

急性跟腱断裂治疗方式的临床进展

夏佳欣, 宗建春*

重庆医科大学附属第二医院急救部, 重庆

收稿日期: 2026年3月8日; 录用日期: 2026年4月2日; 发布日期: 2026年4月9日

摘要

近年来, 急性跟腱断裂(Acute Achilles Tendon Rupture, AATR)的发病率呈上升趋势, 其最优治疗路径的选择仍是足踝外科领域争议的焦点。流行病学研究显示, 运动损伤是其主要致病因素, 而退变性改变与生物力学超负荷的共同作用构成了核心致病机制。传统观点认为手术治疗可降低再断裂风险, 但现代康复理念的引入使非手术治疗展现出竞争性优势。最新Meta分析表明, 在接受早期功能锻炼的前提下, 非手术治疗与手术修复在跟腱断裂评分(Achilles Tendon Total Rupture Score, ATRS)及再断裂率上已无显著统计学差异, 且规避了切口并发症的风险。针对手术干预, 微创手术(Minimally Invasive Surgery, MIS)正逐渐取代传统开放手术。临床实证显示, 微创修复在显著缩短手术时间的同时, 可降低切口感染风险, 且术后瘢痕满意度更高, 但也增加了腓肠神经损伤风险。此外, 组织工程与再生医学的介入为腱骨愈合提供了新思路。未来研究可以聚焦于干细胞外泌体等精准生物制剂的临床转化, 并结合生物力学反馈优化个性化康复方案。

关键词

急性跟腱断裂, 非手术治疗, 手术治疗, 微创技术, 干细胞

Clinical Advances in the Treatment of Acute Achilles Tendon Rupture

Jiaxin Xia, Jianchun Zong*

Department of Emergency, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: March 8, 2026; accepted: April 2, 2026; published: April 9, 2026

Abstract

The incidence of acute Achilles tendon rupture (AATR) has shown an upward trend in recent years, and the selection of the optimal treatment pathway remains a focal point of debate in the field of

*通讯作者。

foot and ankle surgery. Epidemiological studies indicate that sports injuries are the primary causative factor, while the combined effects of degenerative changes and biomechanical overload constitute the core pathogenic mechanism. Traditional views suggest that surgical intervention can reduce the risk of re-rupture, but the introduction of modern rehabilitation concepts has demonstrated the competitive advantages of non-surgical treatments. The latest meta-analysis shows that, with early functional exercise, there is no significant statistical difference between non-surgical treatment and surgical repair in terms of achilles tendon total rupture score (ATRS) and re-rupture rate, while avoiding the risk of incision complications. Regarding surgical interventions, minimally invasive surgery (MIS) is gradually replacing traditional open surgery. Clinical evidence demonstrates that MIS not only significantly reduces operative time but also lowers the risk of incision infection and improves postoperative scar satisfaction, albeit at the cost of increased peroneal nerve injury risk. Additionally, the integration of tissue engineering and regenerative medicine has provided new insights into tendon-bone healing. Future research may focus on the clinical translation of precision biologics such as stem cell exosomes and the optimization of individualized rehabilitation plans through biomechanical feedback.

Keywords

Acute Achilles Tendon Rupture, Non-Surgical Treatment, Surgical Treatment, Minimally Invasive Technique, Stem Cells

Copyright © 2026 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

急性跟腱断裂(AATR)作为临床常见的运动损伤,其发病率在全民健身背景下呈显著上升态势。长期以来,临床决策在降低再断裂风险与规避手术并发症之间反复博弈。本文旨在系统梳理 AATR 的干预现状与困境,为个体化精准治疗提供临床循证方向。

2. 流行病学特征与致病机制

急性跟腱断裂(AATR)是临床最常见的肌肉骨骼系统损伤之一,常发生于距跟骨止点上方3~6 cm处。近年来,其发病率呈显著上升趋势,年发生率约为5/100,000人~50/100,000人[1]。AATR的发病人群具有典型的特征,性别分布以男性居多[2],且呈现双峰分布模式:第一个发病高峰多见于30~40岁的活跃中青年及运动爱好者,常由运动损伤引发[3];随着人口老龄化,因退行性变导致的第二个发病高峰则出现在中老年阶段[4]。

跟腱中段的“分水岭”缺血区是导致断裂的重要因素,此处的血管分布显著少于两端,发生跟腱自发性断裂的风险也显著升高[5]。AATR的损伤机制多源于负重蹬离或踝关节突发剧烈背屈时,腓肠肌-比目鱼肌复合体被过度牵拉所承受的极高瞬时峰值应力。除了意外所致的机械外力,肌腱本身的退行性病变亦是不可忽视的诱因。慢性的超负荷、微创伤、特殊药物(如氟喹诺酮类和皮质类固醇)的使用及血管减少伴相关热性坏死均可能增加跟腱断裂风险[6]。

