

• 综 述 •

前交叉韧带损伤研究进展

王静宇, 林小慧 综述, 李晓兰[△] 审校

(重庆医科大学附属大学城医院放射科, 重庆 401331)

[摘要] 膝关节前交叉韧带损伤是一种常见的运动损伤, 该损伤会导致膝关节不稳, 降低患者运动能力, 从而影响患者生活质量。该文就膝关节前交叉韧带的解剖、损伤危险因素、影像学表现和治疗方面进行综述, 旨在为临床预防和治疗前交叉韧带损伤提供进一步认识。

[关键词] 膝关节; 前交叉韧带; 影像学检查; 综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2024.01.024 **中图法分类号:**R686

文章编号:1009-5519(2024)01-0122-05

文献标识码:A

Research progress of anterior cruciate ligament injuryWANG Jingyu, LIN Xiaohui, LI Xiaolan[△]

(Department of Radiology, University-Town Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 401331, China)

[Abstract] Anterior cruciate ligament (ACL) injury of knee joint is a common sports injury, which can lead to instability of knee joint, reduce the movement ability of the patients, and affect the quality of life of the patients. This paper reviews the anatomy, injury risk factors, imaging findings and treatment of the anterior cruciate ligament of the knee aiming to provide further understanding for clinical prevention and treatment of anterior cruciate ligament injury.

[Key words] Knee joint; Anterior cruciate ligament; Imaging examination; Review

膝关节是人体最大、最复杂的关节, 前交叉韧带 (ACL) 是维持膝关节稳定的重要结构, 其损伤在膝关节损伤中最为常见。ACL 损伤会使患者膝关节稳定性降低, 生物力学改变, 导致膝关节功能障碍, 并可能产生骨性关节炎等严重后果, 影响患者生活质量^[1-2]。关节镜下 ACL 重建术 (ACLR) 是目前治疗 ACL 损伤的主要方法^[3]。近年来, 学者们对 ACL 损伤不断探索, 并在 ACL 解剖及 ACL 损伤的诊断、治疗等方面取得了较大的进步。然而, ACL 的损伤及损伤后重建术失败的发生率仍居高不下^[3]。因此, 本文就 ACL 的解剖、损伤机制及危险因素、影像学表现和治疗等方面的研究进行系统综述, 旨在梳理目前 ACL 研究发展现状, 为临床有效预防和诊治 ACL 损伤提供认识。

1 ACL 的大体解剖及功能

ACL 起自股骨外侧髁内面后部, 穿过髁间窝, 止于胫骨髁间隆突前方, 主要维持膝关节前向和旋转稳定性。一般认为, ACL 分为前内侧束 (AMB) 和后外侧束 (PLB); AMB 分布于股骨止点后上部分至胫骨止点前内部分, PLB 分布于股骨止点前下部分至胫骨止点后外部分。在膝关节不同运动角度, 两束功能也有所不同: AMB 在屈膝时张力最高, 主要是限制胫骨

前后移动, PLB 在伸膝时张力最高, 主要是限制胫骨内旋, 两者的非同步收缩维持了膝关节的整个活动功能^[4]。除了维持膝关节稳定的生物力学功能外, ACL 还具有本体感觉功能。研究表明, ACL 本体感受器主要分布于韧带的止点两端, 占 ACL 总体积的 1.0%~2.5%。ACL 可通过本体感受器向大脑传递膝关节压力、位置、角度、伤害刺激等信息, 通过“ACL-腓绳肌反射弧”进行调节, 产生腓绳肌的收缩, 对抗胫骨前移, 进一步维持膝关节动态稳定性^[2]。

2 ACL 损伤机制及危险因素

2.1 ACL 损伤机制 ACL 损伤分为接触性损伤和非接触性损伤。接触性损伤是指外力直接作用于膝关节导致的 ACL 损伤, 常见于交通事故或者高处坠落等。非接触性损伤是由于各种急停、变向等运动过程中突然减速或改变方向, 股四头肌收缩产生的过度轴向应力和扭转剪切应力共同引起的胫骨异常前移和内旋, 在足部触地早期尤为明显。大部分 ACL 损伤为非接触性损伤, 在足球、篮球、滑雪等运动项目中多见^[3]。因此, 笔者认为, 对于某些专项运动员, 应高度重视他们 ACL 的损伤情况。

2.2 ACL 损伤危险因素 膝关节是人体最复杂的关节, 其损伤的危险因素也并不是单一的。ACL 损伤

[△] 通信作者, E-mail: 283783653@qq.com.

