

·综述·

急性跟腱断裂的早期康复治疗进展

刘阳¹ 高阳¹ 韩熙瑞² 王勇^{1,3}

急性跟腱断裂(acute achilles tendon rupture, AATR)常见于运动人群,且多发生于球类运动中^[1]。研究发现,急性跟腱断裂的发病率正在逐渐增加,尤其是在50岁及以上的人群中^[2-3]。目前,对于跟腱断裂的治疗主要分为保守治疗和手术治疗。近年来研究发现,无论是开放手术、微创手术还是保守治疗,早期进行康复治疗术后或伤后1年^[4]或2年^[5]的结果没有明显差异,急性跟腱断裂后手术治疗的总体花费明显高于保守治疗^[6],而保守治疗效果并不劣于手术治疗^[7-8],尤其是联合应用早期功能康复方案时,保守治疗和手术治疗在再破裂率和功能结果方面可能会取得相似或等价的临床效果^[9-10]。然而无论是保守治疗还是手术治疗,治疗后的最佳康复方案一直都不太明确,本文就近年来与急性跟腱断裂治疗相关的早期康复锻炼方面最新进展进行综述,以便为临床治疗和决策提供一些思路与参考。

1 保守治疗与早期康复锻炼

石膏固定是急性跟腱断裂保守治疗中最常用也最传统的方法,它可以起到支撑稳定的作用,从而为跟腱愈合提供最大程度的保护。然而,长期固定可能会导致小腿肌肉萎缩、踝关节僵硬,甚至增加步态异常及下肢深静脉血栓发生的风险。随着技术的发展,AATR伤后采用功能性支具固定的治疗策略逐渐受到医生和患者的青睐,支具作为石膏的一种替代性治疗,可拆卸可调节,最常见的是步行靴,靴内足跟处可填塞一定数量的楔子维持跖屈位,随后可通过不断地抽取楔子使足逐渐调整至中立位,同时可以允许患者行走时部分负重,还可以拆除支具让患者进行踝关节活动^[11]。Aujla RS等^[12]采用莱斯特跟腱治疗方案(Leicester achilles management protocol, LAMP)就442例AATR患者进行的一项前瞻性研究发现,应用LAMP方法进行保守治疗的患者穿戴VACOPed靴即刻进行完全负重联合早期踝关节活动跟腱再断裂率低(2%)且患者治疗后的跟腱功能良好。Costa ML等^[13]对540例患者进行的多中心随机对照临床研究发现,AATR患者伤后9个月支具组(即刻完全负重联合早期踝关节活动)的跟腱总断裂评分(achilles tendon total rupture score, ATRS)和石膏组无明显差异,健康相关的欧洲生活质

量-5维度问卷(European quality of life-5 dimension questionnaire, EQ-5D)^[14]也有相似结果,表明保守治疗采用支具固定早期负重活动是安全可靠的,而且干预后的并发症发生风险并没有明显增加。Maempel JF等^[15]研究也发现,AATR患者伤后穿戴步行靴立即进行完全负重,6个月后负重步行靴组的患者报告测量结果(patient-reported outcome measures, PROMs)包括短期肌肉骨骼功能评估(musculoskeletal function assessment, SMFA)困扰指数,ATRS和足踝问卷核心评分(foot and ankle questionnaire, FAQ)均优于石膏组(表1)。

AATR伤后采用支具固定即刻完全负重联合踝关节活动效果肯定,在早期8周甚至6个月时的PROMs可能会优于石膏固定,中长期效果如ATRS及并发症方面也不劣于传统的石膏固定。Barfod KW等^[16]对130例患者进行的一项随机对照临床研究也有类似发现,AATR伤后在就诊后的第3周开始进行早期可控的踝关节活动与矫形器固定制动8周相比,2组1年后在ATRS评分、跟腱长度、延长度、肌肉围度、再断裂率、回归工作和运动的患者比例和时间方面没有明显差异。虽然在一些研究中支具组在伤后早期第8周^[17]或者伤后6个月^[18]的ATRS评分及EQ-5D评分优于石膏组,但是这些优势可能并没有临床价值或者仍然存在争议。Kastoft R等^[17]在长达近5年的随访研究中发现,AATR患者在给与保守治疗时,伤后第一天就开始早期负重的患者较6周后再开始负重的患者,虽然在伤后的0.5—1年以及1—4.5年的ATRS评分均明显提高,但是2组之间差异没有显著性;早期负重组的提踵高度在伤后半年明显高于对照组,但这种差异在随访后的1年以及1—4.5年时也均不再明显。