3. 临床干预手段的博弈与困境

当前,针对 AATR 的最佳治疗方案在国内外仍缺乏明确共识,美国骨科医师学会(AAOS)等权威机构

亦未能给出强有力的临床实践指南。临床决策主要在开放手术修复、非手术治疗与微创手术之间进行权衡。

传统观点及部分观察性研究认为,非手术治疗的再断裂率显著较高[7],而手术治疗能更可靠地恢复解剖连续性,显著降低再断裂风险,因此倾向于积极的手术干预。然而,目前大量的循证医学证据表明,急性跟腱断裂的手术治疗虽在降低总体再断裂率方面略具优势,但因为开放手术需要较大的切口及广泛的组织剥离,不可避免地导致了瘢痕黏连、浅表感染、感觉障碍等严重并发症的激增[8]。

近年来,随着大量高质量随机对照试验(I级证据)的发表,传统认知受到挑战。Soroceanu等[9]的研究表明,采用干预手段(手术与否)的再断裂率差异来判断预后并非绝对,如果结合早期活动范围的功能康复,手术与非手术治疗在远期功能恢复及再断裂率上并无显著统计学差异。这也促使临床上选择非手术保守治疗的比例有所回升,以规避手术并发症[10]。ATTR的治疗经历了从保守治疗到开放手术,再到微创手术的发展。微创手术(经皮或小切口)在保持与开放手术相似功能恢复和再断裂率的同时,可减少软组织损伤和伤口并发症[11],因此逐渐成为重要治疗选择。然而其仍存在腓肠神经损伤风险[12],需要经验丰富的术者操作,并且目前仍缺乏足够的大样本、多中心 RCT 数据支撑其绝对优势。

导致上述临床研究结论存在高度异质性的原因,部分归咎于各研究中治疗方案与术后康复方案(如制动角度、负重时机)的未标准化[13]。但无论采取何种初始治疗,均强调标准化的早期活动与负重的加速功能康复方案在 ATTR 的治疗中起着无可替代的作用[14][15]。

4. 非手术治疗方法

ATTR 的非手术治疗已从传统的静态制动演变为以“早期功能性康复”为核心的动态管理模式。其临床价值在于通过无创手段恢复肌腱连续性,同时最大限度地保护腱周微循环。

针对以下情况的患者,建议优先考虑非手术治疗,以减少伤口感染、愈合不佳等风险:① 患有糖尿病、神经病变、周围血管疾病、局部/系统性皮肤病;② 年龄 > 65 岁;③ 免疫功能低下;④ 吸烟;⑤ 肥胖(体重指数 > 30);久坐[16]。

传统非手术治疗因缺乏有效负荷刺激,再断裂率较高;Ochen等[17]的研究中,手术治疗虽降低再断裂率(RR=0.43,相对风险大幅降低),但与结合早期负重和功能康复的非手术治疗的绝对风险差异仅 1.6%,而并发症风险却增加 3.3%。且在 1 年随访时的疼痛评分、重返活动能力等指标无明显差异。

4.1. 石膏固定

石膏固定是临床应用最久的非手术治疗手段。传统方案通常为长腿石膏(膝关节微屈,踝关节跖屈位(马蹄位))固定 6 周,随后更换为短腿石膏(踝关节由跖屈→中立位)固定 4 周[18]。然而,长期的绝对制动会导致严重的肌肉萎缩和关节僵硬[19]。因此,目前许多方案不再使用长腿石膏,而仅采用逐渐矫正跖屈角度的短腿石膏。常见的治疗策略为完全马蹄位石膏固定 4 周(不负重),半马蹄位石膏固定 4 周(不负重),中立位石膏固定 2 周(允许负重)。

4.2. 功能性支具及早期负重

研究表明,早期负重的功能性支具在非手术治疗急性跟腱断裂中与传统石膏固定具有相似疗效[19]。其核心优势在于允许受控的踝关节活动。Ecker等[20]提出一种标准化的非手术治疗方案:患者首先采用 6 周短腿马蹄位石膏固定并允许完全负重,随后改用功能性步行靴并逐步减少足跟垫,至 12 周停止支具,以实现早期功能康复并防止跟腱延长。

在功能性支具保护下,早期负重已成为当前非手术治疗重要的组成部分。早期负重指在非手术治疗初期(通常术后或损伤固定后不久),允许患者在耐受范围内逐步负重,而非长期完全制动。功能康复包括

