·研究快报·

微创导向内缝合系统治疗急性跟腱断裂的初步临床应用

王 琳[1],栾新越[1],崔蕴威[2],程晓东[3],董天华[1],陈 伟[1*]
(1.河北医科大学第三医院创伤急救中心,河北省骨科生物力学重点实验室,河北 石家庄 050051;2.河北医科大学第三医院科技成果转化中心,河北 石家庄 050051;3.河北省骨科研究所办公室,河北 石家庄 050051)

[摘要] **目的** 探究微创导向内缝合系统治疗急性跟腱断裂的临床价值和效果。**方法** 2026年5月20日河北医科大学第三医院应用微创导向内缝合系统治疗右跟腱完全断裂患者1例。该系统核心由两类角度定位导向器与配套套索组成,一类为单尖双孔横置导向器用于跟腱横向穿线引导,另一类为单尖单孔斜置导向器负责斜向穿线,导向器外置角度瞄准,配合套索可引导缝线在跟腱实质内精准走行,构建类Bunnell缝合结构。术中于跟腱断端做3 cm小切口,在不剥离腱周组织的情况下,依托导向系统完成跟腱近端内部置线操作;跟腱止点处建立骨隧道,植入生物复合锚钉完成跟腱无结双排桥接固定。术后开展早期规范康复并持续随访,综合评估手术操作安全性、切口愈合及足踝功能恢复效果。**结果** 手术流程顺畅,无器械卡顿、缝线缠绕;术中未伤及腓肠神经,术后神经支配区感觉、足趾活动正常。切口及穿刺点一期愈合,无感染、皮肤坏死。术后3个月超声示跟腱连续性完好,踝关节活动基本恢复,足踝功能评分优良。**结论** 微创导向内缝合系统可有效预防腓肠神经损伤,兼顾跟腱血供保护与缝合力学强度,是一种更加微创、安全和有效的治疗急性跟腱断裂的方式,具有临床推广价值。

[关键词] 跟腱;最小侵入性外科手术;缝合技术 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2026.09.015
[中图分类号] R687.2 [文献标志码] A [文章编号] 1007-3205(2026)09-1111-06

Preliminary clinical application of a minimally invasive guided internal suturing system for acute Achilles tendon rupture

WANG Lin[1], LUAN Xin-yue[1], CUI Yun-wei[2], CHENG Xiao-dong[3], DONG Tian-hua[1], CHEN Wei[1*]
(1.*Trauma and Emergency Center, Hebei Medical University Third Hospital, Key Laboratory of Orthopaedic Biomechanics of Hebei Province, Shijiazhuang* 050051, *China*; 2.*Technology Achievement Transformation Center, Hebei Medical University Third Hospital, Shijiazhuang* 050051, *China*; 3.*Office of Orthopaedic Research Institution of Hebei Province, Shijiazhuang* 050051, *China*)

[**Abstract**] **Objective** To investigate the clinical value and efficacy of a minimally invasive guided internal suturing system (MIGIS) for the treatment of acute Achilles tendon rupture (AATR). **Methods** On May 20, 2026, Hebei Medical University Third Hospital used a MIGIS to treat one patient with complete rupture of the right Achilles tendon. The system consists of two types of angle-positioning guides and matching loop devices. One is a single-tip, double-hole transverse guide for transverse suture threading of the Achilles tendon, and the other is a single-tip, single-hole oblique guide for oblique threading. With external angle targeting, the guides and loop devices can direct the suture to run precisely within the Achilles tendon substance, thereby constructing a Bunnell-like suture configuration. During the operation, a 3 cm mini-incision was made at the ruptured end of the Achilles tendon, and proximal internal suture placement was completed through the guiding system without stripping the peritendinous tissue. A bone tunnel was created at the Achilles tendon insertion, and a bio-composite anchor was implanted to complete knotless double-row bridge fixation. Early standardized rehabilitation was initiated postoperatively, and follow-up was continued to

[收稿日期]2026-08-18
[基金项目]河北省政府资助临床医学优秀人才培养项目(ZF2023092);河北省医学科学研究课题计划项目(20260480)
[作者简介]王琳(1981-),男,河北饶阳人,河北医科大学第三医院副主任医师,副教授,医学博士,从事创伤骨科疾病诊治研究。
*通信作者。E-mail:surgeonchenwei@126.com

comprehensively assess surgical safety, incision healing, and recovery of foot and ankle function. **Results** The procedure was smooth, with no instrument jamming or suture entanglement. The sural nerve was not injured intraoperatively, and postoperative sensation in the innervation area and toe movement remained normal. The incision and puncture sites healed primarily, with no infection or skin necrosis. At 3 months after surgery, ultrasound showed intact continuity of the Achilles tendon, ankle range of motion had basically recovered, and foot and ankle function scores were excellent. **Conclusion** The MIGIS can effectively prevent sural nerve injury while preserving Achilles tendon blood supply and suture mechanical strength. It is a more minimally invasive, safer, and more effective treatment option for AATR, with potential for clinical application.

