral Working Group (2021) Consensus Guidelines for Management of Patellofemoral Instability. *The Knee*, **29**, 305-312. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2021.02.018>
- [30] Hinckel, B.B., Gobbi, R.G., Demange, M.K., *et al.* (2017) Medial Patellofemoral Ligament, Medial Patellotibial Ligament, and Medial Patellomeniscal Ligament: Anatomic, Histologic, Radiographic, and Biomechanical Study. *Arthroscopy*, **33**, 1862-1873. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2017.04.020>
- [31] 侯俊鹏, 张旭辉. 髌骨不稳的诊断及治疗现状[J]. 实用医药杂志, 2018, 35(5): 467-470.
- [32] Väättäin, U., Kiviranta, I., Jaroma, H., *et al.* (1994) Lateral Release in Chondromalacia Patellae Using Clinical, Radiologic, Electromyographic, and Muscle Force Testing Evaluation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **75**, 1127-1131. [https://doi.org/10.1016/0003-9993\(94\)90089-2](https://doi.org/10.1016/0003-9993(94)90089-2)
- [33] Bazett-Jones, D.M., Neal, B.S., Legg, C., *et al.* (2023) Kinematic and Kinetic Gait Characteristics in People with Patellofemoral Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, **53**, 519-547. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01781-1>
- [34] Fox, A., Ferber, R., Saunders, N., Osis, S. and Bonacci, J. (2018) Gait Kinematics in Individuals with Acute and Chronic Patellofemoral Pain. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **50**, 502-509. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001465>
- [35] Dillon, P.Z., Updyke, W.F. and Allen, W.C. (1983) Gait Analysis with Reference to Chondromalacia Patellae. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, **5**, 127-131. <https://doi.org/10.2519/jospt.1983.5.3.127>
- [36] Väättäin, U., Airaksinen, O., Jaroma, H. and Kiviranta, I. (1995) Decreased Torque and Electromyographic Activity in the Extensor Thigh Muscles in Chondromalacia Patellae. *International Journal of Sports Medicine*, **16**, 45-50. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972962>
- [37] Boekesteijn, R.J., Smolders, J.M.H., Busch, V.J.J.F., Geurts, A.C.H. and Smulders, K. (2021) Independent and Sensitive Gait Parameters for Objective Evaluation in Knee and Hip Osteoarthritis Using Wearable Sensors. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **22**, Article No. 242. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04074-2>
- [38] Hamilton, R.I., Williams, J., Holt, C. and OATech Network + Consortium (2022) Biomechanics beyond the Lab: Remote Technology for Osteoarthritis Patient Data—A Scoping Review. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, **3**, Article ID: 1005000. <https://doi.org/10.3389/fresc.2022.1005000>
- [39] 郎松, 何毓玺, 吕波. 步态分析在膝关节骨性关节炎诊断中的应用[J]. 中华中医药学刊, 2016, 34(10): 2427-2430.