针对性的训练踝关节活动度、强化跖屈力量、渐进式训练耐力等, 强调在安全范围内恢复肌腱的功能性负荷能力。Barfod 等[21]及 El-Akkawi 等[22]的研究表明, 在非手术治疗急性跟腱断裂期间, 立即或早期负重与延迟负重相比, 并不会增加再断裂率, 且能提高患者满意度并促进早期恢复活动。在跟腱的愈合过程中, 新生疤痕组织的硬度和粘弹性能增加, 生物力学较差。动物研究表明, 肌腱损伤后早期活动可以减少腱周粘连的形成, 改善疤痕组织的胶原纤维排列, 提高生物力学性能[23]。

5. 手术治疗

5.1. 传统开放修复

开放修复手术是传统的手术方式, 通过较大切口(通常 6~8 cm)充分暴露跟腱断端进行直视下的修复[24]。缝合方式对肌腱修复的初始稳定性及术后康复具有重要影响, 目前主流的缝合方法有: Krackow 锁边缝合、Bunnell 缝合改良、Kessler 缝合等。这些缝合技术通过不同的缝线走行方式增强缝线与肌腱组织之间的结合强度, 从而提高修复的抗拉强度并降低再断裂风险。另外, 当断端缺损超过 3 cm 时, 建议通过移植组织基质、肌腱移植以及进行腓肠肌翻转皮瓣等方式进行缝合的加固。

5.2. 缝合方法

5.2.1. Krackow 锁边缝合(Krackow Locking Stitch)

Krackow 缝合是目前开放修复术中最常应用的锁边缝合技术之一。该方法通过沿肌腱纵向进行连续锁定缝合, 使缝线在肌腱内部形成多点锁定结构, 从而显著提高缝合强度。其基本原理是在肌腱断端两侧分别进行锁边缝合, 并在断端处打结, 使肌腱断端实现稳定对合。Krackow 缝合的优势在于其较高的初始抗拉强度和良好的缝线抓持力, 能够有效减少缝线从肌腱组织中切割脱出的风险。一项临床研究[25]回顾了 226 例采用 Krackow 技术修复急性跟腱断裂的患者, 结果显示随着术者手术经验的增加, 手术时间逐渐缩短, 且患者术后功能恢复良好, 提示该技术具有良好的临床可行性。此外, 一项随机对照研究[26]比较了可吸收缝线与不可吸收缝线在 Krackow 缝合修复中的疗效。研究发现, 两组在术后 12 个月时的踝关节跖屈力量、跟腱完全断裂评分(ATRS)、疼痛视觉模拟评分(VAS 疼痛)和欧洲五维健康问卷(EQ-5D)方面均无显著差异, 且未观察到再断裂病例, 表明 Krackow 缝合在不同缝线材料下均能提供可靠的修复强度。因此, Krackow 缝合由于其良好的力学稳定性和较低的再断裂率, 已成为开放修复术中最常用的缝合方式之一。

5.2.2. Bunnell 缝合

Bunnell 缝合是一种较早应用于肌腱修复的经典技术, 其特点是通过交叉“8”字形使缝线在肌腱内部反复进出并形成交叉(十字形), 紧紧咬合肌腱纤维, 从而形成稳定的缝合结构。生物力学研究对多种肌腱缝合方式进行了比较, 结果显示 Bunnell 缝合具有较好的初始抗拉强度。Gebauer 等[27]使用 60 例尸体标本跟腱, 通过对不同缝合技术进行修复, 力学测试结果表明 Bunnell 缝合的最大失效载荷明显高于传统 Kessler 缝合, 提示其在初始稳定性方面具有一定优势。在部分肌腱组织质量较差或断端较为粉碎的病例中, Bunnell 缝合具有一定应用价值。虽然强度高, 但传统 Bunnell 缝合由于对肌腱血供(腱周组织)干扰较大, 且线结位于肌腱表面或断端, 可能在一定程度上影响愈合或导致肌腱粘连。

5.2.3. Kessler 缝合

Kessler 缝合是一种经典的核心缝合技术, 最初应用于屈肌腱修复。该技术通过在肌腱内部形成纵向交叉缝线结构, 使两侧肌腱断端在中心位置形成稳定连接。由于其操作相对简单、缝线走行清晰, 因此在早期跟腱修复中被广泛应用。然而, 与 Krackow 锁边缝合相比, Kessler 缝合的抗拉强度相对有限。为