早期功能康复不仅不会增加再次断裂或其他并发症的发生率;而且有助于患者提前恢复工作和运动,提高患者的满意度。因此,AATR保守治疗的患者,伤后早期负重(即刻或2周后)联合早期有限制的关节活动是安全的,而且在早期及中期疗效如ATRS及提踵方面可能优于传统的石膏固定,此外可能还有更高的性价比。

2 手术治疗与早期康复锻炼

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.11.022

1 北京大学第三医院北方院区骨科,北京市,100089; 2 北京大学第三医院北方院区党院办; 3 通讯作者
第一作者简介:刘阳,男,主治医师; 收稿日期:2022-03-24

表1 急性跟腱断裂保守治疗相关研究及结果

作者	年份	研究类型	样本数	干预方案	结果
Aujia	2019	前瞻性研究	442	LAMP组:①功能性步行靴固定后即刻完全负重8周;②0—4周跖屈30°固定,4—6周,跖屈15°—30°之间活动,6—8周,跖屈0°—30°之间活动,8周后移除支具。	血栓发生率低:5.9%;再断裂率低:2%;平均 ATRS 评分(伤后23个月):75.5。
Costa	2020	随机对照研究	540	对照组:短腿石膏固定马蹄位8周,6周后开始完全负重,期间固定角度逐渐调整至中立位/水平位。 干预组:支具固定8周,固定后即刻完全负重,联合踝关节适度活动,跟部放置楔子维持马蹄位,8周内抽出楔子逐渐调整至中立位。	ATRS 评分(伤后9个月,N):对照组74.4,干预组72.8; 再断裂率(N):对照组6%,干预组5%; 深静脉血栓(N):对照组1%,干预组2%。
Maempel	2020	随机对照研究	140	对照组:短腿石膏固定马蹄位10周,4周后调至半马蹄位,8周后调整至水平中立位,开始完全负重,10周后移除石膏,开始主动跖屈。 干预组:步行靴足跟垫高3cm,即刻持拐完全负重,4周后足跟高度降低1.5cm,6周后调整至水平位,8周后移除步行靴,开始主动跖屈。	ATRS、SMFA 及 FAQ 评分:干预组明显优于对照组(伤后6个月),1年后无差异(N); 再断裂率(N):对照组18.3%,干预组7.7%; 深静脉血栓(N):对照组4.2%,干预组2.9%; 回归驾驶:对照组13周,干预组12周; 回归工作(N):均为10周左右。
Barford	2020	随机对照研究	130	伤后0—2周石膏跖屈30°固定,2周后石膏调整为支具足跟2个楔子垫高3cm,即刻持拐完全负重。 对照组:3—8周踝关节不活动。 干预组:3—8周指导进行踝关节活动(跖屈30°—0°)。	ATRS 评分(伤后4、6及12个月):N 并发症(包括再断裂率及跟腱延长):N; 再返工作及运动比例及时间:N。
Kastoft	2019	随机对照研究	60	对照组:伤后0—6周不负重。 干预组:伤后1天开始完全负重。 2组均支具固定,足跟垫有3个1.5cm楔子,2周后开始可控踝关节活动,每2周抽掉一个楔子。	ATRS 评分(伤后0.5、1及4.5年):N; 提踵高度:伤后0.5年干预组明显优于对照组,1年后无差异。

注:①LAMP: Leicester achilles management protocol,莱斯特跟腱治疗方案;②N: 无显著差异;③ATRS: achilles tendon total rupture score,跟腱完全断裂评分;④SMFA: musculoskeletal function assessment,肌肉骨骼功能评估;⑤FAQ: foot and ankle questionnaire,足踝问卷核心评分。