[**Key words**] achilles tendon; minimally invasive surgical procedures; suture techniques

急性跟腱断裂（acute achilles tendon rupture，AATR）是发生于2周内的跟腱断裂，是骨科常见的运动损伤，其发病率随着全民健身运动的普及逐年上升[1]。AATR好发于37～44岁的中青年男性[2]，男女比例为2～20∶1[3-5]。对于运动需求较高的患者，手术治疗仍是首选方案[6]。目前手术方式主要分为传统开放手术和微创手术两大类。开放手术缝合强度确切，但切口并发症发生率较高[7-8]；微创手术虽创伤小，但腓肠神经损伤风险仍不容忽视，经皮术式的腓肠神经损伤率可达13.0%～16.7%[9-10]。如何在保证缝合强度的前提下简化操作、避免腓肠神经损伤，仍是亟待解决的问题。为此，笔者团队根据跟腱与腓肠神经的解剖特点，综合开放手术缝合确切和微创手术创伤小的优势，创新设计了“微创导向内缝合系统”（minimally invasive guided internal suturing system，MIGIS），并应用于临床，短期效果良好。现将典型应用病例情况报告如下。

1 临床资料

1.1 一般资料 2026年5月20日河北医科大学第三医院收治右跟腱完全断裂患者1例，男性，44岁，大学体育系教师。因毽球运动中突发右足跟部疼痛、活动受限1 h入院。患者自述运动蹬踏发力时突感右足跟部“被踢了一脚”样剧痛，随即不能单足提踵，行走困难。查体：右足跟部肿胀，跟腱连续性中断，局部可触及凹陷感，压痛明显，Thompson试验阳性，踝关节跖屈力量减弱。术前超声及MRI检查提示右跟腱完全断裂，断端位于跟骨结节上方约6 cm处（图1）。患者平素体健，无激素使用史及喹诺酮类药物长期应用史。入院后完善术前检查，术前美国足踝外科协会踝-后足功能评分（American orthopaedic foot and ankle society ankle-hindfoot scale，AOFAS）为42分。患者于伤后第3天手术治疗。



图1 术前影像学检查提示跟腱完全断裂

A. MRI；B. B型超声

Figure 1 Preoperative imaging showing complete Achilles tendon rupture

1.2 微创导向内缝合系统 MIGIS适用于急性闭合性跟腱断裂的微创缝合修复。系统由数根直径2.5 mm/3.0 mm的微创导向器及配套套索构成。导向器分为两类：①单尖双孔横置导向器（直径3.0～3.5 mm，倒角35°），用于跟腱内横向穿线引导；②单尖单孔倒角斜置导向器（直径2.5～3.0 mm，倒角35°），用于跟腱内斜向穿线引导（图2）。每根导向器内部均设有角度内通道，

可引导双针缝合线在跟腱近端内部按预设路径走行，实现类Bunnell式缝合。系统以跟腱内、外缘为辅助定位标志，通过导向器交替组合，在跟腱内部完成缝线穿梭，无需广泛剥离跟腱鞘膜。缝合完成后尾线通过速桥技术（SpeedBridge）固定于跟腱的跟骨止点。