克服传统 Kessler 缝合法在承受早期功能康复负荷时的不足, 研究者提出了多种改良技术。其中, 改良三重 Kessler 缝合通过增加缝线跨过断裂处的股数, 并在表层辅以腱周组织加强缝合, 显著提高了修复结构的抗延长能力。Diniz 等[28]的研究显示, 在循环加载后的延长量指标排名中, 改良三重 Kessler 缝合位居首位, 优于 Achillon 及 PARS Midsubstance 等技术。这一结果表明, 增加缝合股数并结合表层加强技术, 能够有效抵抗肌腱断端间的间隙形成, 从而降低跟腱愈合过程中的异常延长风险。因此, 在现代跟腱修复中, Kessler 缝合通常作为辅助缝合或联合缝合的一部分, 而较少单独作为主要修复方式。

5.3. 微创手术

微创手术技术的发展是近年来跟腱断裂治疗的重要进展, 目前常见的微创方法主要包括经皮修复、器械辅助微创修复、超声引导微创修复以及锚钉增强微创修复等。

5.3.1. 经皮修复小切口微创技术

经皮修复的基本原理是在保持腱周组织完整性的前提下, 通过经皮穿刺或小切口将缝线穿过断裂近端与远端腱体, 并在适当张力下完成对合固定, 在恢复跟腱连续性的同时显著减少软组织剥离, 从而降低传统开放手术相关的伤口并发症风险。然而, 因为没有在直视下分离腱周组织, 该技术增加了腓肠神经(SN)卡压的风险, 腓肠神经炎的发生率在 1.7%至 27%之间[29]。近年来, 不同改良技术不断被提出。例如, Maffulli 等[30]报道的经皮十字缝合技术通过 5 个小切口建立交叉缝线结构, 使缝线在腱体内形成稳定的力学分布; 采用 16 股缝线形成交叉固定结构, 同时将结节置于腱体外侧, 以避免腱内结节导致的机械刺激, 且降低再断裂风险。

5.3.2. 器械辅助微创修复

该技术通过专用导向器械或植入系统辅助缝线穿行, 使缝线能够在腱体内形成稳定的缝合结构, 同时避免盲穿操作所带来的神经损伤风险。目前应用较广的器械辅助系统主要为 Achillon Device 和 PARS System。Achillon 系统通过专用导向器在腱体两侧建立多个穿线通道, 使缝线能够在小切口下形成交叉固定结构。Davies 等[31]对 143 例急性跟腱断裂患者进行随访研究发现, 采用 Achillon 微创修复后平均 ATRS 评分为 84 分, 且在平均 25 个月随访中未观察到再断裂病例, 提示该技术具有较高的安全性和可靠性。PARS system 是在此基础上引入锁定与非锁定缝线结构, 从而增强腱端抓持力并提高修复强度[32], 因此在近年来的临床研究中应用更为广泛。

5.3.3. 内镜/腱镜辅助修复

随着微创外科及内镜技术的发展, 内镜或腱镜辅助修复逐渐被应用于急性跟腱断裂的治疗。该技术通过建立小切口操作通道, 在内镜直视下完成断端处理及缝合操作, 在减少软组织损伤的同时提高手术可视化程度。与传统经皮修复相比, 内镜辅助技术能够在手术过程中直接观察腱体断端及周围解剖结构, 有助于降低腓肠神经损伤及缝线误穿等风险。部分研究提出在内镜引导下采用锁定环形缝合(locking loop suture)或缝线桥接技术(suture-bridge fixation), 从而提高修复稳定性并减少断端间隙形成。Wei 等[33]的回顾性分析发现, “内镜可视化缝合联合锚钉桥接固定”的技术模式不仅能够在微创条件下实现断端精确复位, 还可在一定程度上增强修复强度。此外, 由于整个操作过程在内镜直视下完成, 减少了腓肠神经损伤风险, 并有助于评估断端对合及修复质量。临床结果显示, 该技术在疼痛缓解、踝关节功能恢复及并发症控制方面均取得较为满意的短期疗效, 提示内镜辅助下的缝合-锚钉桥接固定可能成为急性跟腱断裂微创治疗的一种具有发展潜力的策略。总体而言, 内镜或腱镜辅助修复在减少软组织损伤、降低伤口并发症以及提高手术可视化方面具有明显优势, 同时能够在一定程度上降低腓肠神经损伤风险。然而, 该技术对手术设备和操作经验要求较高, 目前临床应用仍相对有限。

5.3.4. 其他技术

Huang 等[34]设计了一种新的手术方法——微创腱周膜下入路技术(MIS-PSAT), 通过 249 例患者的回顾性研究显示, 该技术疗效佳, 且未出现感染或腓肠神经损伤等并发症。

6. 新技术与辅助治疗

6.1. 富血小板血浆(Platelet-Rich Plasma, PRP)