2.1 开放手术治疗与早期康复

术后早期康复(包括早期负重和早期踝关节活动)可能对患者的恢复至关重要。研究发现,早期开始负重活动,在不增加术后并发症的前提下,术后患者的跟腱功能恢复较快,重返工作的时间也较短。Kim U等^[18]对采用Krackow修复手术的56例AATR患者进行了回顾性研究发现,虽然术后2周开始负重联合踝关节活动与术后4周开始负重联合踝关节活动相比,2组之间的踝关节活动度、单足提踵的耐力无明显差异;但早期负重联合踝关节活动组重返工作的时间明显较短,12个月后美国足踝骨科协会评分(American orthopedic foot and ankle society, AOFAS)和ATRS也明显较高。郑建平^[19]对35例AATR患者进行随机对照研究发现, Krackow术后第3周开始跖屈活动联合部分负重的加速康复组在6个月及12个月的ATRS评分、Leppilahti跟腱修复评分及肌力恢复(通过单足最大提踵次数,标准:足跟离地>5cm,30次/min,膝关节完全伸直)均优于传统康复组,而2组患者术后再断裂率及感染率差异均无显著性意义。李陈等^[20]也有类似发现,40例AATR患者采用传统的Bunnell或Kessler缝合治疗后,穿戴跟腱靴早期负重联合踝关节活动组在2个月及12个月后的ATRS明显高于对照组,而术后并发症的发

生率(跟腱再断裂及伤口延迟愈合等),及跟腱相对静息角(R-ATRA)2组比较没有明显差异(表2)。

然而Eliasson P等^[21]研究发现,AATR患者Kessler缝合术后8周内,不同负荷的康复模式对术后跟腱的功能恢复并没有明显差异,他们将研究对象分为晚负重制动组、晚负重活动组及早负重活动组,而这三种康复方案(表2)在跟腱延长、肌肉力量、小腿周径、ATRS及重返运动时间等测量指标方面并没有明显差异。Okoroha KR等^[22]研究发现,18例AATR患者采用Bunnell技术或改良Krackow技术修复后,术后患者跟腱均明显延长平均约15.9mm,术后2周后开始逐渐负重与术后不负重相比二者12周后在跟腱延长、踝关节活动度及ATRS方面也没有明显差异(表2)。

Aufwerber S等^[23]研究在12个月后的随访中也有类似发现,150例AATR患者采用改良Kessler缝合手术后,干预组术后第1天开始在可耐受范围内进行完全负重联合可控的踝关节活动,而对照组在2周后开始佩戴支具开始负重联合踝关节活动,6个月时及12月时2组之间的ATRS及提踵功能(包括耐力和强度)并没有明显差异;兰德36项健康调查(RAND 36-item health survey, RAND-36)中整体健康和活力子量表的评分干预组在6月随访时明显高于对照组,