的危险因素涵盖了个体解剖、遗传内分泌(如性别、激素水平)、神经肌肉因素、环境变量等诸多方面^[4]。其中,对股胫关节骨解剖形态的正确认识,可以预测 ACL 损伤发生的危险性和 ACL 重建术效果,并指导 ACL 重建术。

2.2.1 股骨 研究发现,股骨髁形态的改变可以引起膝关节生物力学的变化,影响 ACL 受力的情况而增加其损伤的风险。膝关节由伸直到屈曲的过程中,胫骨内旋增加,由于 ACL 从外侧向内侧螺旋,因此缠绕在自身上并随着胫骨内旋转而增加张力^[5]。FU 等^[6]认为较大的股骨内侧髁和较小的外侧髁可能使股骨相对于胫骨外旋,影响股骨与胫骨的相对运动,产生额外的胫骨内旋力矩,增加 ACL 的张力。有学者对 100 例 ACL 损伤伴活动水平受限的患者进行了为期 5 年的随访,调查了导致 ACL 损伤后膝关节不稳定的潜在骨骼因素,发现球形的股骨髁与保守治疗失败的患者相关^[7]。

多数学者认为,狭窄的股骨髁间窝可能是 ACL 损伤的危险因素。因为狭窄的髁间窝易与 ACL 发生撞击,加之狭窄髁间窝内 ACL 的尺寸更小,从而使得薄弱的 ACL 更易发生损伤^[8]。因此,有学者主张在 ACL 重建时对狭窄的髁间窝进行成形手术,避免 ACL 的二次损伤^[4]。随着研究的深入,描述髁间窝形态学的不同参数及其影响因素也逐渐被认知。目前,影像学常用的髁间窝形态学二维分型法是 A/U/W 分型方法。AL-SAEED 等^[9]对 560 例患者进行 MRI 研究,将髁间窝形态分为三类:A 型(从底部到顶部逐渐变窄,呈锥形)、U 型(从底部到顶部宽度基本一致,形似倒置的字母“U”)和 W 型(整体与 U 型类似,但内部有一个明显的凸起,呈双顶样)。其中,A 型髁间窝更易引起 ACL 损伤。此外,也有标本及关节镜下的分型^[10-11],但不同分型间的对应关系有待进一步明确。股骨髁间窝宽度指数(NWI)是髁间窝宽度与股骨髁宽度的比值,因 NWI 可以更好地避免个体差异,因此,其相较于股骨髁间窝宽度可以更好地描述髁间窝的大小,是目前最常用的髁间窝形态学指标。股骨髁间窝容积是一个三维概念,对于衡量股骨髁间窝这一三维结构来说,具有更高的准确性。JHA 等^[4]研究认为,二维参数与髁间窝体积间无明确相关性,不能够简单地用二维参数替代髁间窝体积。以上髁间窝形态学参数的正常参考值及其与 ACL 损伤间的关系仍未得到确定,这可能与研究的人种、测量方法不同等有关,且多种因素对髁间窝形态均存在影响。因此,在髁间窝形态学研究中应注意这些因素,探寻适用性更高的实验方法,以提高研究的科学性与准确性。