富血小板血浆(PRP)是全血的自体衍生物, 因其富含多种生长因子(如 PDGF、TGF- β 、IGF 等)和血管内皮生长因子(VEGF)并具有潜在的抗炎作用, 引发了作为肌腱治疗辅助剂的关注[35]。然而, 多项研究[36]-[39]显示, PRP 在改善功能恢复、肌腱力量及患者报告结局方面均未表现出显著临床优势。这可能与以下因素有关: 1) PRP 制备方法缺乏统一标准。血小板浓度、白细胞含量及激活方式等差异都将影响其生物学效应并增加研究间异质性。2) PRP 的干预时机、剂量与给药方式的最佳方案尚不明确。跟腱愈合需经历炎症期、增生期和重塑期, 在不同的病理生理阶段引入外源性高浓度生长因子可能产生不同的生物学反应。部分研究在急性断裂后立即注射, 而另一些则在术后数周注射, 时机的混乱使得疗效难以对比。此外, 单次注射的有效血小板绝对计数阈值未定, 且部分大型临床试验未采用超声引导注射, 这可能导致 PRP 未能精准靶向作用于肌腱断端, 从而影响了有效浓度的维持。3) PRP 的作用机制在复杂宏观力学环境下的局限性也不容忽视。急性跟腱断裂往往伴随较大的组织缺损和强烈的局部应力改变。对于这类具有高度生物力学强度的组织, 单纯依靠 PRP 释放的细胞因子层面的“生物学刺激”, 而缺乏足够的机械结构支撑, 对于其整体促愈合作用必然有限。

因此, 未来的研究不应仅停留在粗略的疗效对比, 而应聚焦于探索最优的标准化制备参数、基于超声引导的精准给药策略, 以及 PRP 与其他生物支架材料联合应用的潜在价值。

6.2. 干细胞治疗

随着再生医学的发展, 干细胞治疗也成为跟腱断裂生物学治疗的重要研究方向。以间充质干细胞(mesenchymal stem cells, MSCs)为代表的细胞治疗因其具有多向分化潜能及旁分泌调节作用, 被认为在促进肌腱再生方面具有显著潜力。MSCs 不仅具有多向分化潜能, 还可通过旁分泌作用释放多种生长因子及细胞因子, 从而调控炎症反应、促进细胞增殖并改善胶原重塑。已有研究[40]在急性跟腱断裂患者中应用脂肪来源干细胞(adipose-derived stem cells, ADSCs)进行细胞治疗, 结果显示, 与单纯断裂或传统缝合治疗相比, 联合 ADSC 治疗的患者在 AOFAS 及 ATRS 评分方面均表现出更好的功能恢复趋势, 提示干细胞治疗可能在促进组织再生及功能恢复方面具有一定潜力。此外, 越来越多研究关注干细胞衍生的外泌体或细胞外囊泡(extracellular vesicles)在跟腱修复中的作用。Chen 等[41]研究发现, 脂肪来源干细胞分泌的外泌体能够促进腱细胞增殖和迁移, 并显著提高修复肌腱的力学强度及胶原沉积水平。此外, 骨髓来源 MSC 及其衍生外泌体亦被认为能够通过促进成纤维细胞分化及胶原纤维排列, 增强肌腱-骨界面修复能力[42]。总的来说, 干细胞及其衍生物在促进跟腱断裂愈合方面展现出良好的应用前景, 但目前相关研究仍以动物实验及早期临床研究为主, 其长期疗效、安全性及最佳给药方式尚缺乏统一结论, 未来仍需开展更多高质量随机对照研究以进一步明确其在跟腱断裂治疗中的临床价值。

7. 总结

急性跟腱断裂(AATR)的治疗逻辑正经历从“解剖修复优先”向“早期功能重建”的逐步转移。当前多中心大规模随机对照试验(RCT)已证实, 非手术治疗结合早期受控负重和功能恢复与并发症预防上展现出卓越的效费比。这种趋势倒逼手术干预向微创化加速演进, 旨在最小化软组织损伤的同时, 利用特制

缝合系统提供足以支撑术后早期康复的力学强度。临床数据表明, 微创手术联合功能康复能够实现比传统开放手术更佳的运动功能回归率, 且显著降低了腱周粘连与切口并发症的发生率。然而, 如何在力学完整性与生物修复环境之间寻求最优平衡点, 仍是临床面临的异质性挑战。目前, 基于外泌体与水凝胶载体的精准递送系统展现出重塑腱骨愈合微环境的潜力, 这种“精准性”并非单纯的物理结合, 而是通过材料学与生物学的深度交叉, 在空间定位、按需释放以及靶向调控三个维度上实现了对肌腱愈合微环境的高度可控干预。此外, 未来诊疗决策应进一步整合生物力学参数, 建立基于断裂类型、年龄及运动诉求的个体化精准治疗模型。综上所述, AATR 的未来研究应跳出“手术与否”的二元对立, 转而聚焦于生物干预与阶梯式功能锻炼的深度融合。