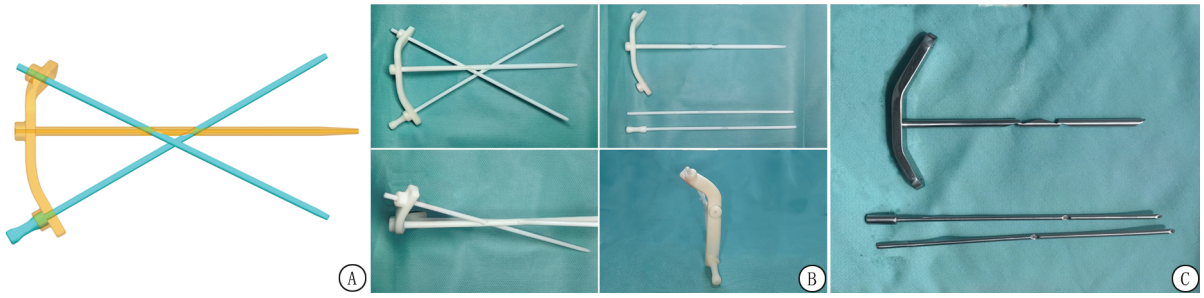


图2　MIGIS设计图、3D模型及实物

A. 设计图；B. 3D模型；C. 实物

Figure 2　Design drawings, 3D model, and physical prototype of MIGIS

1.3　手术方法　辅以患肢神经阻滞的插管麻醉成功后，患者取俯卧位，常规消毒铺单，患肢上止血带。触摸定位跟腱断端，于断端水平内侧作一长约3 cm纵行小切口，切开皮肤及皮下组织，细致分离至跟腱鞘膜（外周膜），注意保护小隐静脉及腓肠神经内侧分支。纵向切开腱膜少许，显露跟腱断端，清除血肿，确认跟腱完全断裂（仅跖肌腱连续）。跖屈踝关节确认断端可以完全靠拢。夹持牵拉跟腱近侧断端，恢复张力以增强稳定性。

1.3.1　先处理跟腱近端　①经切口夹持牵拉跟腱近侧断端，恢复近段张力以增强穿刺稳定性；触摸跟腱断端以近3～5 cm的内侧缘，并以之为定位参照，标记腱近端内侧两排穿刺点（间隔1 cm）；尖刀或破皮器刺破第一排穿刺点皮肤，止血钳钝性分离至跟腱内缘，将横置导向器经皮穿入跟腱；一手经皮固定跟腱，另一手持导向器缓慢刺透跟腱外缘至其外侧皮下，导向器的尖端适度顶起外侧皮肤；尖刀或破皮器于顶皮处刺破皮肤，引出导向器；调整横导向器的位置确保其上的两孔在跟腱实质内。②同样按照“破皮—插入—顶皮—破皮引出”的方法，经瞄准器将下端斜导向器自内下向外上斜插入跟腱内，尖端由横导向器上方的跟腱内侧皮肤穿出；调整下端斜导向器使斜导向器上的开孔刚好位于横导向器外侧孔处。③镍钛导丝套索（lasso）由内向外经下斜导向器内口引入不可吸收编织缝线（0或1#）自其外口穿出（图3）；④套索自横导向器的内口穿入，由斜导向器的外口穿出备用。⑤再由内侧经瞄准器插入上端斜导向器，过程与插入下导向器一致，方向是有内上向外下，调整上端斜导向器使斜导向器上的开孔刚好位于横导向器内侧孔处。⑥将留在横导向器和下端斜导向器内的备用套索反向传入上端斜导向器自其内侧口穿出，同时引线；⑦将套索经上端斜导向器内口插入，从其外口穿出并引线（图4）。⑧最后缓慢撤出斜导向器和横导向器，并同时收紧缝线。于是我们获得了一个主体埋于跟腱内部的线袢（Loop），其冠状位投影类似“又”形，水平位投影类似“Z”形。第二排定位点同法处理（或镜像操作），我们又可以获得一个平行（或交叉）Loop，从而在跟腱内部空间上形成类Bunnell式“8”字线袢（图5）。所有缝线均经导向器内通道在跟腱实质内走行，弯折的线袢全程不穿出跟腱外膜（尾线除外），不剥离腱周组织。经断端手术切口置入缝线导引器将4条尾线还纳至皮下跟腱旁。

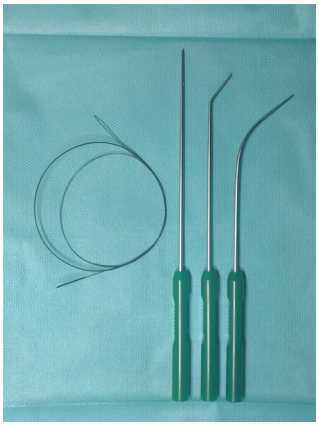


图3　镍钛导丝套索与缝线导向器

Figure 3　Nickel-titanium wire loop and suture guide

1.3.2　然后处理跟腱止点　①于跟腱跟骨止点足印近端的内外侧分别作微小穿刺切口。直视下钝性分离至跟骨后结节，全程保护腓肠神经分支。②经穿刺切口置入钻套导向器，以45°的汇聚角度钻取直径4.75 mm骨隧道，攻丝预处理骨隧道，