2.2.2 胫骨 胫骨平台与 ACL 间的解剖关系决定了它和 ACL 损伤及损伤重建失效间的密切相关性。

STURNICK 等^[12]认为,胫骨外侧髁间嵴体积的减少与 ACL 损伤的风险增加有关。XIAO 等^[13]发现,ACL 损伤组的胫骨髁间嵴宽度和宽度指数明显小于对照组。CAY 等^[14]评估了胫骨平台和胫骨髁间嵴之间的角度即胫骨平台角与胫骨髁间角,结果显示,所有 ACL 病例组的外侧胫骨平台角和胫骨髁间角平均值均显著升高,这表明较浅的外侧胫骨平台会导致 ACL 的张力增加,这可能是 ACL 损伤的危险因素。研究表明,增大的胫骨平台后倾角(PTS)是 ACL 损伤的重要危险因素。负重时,PTS 的增大使胫骨前移幅度加大,尤其是当内侧胫骨平台后倾角(MPTS)较小而外侧胫骨平台后倾角(LTPS)较大时,股骨远端沿胫骨外侧平台的滑动更为明显,使股骨外旋和胫骨内旋增大。由于 ACL 可以限制胫骨过度前移及内旋,因此 PTS 过大会增加 ACL 承受的应力,从而增加 ACL 断裂的风险^[15]。过大的 PTS 不仅是 ACL 损伤的危险因素,也是 ACLR 失效的危险因素。ACL 损伤后胫骨前移的程度则会直接影响到术后的效果,而 ACLR 后失效的患者常伴随着过度的胫骨前移(ATT)。倪乾坤等^[16]研究显示,PTS $\geq 17^\circ$ 的患者平均具有 4 倍以上的风险存在负重位 ATT ≥ 6 mm 的情况,这表明增大的 PTS 是 ATT 的一个独立危险因素。故有学者提出,在 ACL 重建时应行胫骨前方闭合截骨术以矫正过大的 PTS,减少胫骨前移^[15]。而由于测量的方法不同,尚未形成公认的 PTS 临界值。事实上,临床工作中在 ACL 重建时对上述各结构进行手术干预的指征尚不明确。

3 影像学在 ACL 损伤中的应用

3.1 超声 超声具有经济、灵活、可重复性好等优点,伴随着关节表面探头和超声技术的发展,超声在 ACL 损伤的筛查和评估中逐渐得到应用。正常的 ACL 长轴面表现为连续性完整、边界清晰、粗细均匀、张力较好的斜行低回声带;ACL 损伤时,表现为韧带增粗或变细、回声增粗增强,断裂时回声不连续、漂浮或消失。有学者分析超声测量术前半腱肌腱和股薄肌腱直径与移植过程中测得的实际直径之间的相关性,结果表明术前超声测量腓绳肌肌腱是预测其手术直径的有效方法^[17]。但由于探头频率、膝关节体位等不同,ACL 显示也有所差异;超声成像属于二维成像,而 ACL 是三维走行,且 ACL 损伤常伴有周围半月板等其他组织的损伤,超声的成像特点使部分结构显示不佳,对于 ACL 损伤整体的评估尚需更多的研究进一步探索。

3.2 CT DECT 可以通过彩色编码,显示 ACL 的损伤,具体表现为“双能染色减少征”,即损伤的 ACL 染色程度偏低甚至不染色。FICKERT 等^[18]的离体动物实验表明,对于 ACL 部分撕裂的显示,DECT 在显示前内侧束的特异性及后外侧束的敏感性方面甚

至优于 MRI。急性 ACL 损伤后伴随的骨髓水肿也可以通过相同的原理进行显示。同时,CT 三维成像有助于 ACL 损伤重建术前和术后骨隧道的评估;CT 扫描图像还可以为三维有限元分析评估 ACLR 移植物尺寸、移植物预牵张力、生物力学分析提供原始图像数据^[19-20]。