参考文献

- [1] Amendola, F., Barbasse, L., Carbonaro, R., Alessandri-Bonetti, M., Cottone, G., Riccio, M., *et al.* (2022) The Acute Achilles Tendon Rupture: An Evidence-Based Approach from the Diagnosis to the Treatment. *Medicina*, **58**, Article 1195. <https://doi.org/10.3390/medicina58091195>
- [2] Park, K.H., Park, J.H., Yoon, Y.K., Kwon, J.B., Kim, J.H., Lee, E., *et al.* (2022) Association between Outdoor Temperature and Achilles Tendon Repair: A 14-Years Nationwide Population-Based Cohort Study. *PLOS ONE*, **17**, e0265041. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265041>
- [3] Hallinen, M., Sallinen, H., Keskinen, H., Matilainen, M. and Ekman, E. (2024) Regional Variations in Incidence and Treatment Trends of Achilles Tendon Ruptures in Finland: A Nationwide Study. *Acta Orthopaedica*, **95**, 401-406. <https://doi.org/10.2340/17453674.2024.41089>
- [4] Egger, A.C. and Berkowitz, M.J. (2017) Achilles Tendon Injuries. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, **10**, 72-80. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9386-7>
- [5] Schulze-Tanzil, G.G., Delgado Cáceres, M., Stange, R., Wildemann, B. and Docheva, D. (2022) Tendon Healing: A Concise Review on Cellular and Molecular Mechanisms with a Particular Focus on the Achilles Tendon. *Bone & Joint Research*, **11**, 561-574. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.118.bjr-2021-0576.r1>
- [6] Kauwe, M. (2017) Acute Achilles Tendon Rupture: Clinical Evaluation, Conservative Management, and Early Active Rehabilitation. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, **34**, 229-243. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2016.10.009>
- [7] Wilkins, R. and Bisson, L.J. (2012) Operative versus Nonoperative Management of Acute Achilles Tendon Ruptures: A Quantitative Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *The American Journal of Sports Medicine*, **40**, 2154-2160. <https://doi.org/10.1177/0363546512453293>
- [8] Jiang, N., Wang, B., Chen, A., Dong, F. and Yu, B. (2012) Operative versus Nonoperative Treatment for Acute Achilles Tendon Rupture: A Meta-Analysis Based on Current Evidence. *International Orthopaedics*, **36**, 765-773. <https://doi.org/10.1007/s00264-011-1431-3>
- [9] Sorocanu, A., Sidhwa, F., Aarabi, S., Kaufman, A. and Glazebrook, M. (2012) Surgical versus Nonsurgical Treatment of Acute Achilles Tendon Rupture: A Meta-Analysis of Randomized Trials. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **94**, 2136-2143. <https://doi.org/10.2106/jbjs.k.00917>
- [10] Ganestam, A., Kalleose, T., Troelsen, A. and Barfod, K.W. (2016) Increasing Incidence of Acute Achilles Tendon Rupture and a Noticeable Decline in Surgical Treatment from 1994 to 2013. a Nationwide Registry Study of 33,160 Patients. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **24**, 3730-3737. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3544-5>
- [11] Xu, S., Xiao, J., Li, Y., Liu, E., Qin, Y. and Shen, X. (2025) Operative versus Nonoperative Management of Acute Achilles Tendon Rupture: A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Outcomes from Randomized Controlled Trials. *Annals of Medicine*, **57**, Article ID: 2537349. <https://doi.org/10.1080/07853890.2025.2537349>
- [12] Attia, A.K., Mahmoud, K., d'Hooghe, P., Bariteau, J., Labib, S.A. and Myerson, M.S. (2023) Outcomes and Complications of Open versus Minimally Invasive Repair of Acute Achilles Tendon Ruptures: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *The American Journal of Sports Medicine*, **51**, 825-836. <https://doi.org/10.1177/03635465211053619>
- [13] Kolawole, A.O., Kolawole, T.O. and Ablove, R.H. (2025) Factors Contributing to Achilles Tendon Re-Rupture: A Systematic Review. *Cureus*, **17**, e99907. <https://doi.org/10.7759/cureus.99907>
- [14] 许鹤星, 刘彦群, 方龙云, 等. 急性跟腱断裂治疗研究进展[J]. 延边大学医学学报, 2023, 46(4): 341-344.
- [15] 王晓博, 焦顺成. 急性跟腱断裂的诊疗现状与进展[J]. 中国临床医生杂志, 2025, 53(3): 286-288.
- [16] Chiodo, C.P., Glazebrook, M., Bluman, E.M., Cohen, B.E., Femino, J.E., Giza, E., *et al.* (2010) Diagnosis and Treatment