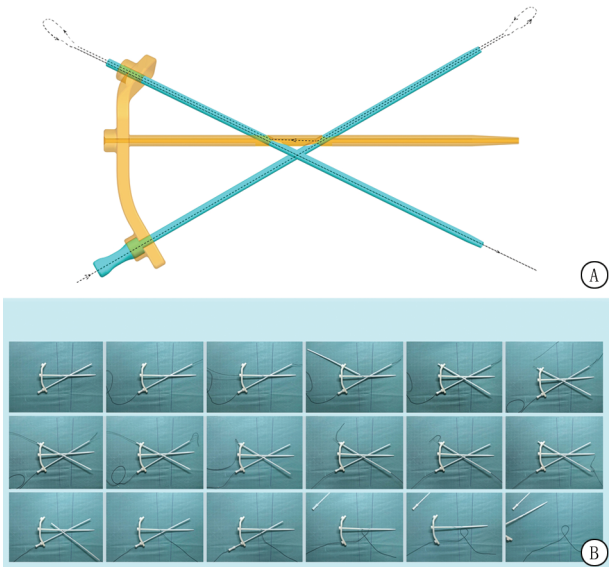


图4　缝线在导向器内的穿行路径示意图和模型演示

A. 示意图；B. 模型

Figure 4　Schematic of the suture pathway within the guide and model demonstration

为SwiveLock无结缝合锚钉（外排锚钉）置入做准备。③经跟腱止点切口置入缝线导引器（图3）至跟腱断端，将近端全部尾线牵引至跟骨骨隧道处。跖屈踝关节的同时，牵拉缝线施加均匀轴向张力，使跟腱撕裂间隙完全对合，消除生理负荷下肌腱断端分离。将缝线带环套入两枚4.75 mm生物复合SwiveLock锚钉，将锚钉完全置入攻丝完成的跟骨隧道，实现跟腱-跟骨无结双排固定。于软组织深面剪除多余缝线尾，避免皮下异物刺激。

1.3.3　处理断端　3-0#可吸收缝线间断缝合腱周膜及皮下组织，3-0#无创缝线简短缝合皮肤，皮肤穿刺点无需缝合。术后短腿石膏固定踝关节于跖屈20～30°位。

1.4　手术结果及术后随访　手术过程顺利，导向器置入及穿线操作均一次完成，未出现卡顿、缝线缠绕等情况。术中未探查腓肠神经，术后麻醉苏醒后即刻检查足趾活动正常。患肢神经阻滞麻醉消退后，检查腓肠神经支配区感觉正常，无神经损伤表现。术后切口及穿刺点均一期愈合，无感染、皮肤坏死等并发症。患者术后第2天开始髋、膝、踝和足趾主动活动，术后第4周更换跟腱靴，逐步开始踝关节功能锻炼[11-12]。术后随访3个月，复查跟腱超声，跟腱连续性良好，踝关节活动度基本恢复正常，患者可正常行走，提踵有力，未出现跟腱再断裂、腓肠神经麻痹、深部感染等并发症。术后3个月的AOFAS评分为90分，跟腱完全断裂评分（achilles tendon total rupture score，ATRS）为85分（图6）。