3.3 MRI MRI 软组织分辨率高的特点使其广泛应用于膝关节损伤的影像学诊断。正常的 ACL 在磁共振压脂图像上表现为连续、较均匀的带状低信号;ACL 损伤后韧带增粗,韧带内可见局灶或弥漫性高信号,ACL 完全撕裂时信号不连续,断端挛缩^[21]。然而,对于 ACL 部分撕裂,MRI 诊断的敏感度、特异度仍较低^[22],原因体现在以下几个方面:(1) ACL 黏液样变性时会出现类似撕裂水肿的高信号;(2) 由于部分容积效应或动脉搏动伪影的影响,ACL 会显示不同程度的高信号;(3) 含水结缔组织包裹 ACL 双束结构,会有高信号出现,与韧带撕裂类似;(4) 斜矢状位的扫描方向通常为外旋 15°,当扫描层面与韧带走行不平行时,有时无法将 ACL 的全长显示出来,容易漏诊 ACL 部分撕裂。尽管研究发现,不同膝关节屈曲位可以较伸直位更好地显示 ACL 结构,然而目前,临床上膝关节 MRI 扫描采用的常规体位主要是仰卧伸直位,屈曲位扫描并未广泛应用于临床,且对于扫描最佳屈曲角度仍无统一论^[22]。因此,当直接征象不足以诊断或存疑时,可以参考 Notch 征(股骨外侧髁凹陷加深或发生局部骨挫伤)、对吻性骨挫伤(股骨外侧髁及胫骨平台后外侧骨挫伤)、半月板后角裸露征(外侧半月板后角后缘切线位于胫骨后缘皮质切线后方)、胫骨前移(股骨外侧髁中部的矢状面,胫骨后缘垂直线位于股骨髁后缘垂直线前方 5 mm)等间接征象以提高诊断的准确性^[23]。

除了常规 MRI 成像,磁共振功能成像及机器学习在 ACL 损伤辅助诊断中也逐渐崭露头角。李培等^[24]发现磁共振扩散张量成像可以反映 ACL 损伤的程度,为 ACL 损伤提供微观结构变化的影像诊断依据。机器学习通过对 ACL 损伤建立决策支持模型,为医生对 ACL 损伤的诊断提供参考^[25]。MRI 在 ACLR 术前和术后同样发挥着重要的作用。重建术骨道、移植物尺寸和移植物成熟度的评估可以通过 MRI 完成。GRASSO 等^[26]利用高分辨率 MRI 对术中骨道进行数字化处理并与三维 CT 结果进行对比,结果无显著差异,这表明了高分辨率 MRI 评估重建术骨道位置的可靠性。ZAKKO 等^[27]用 MRI 进行术前腘绳肌腱直径截面测量,其结果和术中移植物直径具有高度相关性,这表明 MRI 准确测量可用于术前协助患者进行适当的移植选择。MRI 移植物的信噪比被认为可以作为评价移植物成熟度的指标^[28]。然而,尽管这些研究具有临床意义,但在临床工作中仍