表2 急性跟腱断裂手术治疗相关研究及结果

作者	年份	研究类型	样本数	手术方式	干预方案	结果
Kim	2017	回顾性研究	56	Krackow法	石膏组:短腿石膏自然跖屈固定4周;4周后调为支具,WBAT+可控踝关节活动;6周后可耐受FWB+全关节活动; 夹板组:短腿夹板自然跖屈固定2周,2周后调为支具,WBAT+可控踝关节活动;4周后可耐受FWB+全关节活动。	ROM及提踵试验:N; 重返工作时间:夹板组明显短于石膏组; AOFAS和ATRS:夹板组优于石膏组。
李陈	2021	随机对照研究	40	Bunnell或Kessler法	早负重组:1—4周,足跟垫有3个2cm楔子的跟腱靴跖屈位固定,部分负重,4周后每周移除一个楔子,FWB;3—6周可控踝关节被动活动,7周开始主动踝关节伸屈运动; 对照组:1—6周石膏固定,NWB,第7周更换为跟腱靴,持拐部分负重,第8周允许全部负重。	并发症:N; 跟腱相对静息角:N; ATRS:早负重组明显优于对照组。
郑建平	2019	随机对照研究	35	Krackow法	加速康复计划组:2天—2周,支具跖屈25°—30°固定,3—6周,逐渐调至跖屈0°,部分负重+主动跖屈,第7周增加主动活动; 传统康复计划组:2天—6周,短腿石膏跖屈25°—30°位固定,7周—11周拆除石膏,被动拉伸及主动跖屈练习,踝关节活动调至0°。	ATRS及Leppilahti跟腱修复评分及肌力恢复:加速康复组优于对照组; 并发症:N。
Eliasson	2018	随机对照研究	75	Kessler法	术后随机分为3组,均带支具固定6周,支具足跟垫有3个2cm楔子维持跖屈位固定4周,4周后每周移除一个楔子; 晚负重制动组:第1—6周不负重,第7周持拐部分负重,8周后完全负重; 晚负重活动组:第1—6周不负重,第7周持拐部分负重,8周后完全负重,第3周指导进行不负重的踝关节活动; 早负重活动组:第1周开始部分负重,第3周完全负重,第3周指导进行不负重的踝关节活动。	6—26周内跟腱逐渐延长,26周后无变化。 小腿肌肉力量:N; 小腿肌肉大小:N; ATRS:N; 重返全职工作时间:N。
Okoroha	2020	随机对照研究	18	Bunnell或改良Krackow法	传统康复组:1—2周,夹板跖屈20°固定,NWB,3—4周,调为跟部带有2个楔子的支具固定,NWB,5—6周,移除1个楔子,NWB; 加速康复组:1—2周,夹板跖屈20°固定,NWB,3—4周,调为跟部带有2个楔子的支具固定,WBAT,5—6周,移除1个楔子,WBAT。	跟腱平均延长:15.9mm,组间差异:N; ROM:N; ATRS:N。
Aufwerber	2020	随机对照研究	150	改良Kessler法	干预组:1—2周,穿戴可调节踝关节活动度的支具,WBAT,跖屈15—30°,3—6周,FWB,跖屈5—30°,术后第一天开始移除支具进行不负重的跖屈练习; 对照组:1—2周,短腿石膏固定,持拐不负重,3—6周,调为跟部垫有3个楔子的稳定支具,4周内逐渐移除,FWB,移除支具进行不负重的跖屈练习。	RAND-36整体健康和活力子量表:干预组优于对照组; ATRS:N; 提踵试验:N; DVT:N。
曹源	2021	回顾性研究	254	Krackow法+改良kessler法	A组:不固定; B组:1—2周,中立位支具固定; C组:1—2周,跖屈位固定,3—4周,中立位固定; D组:1—3周,跖屈位固定,4—6周,中立位固定。	VAS评分:A组较高; AOFAS:B组高于其他组(2—12周); ATRS:B组高于其他组(2—16周); 平均关节活动度恢复时间、单足提踵高度恢复时间及平均轻度活动恢复时间:A和B组明显快于C和D组; 并发症:N。
王玉仲	2022	随机对照试验	50	开放手术	试验组:跟腱可调康复靴进行功能位(踝关节0°位)固定6周; 对照组:跟腱可调康复靴进行跖屈位(踝关节跖屈30—40°位)固定6周。	AOFAS—AH及ATRS:术后12个月,试验组高于对照组;术后18个月,N; 并发症:跟腱粘连挛缩及提踵试验,试验组低于对照组。

注:①N,无显著差异;②NWB,nonweight bearing,不负重;③FWB,full weightbearing,完全负重;④WBAT,weightbearing at tolerated,可耐受的负重;⑤ROM,range of motion,活动度;⑥RAND-36,RAND 36-item health survey 兰德36项健康调查;⑦DVT,deep venous thrombosis 深静脉血栓;⑧AOFAS—AH,American onhopaedic foot and ankle society ankle—hindfoot scale 美国矫形足踝协会踝后足评分;⑨ATRS,achilles tendon total rupture score 跟腱完全断裂评分。

12月时仍然高于对照组,但是差异不明显;2组术后并发深静脉血栓(deep venous thrombosis, DVT)的风险也没有明显差异。进一步研究发现,一周患者负重 \leq 体重的50%是DVT的独立危险因素,它并发DVT的风险是4.3,所以无论是术后第1天还是术后2周开始负重,重要的是负荷量^[24]。

AATR开放术后的跟腱康复不仅与早期负荷量有关,早期固定时间的不同对AATR术后跟腱的预后也有不同影响。曹源等^[25]对254例采用Krackow锁定缝合结合改良Kessler缝合术治疗AATR的患者进行回顾性研究发现,固定2周组的AOFAS踝-后足评分量表及ATRS在术后2—12周及2—16周明显高于不固定、固定4周及固定6周组(表2);而在轻度运动、关节活动度以及单足提踵恢复时间上固定0周及固定2周组明显优于固定4周及固定6周组;术后并发症包括DVT、跟腱再断裂及浅表感染方面无明显差异。王玉仲等^[26]发现,不同固定角度也影响着跟腱的预后,采用跟腱可调康复靴进行功能位(踝关节0°位)固定的试验组术后12月内的AOFAS-AH及ATRS明显优于对照组(踝关节跖屈30°—40°位固定),但是这种差异在18个月时不再明显;术后3个月时试验组发生跟腱挛缩的比例明显低于对照组,6个月时的跟腱功能(提踵能力)同样优于对照组。因此,AATR术后推荐功能位固定2周左右。