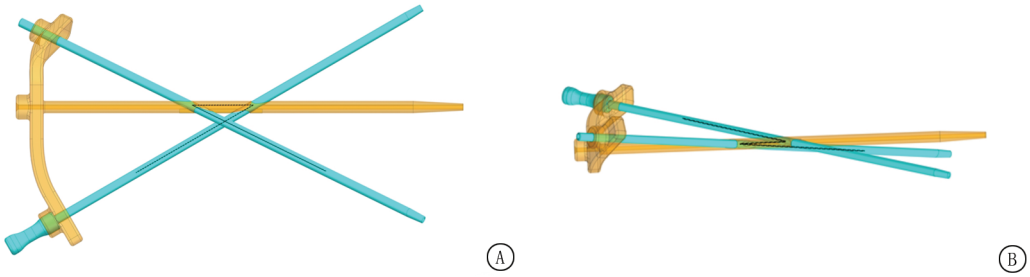


图5　类Bunnell线袢示意图

A. 冠状位；B. 水平位

Figure 5　Schematic diagram of the Bunnell-like loop suture

2　讨　　论

AATR的手术目标是在最小创伤下实现断端可靠对合与牢固缝合，为早期功能康复创造条件[13-14]。目前急性闭合性跟腱断裂的微创治疗主要面临两大难题：一是缝合强度是否可靠，二是腓肠神经损伤风险[15]。Ma等[16]于1977年首先提出经皮微创缝合跟腱的术式，但术后腓肠神经损伤率较高[9-10]。Achillon、PARS等商用微创缝合系统虽然改进了手术方式，但Aibinder等[17]通过尸体研究发现Achillon术后的腓肠神经损伤率仍高达27.8%（单针穿刺神经损伤发生率14.8%）。Grassi等[18]的Meta分析显示，微创手术总体并发症风险显著低于开放手术，但在腓肠神经损伤方面两者差异无统计学意义，说明现有微创技术在神经保护方面仍有提升空间。通过术中超声或关节镜引导虽可减少神经损伤，但需要额外设备支持和较长的学习曲线。此外，商用微创器械费用较高，增加了患者经济负担，不利于基层推广。

本课题组设计的MIGIS系统针对上述问题进行了创新性改进。MIGIS系统具有以下特点：①“内缝合”理念，缝线全程在跟腱实质内走行，不



图6　患者术后3个月踝关节功能与手术切口

A. 踝功能；B. 愈合后的手术切口

Figure 6　Ankle function and surgical incision of the patient at 3 months postoperative follow-up

穿出腱外膜，从根本上避免了缝线环对腓肠神经“捆扎伤”。②传统经皮术式需在跟腱两侧反复穿针，针尖路径经过腓肠神经分布区，是神经损伤的主要原因[19-20]。MIGIS系统导向器的尖端设计为圆钝的管状，可以经由粗大的跟腱纤维间隙穿入；而不能刺入腓肠神经外膜，或对神经外膜产生切割。从机制上消除了神经损伤的可能。③最小化腱周膜剥离，跟腱的微循环受缝合线数量的影响，缝线越少对微循环的影响越小，越有利于跟腱愈合[21]。MIGIS系统几乎无需进行任何剥离跟腱鞘膜的操作，仅在断端处有限切开，最大限度保护跟腱周围血供，有利于断端愈合。④类Bunnell缝合的构型，MIGIS系统在跟腱内部实现类Bunnell式缝合，生物力学强度可靠，能满足术后早期康复的力学要求[8, 19, 22-23]。此外如果采用镜像操作则同时具备Mason-Allen缝合的优点，生物力学强度更高。⑤导向器引导操作，带有内通道的导向器使缝线按预设路径精确走行，避免盲视穿针的不确定性，简化操作步骤，降低手术难度，缩短学习曲线，便于在基层医院推广。

与现有微创系统相比，MIGIS结构简单、操作便捷，无需复杂器械置入，成本更低，更适合基层推广。与国产通道辅助微创缝合系统相比，MIGIS将缝合通道从跟腱外部转移至跟腱内部，进一步减少了对腓肠神经和腱周组织的干扰。

本例患者为体育教师，运动需求高，采用MIGIS治疗后手术顺利，无腓肠神经损伤等并发症，术后恢复平稳，术后3个月其足踝和跟腱的功能评分就已经达到优良，治疗效果满意。MIGIS系统虽然减少了手术创伤，但同时存在以下几方面局限性：①采用该术式需要术前对患者跟腱断裂类型进行认真筛选，并不是所有的急性跟腱断裂均适用于这种方法，腱腹交界或累及肌腹的断裂可能不适用这种方法；②缝合强度一定程度上有赖于跟腱纤维的质量，所以跟腱病或其他疾病导致的急性跟腱断裂，亦不适用于此方法；③MIGIS系统依靠导向器尖端的圆钝设计和轻柔的手术操作来避免腓肠神经的直接损伤，若跳过破皮步骤，快速暴力经皮穿刺跟腱，有可能对神经造成机械损伤。需要指出的是，本研究仅为单例初步报道，样本量极为有限，其长期疗效尚待大样本、前瞻性研究进一步验证。同时，目前仅3个月的短期随访，尚不足以客观评估跟腱再断裂发生率、肌力恢复程度、跟腱延长情况以及患者重返运动等中远期临床预后。此外，本团队正同步开展MIGIS的生物力学性能研究，后续将补充相关数据，以期为该装置的临床应用提供更全面的证据支持。