- of Acute Achilles Tendon Rupture. *American Academy of Orthopaedic Surgeon*, **18**, 503-510. <https://doi.org/10.5435/00124635-201008000-00007>
- [17] Ochen, Y., Beks, R.B., van Heijl, M., Hietbrink, F., Leenen, L.P.H., van der Velde, D., *et al.* (2019) Operative Treatment versus Nonoperative Treatment of Achilles Tendon Ruptures: Systematic Review and Meta-Analysis. *BMJ*, **364**, k5120. <https://doi.org/10.1136/bmj.k5120>
- [18] Stein, S.R. and Luekens, C.A. (1976) Methods and Rationale for Closed Treatment of Achilles Tendon Ruptures. *The American Journal of Sports Medicine*, **4**, 162-169. <https://doi.org/10.1177/036354657600400407>
- [19] Costa, M.L., Achten, J., Marian, I.R., Dutton, S.J., Lamb, S.E., Olliviere, B., *et al.* (2020) Plaster Cast versus Functional Brace for Non-Surgical Treatment of Achilles Tendon Rupture (UKSTAR): A Multicentre Randomised Controlled Trial and Economic Evaluation. *The Lancet*, **395**, 441-448. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)32942-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)32942-3)
- [20] Ecker, T.M., Bremer, A.K., Krause, F.G., Müller, T. and Weber, M. (2016) Prospective Use of a Standardized Nonoperative Early Weightbearing Protocol for Achilles Tendon Rupture: 17 Years of Experience. *The American Journal of Sports Medicine*, **44**, 1004-1010. <https://doi.org/10.1177/0363546515623501>
- [21] Barfod, K.W., Bencke, J., Lauridsen, H.B., Ban, I., Ebskov, L. and Troelsen, A. (2014) Nonoperative Dynamic Treatment of Acute Achilles Tendon Rupture: The Influence of Early Weight-Bearing on Clinical Outcome: A Blinded, Randomized Controlled Trial. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **96**, 1497-1503. <https://doi.org/10.2106/jbjs.m.01273>
- [22] El-Akkawi, A.I., Joanroy, R., Barfod, K.W., Kallelose, T., Kristensen, S.S. and Viberg, B. (2018) Effect of Early versus Late Weightbearing in Conservatively Treated Acute Achilles Tendon Rupture: A Meta-Analysis. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, **57**, 346-352. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.06.006>
- [23] Li, C., Lu, J., Guo, T., Shi, X., Fu, M., Yang, Y., *et al.* (2025) Early Activity after Strong Sutures Helps to Tendon Healing in a Rat Tendon Rupture Model. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 513. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84393-1>
- [24] Moore, M.L., Pollock, J.R., Karsen, P.J., Haglin, J.M., Lai, C.H., Elahi, M.A., *et al.* (2023) Open Achilles Tendon Repair. *JBJS Essential Surgical Techniques*, **13**, e21.00054. <https://doi.org/10.2106/jbjs.st.21.00054>
- [25] Park, Y.H., Kim, W., Jang, K.S., Lee, T.H., Yeo, E.D., Choi, G.W., *et al.* (2022) Learning Curve of the Krackow Suture Technique for the Repair of Achilles Tendon Rupture. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **142**, 3747-3754. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-04213-3>
- [26] Park, Y.H., Kim, W., Choi, J.W. and Kim, H.J. (2022) Absorbable versus Nonabsorbable Sutures for the Krackow Suture Repair of Acute Achilles Tendon Rupture: A Prospective Randomized Controlled Trial. *The Bone & Joint Journal*, **104**, 938-945. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.104b8.bjj-2021-1730.r2>
- [27] Gebauer, M., Beil, F.T., Beckmann, J., Sárváry, A.M., Ueblacker, P., Ruecker, A.H., *et al.* (2007) Mechanical Evaluation of Different Techniques for Achilles Tendon Repair. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **127**, 795-799. <https://doi.org/10.1007/s00402-007-0325-8>
- [28] Diniz, P., Pacheco, J., Fernandes, R.M., Pereira, H., Castelo Ferreira, F. and Kerkhoffs, G.M.M.J. (2023) Modified Triple Kessler with Least Risk of Elongation among Achilles Tendon Repair Techniques: A Systematic Review and Network Meta-Analysis of Human Cadaveric Studies. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **31**, 1644-1657. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06613-9>
- [29] Paczesny, Ł., Zabrzyński, J., Domzalski, M., Gagat, M., Termanowski, M., Szwedowski, D., *et al.* (2021) Mini-Invasive, Ultrasound Guided Repair of the Achilles Tendon Rupture—A Pilot Study. *Journal of Clinical Medicine*, **10**, Article 2370. <https://doi.org/10.3390/jcm10112370>
- [30] Maffulli, N., Sammaria, G., Ziello, S., Migliorini, F. and Oliva, F. (2023) Percutaneous Cruciate Repair of Ruptured Achilles Tendon. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **18**, Article No. 677. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04167-9>
- [31] Davies, H., Agrawal, Y., Blundell, C. and Davies, M.B. (2017) Outcome Following Use of the Achillon Jig for the Repair of Acutely Ruptured Achilles Tendons. *Injury*, **48**, 781-783. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.01.018>
- [32] Su, H., Xu, T., Sun, Y., Wu, L., Fu, K., Zhang, C., *et al.* (2025) Knotted or Knotless? Efficacy Analysis of the Percutaneous Achilles Repair System (PARS) for Acute Achilles Tendon Ruptures: A Retrospective Cohort Study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **20**, Article No. 928. <https://doi.org/10.1186/s13018-025-06320-y>
- [33] Wei, S., Chen, J., Kong, C., Xu, F., Zhi, X. and Cai, X. (2021) Endoscopic “Internal Splinting” Repair Technique for Acute Achilles Tendon Rupture. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **141**, 1753-1760. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-03818-y>
- [34] Huang, X., Liu, J., Jiang, Y., Zhu, H., Hu, X., Wu, K., *et al.* (2024) Peritendinous Submembrane Access Technique for Management of Acute Ruptures of the Achilles Tendon: A Retrospective Study of 249 Cases. *Orthopaedic Surgery*, **16**, 1648-1656. <https://doi.org/10.1111/os.14098>
- [35] Daley, P., Menu, P., Louguet, B., Crenn, V., Dauty, M. and Fouasson-Chailloux, A. (2022) Interest of Platelet Rich