未得到普遍应用。

4 ACL 损伤的治疗

ACLR 可以预防膝关节继发软骨、半月板等结构的损伤,提高 ACL 损伤膝关节的运动水平,是目前治疗 ACL 损伤的主要方法,但 ACL 损伤后是否进行手术治疗受患者的年龄、膝关节其他结构合并损伤情况、运动水平及期望值等多种因素决定,且 ACLR 后手术失效和术后并发症的发生并不罕见^[3,29]。在 ACLR 中,移植物的选择、移植物直径及大小、骨隧道的定位等是 ACLR 成功的关键。目前,ACLR 的移植物包括自体肌腱、同种异体肌腱和人工韧带 3 种主要类型,但移植物的选择仍是当今的研究热门以及争议点所在。我国现阶段临床最常用的移植物是自体肌腱^[30]。骨-髌腱-骨作为曾经的“金标准”,具有骨-骨愈合程度良好、韧带抗牵拉能力强、术后松弛和断裂率低等优点;但也因其伸膝力量受损、膝前痛及增加髌骨骨折、髌腱断裂、髌股骨性关节炎风险等显著缺点,近些年来使用率逐渐降低。所以,尽管自体腘绳肌腱作为纯软组织结构在移植后腱骨愈合的情况不理想,但其目前仍然是应用最广泛的自体移植植物来源。同种异体肌腱因排斥反应、组织来源可靠性、质量与强度衰减、疾病传播等风险,10 年失败率较高,因此使用逐渐减少。人工韧带中,韧带先进增强装置(LARS)人工韧带具有模仿人体韧带的解剖结构和较强的抗疲劳强度,短期可以获得较好的临床效果。我国的一项多中心研究显示,LARS-ACLR 的远期累积失败率为 4.5%,低于采用自体移植植物和异体移植植物的同类手术^[31]。同样,LARS 也存在着固定物松动、组织相容性较差等缺点。为了弥补以上不足,临床上有学者将自体韧带材料和 LARS 人工韧带材料相结合进行 ACL 重建,而其远期效果有待进一步探究^[32]。先前的一项研究认为,当移植物直径增加至 7~10 mm 时,直径越大其膝关节恢复功能越好、并发症越少;而罗学辉等^[30]的临床试验显示,重建移植物直径在 7~9 mm 时,ACL 重建移植物直径越大,关节稳定性越好^[33];而重建移植物直径为 8 mm 可获得更好的关节功能评分,这表明移植物直径大小变化与关节功能评分并不呈现正相关的变化。可能是随着移植物直径的增大,前后交叉韧带相互干涉影响严重,产生病理性撞击,从而反过来影响膝关节的正常功能。

骨道位置不准确会导致移植物承受过大张力或与膝后交叉韧带产生撞击,是重建手术失败的最主要原因^[1]。传统手术定位主要是靠经验定位,更容易造成骨隧道位置不准确,从而增大手术失败风险。而 3D 打印和计算机导航等人工智能技术的出现可为 ACL 重建提供骨隧道更精准的定位。NI 等^[34]通过 3D 打印导板技术对 20 具尸体进行 CT 扫描,术前定位股骨及胫骨的解剖止点,将实际钻孔点与术前定位

点进行统计学分析,发现股骨隧道平均偏差 0.57 mm,胫骨隧道平均等偏差 0.58 mm;LIU 等^[35]将该技术运用于患者 ACLR,进一步验证了 3D 打印导板技术能提高 ACL 重建隧道位置的准确性。张丽等^[36]的研究说明了在 ACLR 中运用计算机导航技术辅助定位可获得满意的疗效。此外,ACL 重建患者的预后与转归和移植物韧带的腱骨愈合密切相关;且 ACL 损伤后下肢力量减弱、本体感觉的缺失会使膝关节对神经肌肉的控制能力下降,影响膝关节的稳定性,增加再次损伤和骨性关节炎发生的风险。因此,通过利用生物因子、适当采用保残重建或增加物理刺激、制订合理的康复计划来加强或促进 ACL 重建后的腱骨愈合及患肢功能的恢复也成为了研究的热点^[2,29,37]。因此,可以利用影像学及生物力学研究等手段对 ACL 损伤程度进行更精确的量化评估,为治疗方案的选择及手术、康复方案的合理制订提供依据,以恢复和提高患者膝关节运动功能。

5 小 结

ACL 损伤是常见的膝关节损伤,如何有效预防和诊疗 ACL 损伤是临床工作中一直关注的问题。在 ACL 解剖、股胫关节解剖危险因素、影像学诊断等方面的研究依然存在不足,如何为患者提供最有效适宜的治疗也尚在探索中。ACL 损伤的科学防治离不开对 ACL 损伤解剖危险因素的评估和 ACL 损伤程度的识别,也离不开相应科学手段的支撑。利用影像学手段精确诊断 ACL 损伤程度,识别并建立 ACL 损伤危险因素干预标准,提供规范化、个性化的预防和诊疗是未来应该努力的方向。