2.2 微创手术治疗与早期康复锻炼

近年来研究发现,与开放手术相比,AATR微创修复手术(minimally invasive repair)出血少,效果好,伤口并发症较低^[27],微创术后早期进行积极主动的康复训练(包括立即负重和早期活动在内)同样是有效和安全的^[28—29]。急性跟腱断裂微创术后从第2周完全负重联合踝关节活动与早期石膏固定相比,二者在肌肉力量、生活质量评分、重返工作及运动时间还有ATRS评分方面没有明显差异^[30]。在更早期如术后第3天开始有限的踝关节屈伸活动,然后从第3周开始部分负重患者术后1年AOFAS踝-后足评分量表高于常规组,而且平均重返运动时间(21周)明显小于常规组(23周)^[31]。

2.3 经皮手术与早期康复锻炼

早期活动联合完全负重的早期康复方案也能够为AATR经皮修复术后的患者提供好的临床效果,使患者能够在手术后尽早重返工作和运动。Majewski M等^[32]发现,经皮手术治疗后的AATR患者术后第2天穿戴特殊定制的跟腱靴足跟垫高3cm固定在跖屈20°,并在可耐受情况下完全负重活动,4周后,足跟垫高角度每周逐渐从3cm递减至1cm,并开始赤脚部分负重直到8周,治疗后跟腱靴组重返工作和运动的时间短于石膏组,且患者满意度较高。

3 早期康复与跟腱修复

有研究表明,跟腱愈合后的瘢痕组织在生物力学上较

差,这会导致硬度增加,并具有粘弹性的特性^[33],在跟腱愈合过程中对其施加一定的机械刺激可以调节疤痕的各向异性强度和强度^[34]。相关动物试验研究表明,跟腱完全横断术后6周,与术后固定3周和活动3周组相比,固定1周和活动5周组的运动范围增加,踝关节脚趾硬度降低,而术后固定6周且无活动期的组,肌腱横截面积减少;与术后固定6周且无活动期组相比,固定1周和活动5周组,愈合跟腱瘢痕组织的生物力学特性改善也最大^[35];与制动组相比,跟腱部分断裂后早期活动,大鼠踝关节活动度及跟腱功能恢复也较好^[36]。进一步的动物研究表明,踝关节背屈由跖屈到背屈的过程中,愈合肌腱也更整齐坚硬了,组织特性和功能不断增强^[37],而跟腱本身在愈合过程中相对于完好的跟腱会产生更多的弹性蛋白,弹性蛋白具有良好的组织顺应性,可防止肌腱在早期愈合过程中的再损伤^[38],因此,损伤的跟腱在术后早期进行适度跖屈活动是可行的,而且可以改善临床效果^[37]。此外,跟腱外层的腱膜对跟腱的愈合也很重要,腱膜切除的大鼠2周后才有早期胶原形成,而腱膜完整的大鼠在1周后已出现早期胶原,4周后腱膜完整组合成的胶原也较多,表明完整的腱膜能促进跟腱的愈合^[39]。

不同程度的负荷似乎对愈合肌腱的力学性能有不同影响,将雌性大鼠右侧跟腱横切并修复后给以不同的机械负荷刺激,结果发现,随着载荷的增加以及细胞外基质基因的表达,愈合肌腱的峰值力、峰值应力和弹性模量逐渐提高;但是较强的负荷虽然会增加肌腱的质量和数量,但是会引起微损伤并改变炎症反应,而轻度负荷足以提高愈合肌腱的质量,而不会引起微损伤和改变组织中的炎症^[40]。临床研究也有类似发现,跟腱断裂术后第一周开始活动到第二周,随着每日平均活动步数的显著增加,踝部负荷也会不断增加,而这不断增加的负荷与测量的足部力量具有明显的相关性^[41]。Zellers JA等^[42]研究还发现,穿着垫有楔子的矫形靴或支具可以降低固定患肢的负荷,转移肢体近端产生的冲击力,随着楔子数量的增加,小腿三头肌内侧肌肉力量的峰值和整合肌电图明显下降,外侧也有所下降,但不明显,地面反作用力降低,而伸膝肌肉力量的峰值明显增加。