-
- Plasma in Achilles Tendon Rupture Management: A Systematic Review. *The Physician and Sportsmedicine*, **50**, 463-470. <https://doi.org/10.1080/00913847.2021.1969216>
- [36] Boesen, A.P., Boesen, M.I., Hansen, R., Barfod, K.W., Lenskjold, A., Malliaras, P., *et al.* (2020) Effect of Platelet-Rich Plasma on Nonsurgically Treated Acute Achilles Tendon Ruptures: A Randomized, Double-Blinded Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, **48**, 2268-2276. <https://doi.org/10.1177/0363546520922541>
- [37] Boksh, K., Elbashir, M., Thomas, O., Divall, P. and Mangwani, J. (2022) Platelet-Rich Plasma in Acute Achilles Tendon Ruptures: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Foot*, **53**, Article ID: 101923. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2022.101923>
- [38] Yasui, Y., Miyamoto, W., Sasahara, J., Keisuke, T., Kubo, M., Sasaki, G., *et al.* (2025) No Significant Impact of Platelet-rich Plasma on Recovery after Achilles Tendon Surgery: A Double-Blind Randomized Controlled Trial. *Journal of Experimental Orthopaedics*, **12**, e70168. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70168>
- [39] Keene, D.J., Alsousou, J., Harrison, P., O'Connor, H.M., Wagland, S., Dutton, S.J., *et al.* (2022) Platelet-Rich Plasma Injection for Acute Achilles Tendon Rupture: Two-Year Follow-Up of the PATH-2 Randomized, Placebo-Controlled, Superiority Trial. *The Bone & Joint Journal*, **104**, 1256-1265. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.104b11.bjj-2022-0653.r1>
- [40] Vieira, M.H.C., de Carvalho Schweich-Adami, L., Oliveira, R.J. and Antonioli-Silva, A.C.M.B. (2024) Effect of Cell Therapy with Adipose-Derived Stem Cells in the Treatment of Acute Rupture of the Achilles Tendon in Humans. *Cell and Tissue Banking*, **25**, 831-838. <https://doi.org/10.1007/s10561-024-10141-4>
- [41] Chen, S., Chen, Z., Lin, Y., Chen, S., Chou, P., Kao, H., *et al.* (2021) Extracellular Vesicles of Adipose-Derived Stem Cells Promote the Healing of Traumatized Achilles Tendons. *International Journal of Molecular Sciences*, **22**, Article 12373. <https://doi.org/10.3390/ijms222212373>
- [42] Jiang, L., Lu, J., Chen, Y., Lyu, K., Long, L., Wang, X., *et al.* (2023) Mesenchymal Stem Cells: An Efficient Cell Therapy for Tendon Repair (Review). *International Journal of Molecular Medicine*, **52**, Article No. 70. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2023.5273>