参考文献

- [1] BAYER S, MEREDITH S J, WILSON K W, et al. Knee Morphological Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury: A Systematic Review[J]. J Bone Joint Surg Am, 2020, 102(8): 703-718.
- [2] ARUMUGAM A, BJORKLUND M, MIKKO S, et al. Effects of neuromuscular training on knee proprioception in individuals with anterior cruciate ligament injury: A systematic review and GRADE evidence synthesis [J]. BMJ Open, 2021, 11(5): e049226.
- [3] WILSON W T, HOPPER G P, BANGER M S, et al. Anterior cruciate ligament repair with internal brace augmentation: A systematic review [J]. Knee, 2022, 35: 192-200.
- [4] JHA V, PANDIT A. Notch volume measured on magnetic resonance imaging is better than 2-dimensional notch parameters for predicting noncontact anterior cruciate ligament injury in males [J]. Arthroscopy, 2021, 37(5): 1534-1543. e1.
- [5] FLANDRY F, HOMMEL G J S M, REVIEW A. Normal anatomy and biomechanics of the knee [J]. Sports Med Arthrosc Rev, 2011, 19(2): 82-92.
- [6] FU C X, FAN X G, JIANG S G, et al. Increased lateral and medial femoral posterior radius ratios are risk factors for anterior cruciate ligament injury [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2022, 23(1): 114.
- [7] VAN KUIJK K S R, EGGERDING V, REIJMAN M, et al. Differences in knee shape between ACL injured and non-injured: a matched case-control study of 168 patients [J]. J Clin Med, 2021, 10(5): 968.
- [8] VAN KUIJK K, REIJMAN M, BIERMA-ZEINSTRAS S, et al. Smaller intercondylar notch size and smaller ACL volume increase posterior cruciate ligament rupture risk [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2023, 31(2): 449-454.
- [9] AL-SAEED O, BROWN M, ATHYAL R, et al. Association of femoral intercondylar notch morphology, width index and the risk of anterior cruciate ligament injury [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013, 21(3): 678-682.
- [10] FARROW L D, CHEN M R, COOPERMAN D R, et al. Morphology of the femoral intercondylar notch [J]. J Bone Joint Surg Am, 2007, 89(10): 2150-2155.
- [11] LEON H O, BLANCO C E R, GUTHRIE T B, et al. Intercondylar notch stenosis in degenerative arthritis of the knee [J]. Arthroscopy, 2005, 21(3): 294-302.
- [12] STURNICK D R, ARGENTIERI E C, VACEK P M, et al. A decreased volume of the medial tibial spine is associated with an increased risk of suffering an anterior cruciate ligament injury for males but not females [J]. J Orthop Res, 2014, 32(11): 1451-1457.
- [13] XIAO W F, YANG T, CUI Y, et al. Risk factors for noncontact anterior cruciate ligament injury: Analysis of parameters in proximal tibia using anteroposterior radiography [J]. J Int Med Res, 2016, 44(1): 157-163.
- [14] CAY N, ACAR H I, DOGAN M, et al. Radio-