Valkering KP等^[43]进一步研究发现,早期完全负重的患者其跟腱愈合过程中渗液中的谷氨酸浓度明显高于石膏固定组;而且早期负重患者患肢跟腱中的前胶原I-N末端前肽(procollagen I N-Terminal propeptide, PINP)水平与谷氨酸水平具有明显相关性。Abdul Alim M等^[44]也有类似发现,AATR患者改良Kessler缝合术后,前两周给与间歇性充气加压泵辅助治疗联合早期负重的支具组PINP水平明显高于传统石膏固定。而I型前胶原是I型胶原产生的标记物,I型胶原是跟腱最强健最主要的成分,它在跟腱组织中的比例及它的形态学改变在跟腱断裂伤的发生和发展中起着重要

作用^[45]。之前有研究证明,体育锻炼可促进跟腱周围 I 型胶原合成增加,这一效应在锻炼 4 周后尤其明显^[46]。因此,跟腱断裂术后早期进行功能性负重活动的患者在 AATR 术后的代谢愈合反应增强,其机制可能与必需代谢物(即谷氨酸)水平的升高及 PINP 合成增加有关,直接的功能性负重提高了谷氨酸水平进而可能调节 I 型胶原的合成增加,从而协调血管生成和神经生长直接参与肌腱的修复。进一步的动物研究发现,主动活动可能通过上调脑衰反应调节蛋白 2(collapsin response mediator protein, CRMP-2)蛋白表达增加胶原纤维的合成,进而促进跟腱愈合^[47]。

4 小结

AATR 患者伤后早期负重联合有限制的关节活动是安全有效的,在跟腱功能恢复及并发症方面不劣于甚至优于传统的石膏固定或康复方案。无论是保守治疗,还是开放手术、微创手术或者经皮修复,建议伤后或术后 3 周前穿戴支具进行负重及可控的踝关节活动,不断增加的负荷可以不断提高足部力量,建议患者在可耐受范围内选择最大的负荷数,而且带有楔子的支具可以转移大负荷的冲击力,因此,这也可能是负重增加而伤后或术后并发症如 DVT、跟腱再断裂、跟腱延长及伤口感染等的风险并没有显著增加的原因,同时这还可能与必需代谢物水平的升高及 PINP 合成增加,进而在康复锻炼后期上调 I 型胶原的合成有关。因此,推荐 AATR 患者早期进行负重联合踝关节活动的功能锻炼治疗,不仅安全可靠,有助于患者运动能力的快速恢复,还有助于患者更早地恢复工作和伤前运动,提高患者的满意度。

参考文献

[1] Haapasalo H, Peltoniemi U, Laine HJ, et al. Treatment of acute Achilles tendon rupture with a standardised protocol [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2018, 138(8): 1089—1096.

[2] Ganestam A, Kallelose T, Troelsen A, et al. 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[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016, 24(12): 3730—3737.

[3] Sheth U, Wasserstein D, Jenkinson R, et al. The epidemiology and trends in management of acute Achilles tendon ruptures in Ontario, Canada: a population-based study of 27607 patients[J]. Bone Joint J, 2017, 99—B(1): 78—86.

[4] Manent A, López L, Corominas H, et al. Acute Achilles tendon ruptures: efficacy of conservative and surgical (percutaneous, open) treatment: a randomized, controlled, clinical trial[J]. J Foot Ankle Surg, 2019, 58(6): 1229—1234.

[5] Fischer S, Colcuc C, Gramlich Y, et al. Prospective randomized clinical trial of open operative, minimally invasive and conservative treatments of acute Achilles tendon tear[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2021, 141(5): 751—760.

[6] Westin O, Svensson M, Nilsson Helander K, et al. Cost-effectiveness analysis of surgical versus non-surgical management of acute Achilles tendon ruptures[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2018, 26(10): 3074—3082.

[7] Westin O, Sjögren T, Svedman S, et al. Treatment of acute Achilles tendon rupture - a multicentre, non-inferiority analysis[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2020, 21(1): 358.

[8] Maempel JF, Clement ND, Wickramasinghe NR, et al. Operative repair of acute Achilles tendon rupture does not give superior patient-reported outcomes to nonoperative management[J]. Bone Joint J, 2020, 102—B(7): 933—940.