- logical evaluation of femoral intercondylar notch and tibial intercondylar eminence morphometries in anterior cruciate ligament pathologies using magnetic resonance imaging [J]. *Indian J Orthop*, 2021, 56(2):327-337.
- [15] JAGADEESH N, PAIDIPATI R, PARAMESHWAR A, et al. Correlation of tibial parameters like medial, lateral posterior tibial slope and medial plateau depth with ACL injuries: randomized control study [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2023, 33(4):1267-1274.
- [16] 倪乾坤, 张辉, 宋关阳, 等. 急性前交叉韧带损伤后过度胫骨前移的危险因素分析 [J]. *中国运动医学杂志*, 2019, 38(12):1015-1020.
- [17] HUANG X, ZHENG H, SHI Z, et al. Predicting autologous hamstring graft diameter and finding reliable measurement levels in the Zhuang population using preoperative ultrasonography [J]. *Front Physiol*, 2022, 13: 916438.
- [18] FICKERT S, NIKS M, DINTER D J, et al. Assessment of the diagnostic value of dual-energy CT and MRI in the detection of iatrogenically induced injuries of anterior cruciate ligament in a porcine model [J]. *Skeletal Radiol*, 2013, 42(3):411-417.
- [19] ZAINAL ABIDIN N, RAMLEE M, AB RASHID A, et al. Biomechanical effects of cross-pin's diameter in reconstruction of anterior cruciate ligament: A specific case study via finite element analysis [J]. *Injury*, 2022, 53(7):2424-2436.
- [20] REN S, SHI H, LIU Z, et al. Finite element analysis and experimental validation of the anterior cruciate ligament and implications for the injury mechanism [J]. *Bioengineering (Basel)*, 2022, 9(10):590.
- [21] WU F B, COLAK C, SUBHAS N. Preoperative and postoperative magnetic resonance imaging of the cruciate ligaments [J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2022, 30(2):261-275.
- [22] XU Z J, CHEN Y C, ZHU J H, et al. Comparison of the use of magnetic resonance imaging of partial anterior cruciate ligament tears using maximum knee flexion in the lateral decubitus position with routine knee positioning [J]. *Med Sci Monit*, 2021, 27:e932228.
- [23] ZHAO M G, ZHOU Y, CHANG J R, et al. The accuracy of MRI in the diagnosis of anterior cruciate ligament injury [J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(24):1657.
- [24] 李培, 李金平, 杨荣丽, 等. 扩散张量成像在前交叉韧带损伤中的诊断价值 [J]. *临床放射学杂志*, 2021, 40(1):115-120.
- [25] AWAN M J, RAHIM M S M, SALIM N, et al. Machine learning-based performance comparison to diagnose anterior cruciate ligament tears [J]. *J Healthc Eng*, 2022, 2022:2550120.
- [26] GRASSO S, LINKLATER J, LI Q, et al. Validation of an MRI protocol for routine quantitative assessment of tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46(7):1624-1631.
- [27] ZAKKO P, VAN ECK C F, GUENTHER D, et al. Can we predict the size of frequently used autografts in ACL reconstruction? [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(12):3704-3710.
- [28] PUTNIS S E, KLASAN A, OSHIMA T, et al. Magnetic resonance imaging assessment of hamstring graft healing and integration 1 and minimum 2 years after ACL reconstruction [J]. *Am J Sports Med*, 2022, 50(8):2102-2110.
- [29] ISHIBASHI Y, ADACHI N, KOGA H, et al. Japanese Orthopaedic Association (JOA) clinical practice guidelines on the management of anterior cruciate ligament injury-Secondary publication [J]. *J Orthop Sci*, 2020, 25(1):6-45.
- [30] 罗学辉, 杜绍龙. 前交叉韧带重建中移植直径大小与膝关节功能的关系 [J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(34):5482-5485.
- [31] 中国人工韧带研究小组. 先进韧带增强装置用于初次前交叉韧带重建术后不良事件的临床多中心调查分析 [J]. *中华医学杂志* 2022, 102(41):3312-3320.
- [32] 曹福洋, 许建中, 陆世涛, 等. 自体韧带与 LARS 人工韧带编织物重建前交叉韧带: 骨隧道扩大值、韧带生长因子及膝关节功能的评价 [J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(21):3281-3290.
- [33] SNAEBJÖRNSSON T, SENORSKI E H, AY-ENI O R, et al. Graft diameter as a predictor for revision anterior cruciate ligament reconstruction and koos and eq-5d values: a cohort study from the swedish national knee ligament register based on 2 240 patients [J]. *Am J Sports Med*, 2017, 45(9):2092-2097.
- [34] NI J, LI D, MAO M, et al. A (下转第 131 页)

refeeding in anorexia nervosa: A dialectic balance[J]. *Int J Eat Disord*, 2022, 55(5): 653-663.