[9] She G, Teng Q, Li J, et al. Comparing surgical and conservative treatment on Achilles tendon rupture: a comprehensive meta-analysis of RCTs[J]. Front Surg, 2021(8): 607743.

[10] Ochen Y, Beks RB, van Heijl M, et al. Operative treatment versus nonoperative treatment of Achilles tendon ruptures: systematic review and meta-analysis[J]. BMJ, 2019 (364): k5120.

[11] Costa ML, Achten J, Marian IR, et al. Plaster cast versus functional brace for non-surgical treatment of Achilles tendon rupture (UKSTAR): a multicentre randomised controlled trial and economic evaluation[J]. Lancet, 2020, 395 (10222): 441—448.

[12] Aujla RS, Patel S, Jones A, et al. Non-operative functional treatment for acute Achilles tendon ruptures: the Leicester Achilles management protocol (LAMP)[J]. Injury, 2019, 50(4): 995—999.

[13] Costa ML, Achten J, Marian IR, et al. Plaster cast versus functional brace for non-surgical treatment of Achilles tendon rupture (UKSTAR): a multicentre randomised controlled trial and economic evaluation[J]. Lancet, 2020, 395 (10222): 441—448.

[14] Hua AY, Westin O, Hamrin Senorski E, et al. Mapping functions in health-related quality of life: mapping from the achilles tendon rupture score to the EQ-5D[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2018, 26(10): 3083—3088.

[15] Maempel JF, Clement ND, Duckworth AD, et al. A randomized controlled trial comparing traditional plaster cast rehabilitation with functional walking boot rehabilitation for acute Achilles tendon ruptures[J]. Am J Sports Med, 2020, 48(11): 2755—2764.

[16] Barfod KW, Hansen MS, Hölmich P, et al. Efficacy of early controlled motion of the ankle compared with immobilisation in non-operative treatment of patients with an acute Achilles tendon rupture: an assessor-blinded, randomised controlled trial[J]. Br J Sports Med, 2020, 54(12): 719—724.

[17] Kastoft R, Bencke J, Speedtsberg MB, et al. Early weight-bearing in nonoperative treatment of acute Achilles tendon rupture did not influence mid-term outcome: a blinded, randomised controlled trial[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2019, 27(9): 2781—2788.

[18] Kim U, Choi YS, Jang GC, et al. Early rehabilitation af-

- ter open repair for patients with a rupture of the Achilles tendon[J]. *Injury*,2017,48(7):1710—1713.
- [19] 郑建平,魏代好,杨海波.急性跟腱断裂术后加速康复疗效观察[J].宁夏医科大学学报,2019,41(12):1272—1276.
- [20] 李陈,董斌,陈廷,等.早期负重对跟腱断裂术后康复影响的临床研究[J].河北医学,2021,27(1):75—79.
- [21] Eliasson P, Agergaard AS, Couppe C, et al. The ruptured Achilles tendon elongates for 6 months after surgical repair regardless of early or late weight bearing in combination with ankle mobilization: a randomized clinical trial[J]. *Am J Sports Med*,2018,46(10):2492—2502.
- [22] Okoroha KR, Ussef N, Jildeh TR, et al. Comparison of tendon lengthening with traditional versus accelerated rehabilitation after Achilles tendon repair: a prospective randomized controlled trial[J]. *Am J Sports Med*, 2020, 48 (7) : 1720—1726.
- [23] Aufwerber S, Heijne A, Edman G, et al. Does early functional mobilization affect long-term outcomes after an Achilles tendon rupture? a randomized clinical trial[J]. *Orthop J Sports Med*,2020,8(3):2325967120906522.
- [24] Aufwerber S, Heijne A, Edman G, et al. Early mobilization does not reduce the risk of deep venous thrombosis after Achilles tendon rupture: a randomized controlled trial [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28 (1) : 312—319.
- [25] 曹源,许翔宇,高山,等.跟腱断裂开放修补术后最佳外固定时间的对照研究[J].足踝外科电子杂志,2021,8(1):16—21.
- [26] 王玉仲,郝江慧,王继宏.急性跟腱断裂修复术后不同固定方式对功能恢复的影响[J].中国康复医学杂志,2022,37(1):101—105.
- [27] 李军,詹俊锋,石志刚,等.两种方法治疗急性闭合跟腱断裂的疗效比较[J].临床骨科杂志,2017,20(3):362—365.
- [28] Braunstein M, Baumbach SF, Boecker W, et al. Development of an accelerated functional rehabilitation protocol following minimal invasive Achilles tendon repair[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*,2018,26(3):846—853.
- [29] 孙强,董新利,许元泰,等.“骨康一体”理念下微创手术治疗跟腱断裂疗效观察[J].中国骨与关节损伤杂志,2020,35(8):865—867.
- [30] Groetelaers RP, Janssen L, van der Velden J, et al. Functional treatment or cast immobilization after minimally invasive repair of an acute Achilles tendon rupture: prospective, randomized trial[J]. *Foot Ankle Int*,2014,35(8):771—778.
- [31] 汤明,魏世隽,齐凤宇,等.微创缝合联合术后早期加速康复治疗急性跟腱断裂的临床研究[J].创伤外科杂志,2021,23(4):296—300.
- [32] Majewski M, Schaeren S, Kohlhaas U, et al. Postoperative rehabilitation after percutaneous Achilles tendon repair: early functional therapy versus cast immobilization[J]. *Disabil Rehabil*,2008,30(20—22):1726—1732.
- [33] Evans NASW. The basic science of tendon injuries[J]. *Curr Orthop*,2000(14)403—412.
- [34] Chen K, Hu X, Blemker SS, et al. Multiscale computational model of Achilles tendon wound healing: untangling the effects of repair and loading[J]. *PLoS Comput Biol*, 2018,14(12):e1006652.
- [35] Freedman BR, Salka NS, Morris TR, et al. Temporal healing of Achilles tendons after injury in rodents depends on surgical treatment and activity[J]. *J Am Acad Orthop Surg*,2017,25(9):635—647.
- [36] Huegel J, Boorman-Padgett JF, Nuss CA, et al. Quantitative comparison of three rat models of Achilles tendon injury: a multidisciplinary approach[J]. *J Biomech*, 2019 (88) 194—200.
- [37] Hillin CD, Fryhofer GW, Freedman BR, et al. Effects of immobilization angle on tendon healing after achilles rupture in a rat model[J]. *J Orthop Res*,2019,37(3):562—573.
- [38] Svård A, Hammerman M, Eliasson P. Elastin levels are higher in healing tendons than in intact tendons and influence tissue compliance[J]. *FASEB J*,2020,34(10):13409—13418.
- [39] Müller SA, Evans CH, Heisterbach PE, et al. The role of the paratenon in Achilles tendon healing: a study in rats [J]. *Am J Sports Med*,2018,46(5):1214—1219.
- [40] Hammerman M, Dietrich-Zagonel F, Blomgran P, et al. Different mechanisms activated by mild versus strong loading in rat Achilles tendon healing[J]. *PLoS One*, 2018, 13 (7):e0201211.
- [41] Aufwerber S, Heijne A, Grävare Silbernagel K, et al. High plantar force loading after Achilles tendon rupture repair with early functional mobilization[J]. *Am J Sports Med*,2019,47(4):894—900
- [42] Zellers JA, Tucker LA, Higginson JS, et al. Changes in gait mechanics and muscle activity with wedge height in an orthopaedic boot[J]. *Gait Posture*,2019(70)59—64.
- [43] Valkering KP, Aufwerber S, Ranuccio F, et al. Functional weight-bearing mobilization after Achilles tendon rupture enhances early healing response: a single-blinded randomized controlled trial[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*,2017,25(6):1807—1816.
- [44] Abdul Alim M, Domeij-Arverud E, Nilsson G, et al. Achilles tendon rupture healing is enhanced by intermittent pneumatic compression upregulating collagen type I synthesis[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26 (7) : 2021—2029.
- [45] 加那提·吾尔列别克.急性跟腱断裂伤跟腱形态学、组织学、免疫组化与超微结构研究[D].乌鲁木齐:新疆医科大学,2018.
- [46] Langberg H, Rosendal L, Kjaer M. Training-induced changes in peritendinous type I collagen turnover determined by microdialysis in humans[J]. *J Physiol*,2001, 534 (Part 1):297—302.
- [47] Qianman B, Jialihasi A, Asilehan B, et al. Active exercise promotes Achilles tendon healing and is accompanied by the upregulation of collapsin response mediator protein-2 in rats[J]. *Mol Med Rep*,2017,16(3):2355—2360.