- [25] DRAFFIN K, HAMILTON J, GODSIL S, et al. Comparison of a low carbohydrate intake and standard carbohydrate intake on refeeding hypophosphatemia in children and adolescents with anorexia nervosa: A pilot randomised controlled trial[J]. *J Eat Disord*, 2022, 10(1): 50.
- [26] BLASER A R, STARKOPF J, ALBAZZANI W, et al. Early enteral nutrition in critically ill patients: ESICM clinical practice guidelines [J]. *Intensive Care Med*, 2017, 43(3): 380-398.
- [27] ALSHARIF D J, ALSHARIF F J, ALJURAI-BAN G S, et al. Effect of supplemental parenteral nutrition versus enteral nutrition alone on clinical outcomes in critically ill adult patients: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Nutrients*, 2020, 12(10): 2968.
- [28] DOCK-NASCIMENTO D B, RIBEIRO A C, SILVA J M J R, et al. Impact of nutritional management on survival of critically ill malnourished patients with refeeding hypophosphatemia[J]. *Arch Med Res*, 2023, 54(3): 231-238.
- [29] NUNES G, BRITO M, SANTOS C A, et al. Refeeding syndrome in the gastroenterology practice: How concerned should we be? [J]. *Eur J Gastroenterol Hepatol*, 2018, 30(11): 1270-1276.
- [30] FRIEDLI N, ODERMATT J, REBER E, et al. Refeeding syndrome: Update and clinical advice for prevention, diagnosis and treatment [J]. *Current Opinion Gastroenterol*, 2020, 36(2):

136-140.

- [31] 胡燕, 沈碧歆. 再喂养综合征患者营养治疗方式的探讨[J]. *中国现代应用药学*, 2022, 39(9): 1214-1219.
- [32] MAIORANA A, VERGINE G, COLETTI V, et al. Acute thiamine deficiency and refeeding syndrome: Similar findings but different pathogenesis[J]. *Nutrition*, 2014, 30(7/8): 948-952.
- [33] MATTHEWS K L, CAPRA S M, PALMER M A. Throw caution to the wind: Is refeeding syndrome really a cause of death in acute care? [J]. *Eur J Clin Nutr*, 2018, 72(1): 93-98.
- [34] FRIEDLI N, BAUMANN J, HUMMEL R, et al. Refeeding syndrome is associated with increased mortality in malnourished medical inpatients: Secondary analysis of a randomized trial[J]. *Medicine*, 2020, 99(1): e18506.
- [35] WANG L, XIAO C, CHEN L, et al. Impact of hypophosphatemia on outcome of patients in intensive care unit: A retrospective cohort study [J]. *BMC Anesthesio*, 2019, 19(1): 86.
- [36] 熊瑞琪. 神经重症患者再喂养综合征的危险因素及预后研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2021.
- [37] 马慧颖, 绳宇, 朱信雨, 等. 重症病人再喂养综合征与预后关系的 Meta 分析 [J]. *护理研究*, 2022, 36(17): 3023-3031.
- [38] BIOLETTO F, PELLEGRINI M, PONZO V, et al. Impact of refeeding syndrome on short- and medium-term all-cause mortality: A systematic review and meta-analysis [J]. *Am J Med*, 2021, 134(8): 1009-1018.

(收稿日期: 2023-06-15 修回日期: 2023-10-19)

(上接第 126 页)

method of accurate bone tunnel placement for anterior cruciate ligament reconstruction based on 3-dimensional printing technology: A cadaveric study[J]. *Arthroscopy*, 2018, 34(2): 546-556.

- [35] LIU D, LI Y, LI T, et al. The use of a 3D-printed individualized navigation template to assist in the anatomical reconstruction surgery of the anterior cruciate ligament [J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(24): 1656.

- [36] 张丽, 梁求真, 赵赞栋, 等. 机器人辅助关节镜下重建前交叉韧带的疗效 [J]. *中华创伤杂志*, 2022, 38(2): 142-148.
- [37] YAO S Y, CAO M D, HE X, et al. Biological modulations to facilitate graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR), when and where to apply? A systematic review [J]. *J Orthop Translat*, 2021, 30: 51-60.

(收稿日期: 2023-04-26 修回日期: 2023-10-22)