综上所述，初步临床观察提示，MIGIS在治疗急性跟腱断裂中操作简便、创伤较小，且可能有助于降低腓肠神经损伤的风险；装置操作的学习曲线较为平缓，易于推广。MIGIS初期临床应

用效果良好，值得进一步开展探索性研究[24]。

[参考文献]

[1] 中国医师协会骨科医师分会，中国医师协会骨科医师分会《急性跟腱断裂循证临床诊疗指南》编辑委员会.中国医师协会骨科医师分会循证临床诊疗指南：急性跟腱断裂循证临床诊疗指南[J].中华外科杂志，2015，53(8)：561-563.

[2] Kauwe M. Acute Achilles tendon rupture：Clinical evaluation，conservative management，and early active rehabilitation[J]. Clin Podiatr Med Surg，2017，34(2)：229-243.

[3] Gross CE，Nunley JN. Acute Achilles tendon ruptures[J]. Foot Ankle Int，2016，37(2)：233-239.

[4] Lemme NJ，Li NY，DeFroda SF，et al. Epidemiology of Achilles tendon ruptures in the United States：Athletic and nonathletic injuries from 2012 to 2016[J]. Orthop J Sports Med，2018，6(11)：2325967118808238.

[5] 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.

[6] 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 27 607 patients[J].Bone Joint J，2017，99-B(1)：78-86.

[7] Kadakia AR，Dekker RG，Ho BS. Acute Achilles tendon ruptures：An update on treatment[J]. J Am Acad Orthop Surg，2017，25(1)：23-31.

[8] 夏效泳，朱治国，杨波，等.微创Bunnell缝合法辅助小切口技术治疗急性闭合性跟腱断裂[J].创伤外科杂志，2020，22(1)：23-26.

[9] Wong J，Barrass V，Maffulli N. Quantitative review of operative and nonoperative management of achilles tendon ruptures[J]. Am J Sports Med，2002，30(4)：565-575.

[10] Yang X，Meng H，Quan Q，et al. Management of acute Achilles tendon ruptures：A review[J]. Bone Joint Res，2018，7(10)：561-569.

[11] 中国医师协会骨科医师分会足踝基础与矫形学组，上海市医学会骨科专科分会足踝外科学组，上海市第六人民医院国家骨科医学中心足踝外科专科联盟.急性跟腱断裂微创手术加速康复外科实施流程的专家共识(2026)[J].中华创伤骨科杂志，2026，28(4)：277-285.

[12] Clanton TO，Haytmanek CT，Williams BT，et al. A biomechanical comparison of an open repair and 3 minimally invasive percutaneous Achilles tendon repair techniques：During a simulated，progressive rehabilitation protocol[J]. Am J Sports Med，2015，43(8)：1957-1964.

[13] 徐海林.急性跟腱断裂治疗的相关热点问题[J].中国骨伤，2019，32(8)：683-685.

[14] Lansdaal JR，Goslings JC，Reichart M，et al. The results of 163 Achilles tendon ruptures treated by a minimally invasive surgical technique and functional aftertreatment[J]. Injury，2007，38(7)：839-844.

[15] 陈华，白雪东，齐红哲，等.跟腱断裂临床循证诊疗指南[J].中华骨与关节外科杂志，2022，15(5)：321-333.

[16] Ma GW，Griffith TG. Percutaneous repair of acute closed ruptured achilles tendon：A new technique[J]. Clin Orthop Relat Res，1977，(128)：247-255.

[17] Aibinder WR，Patel A，Arnouk J，et al. The rate of sural nerve violation using the Achillon device：A cadaveric study[J]. Foot Ankle Int，2013，34(6)：870-875.

[18] Grassi A，Amendola A，Samuelsson K，et al. Minimally invasive versus open repair for acute Achilles tendon rupture：Meta-analysis[J]. J Bone Joint Surg Am，2020，102(10)：867-876.

[19] 齐红哲，朱正国，常祖豪，等.通道辅助微创缝合与两种常用跟腱缝合方式的生物力学研究[J].现代生物医学进展，2017，17(18)：3477-3480.

[20] 曹鹏飞，何毅，张寅，等.跟骨载距突外侧壁投影解剖学研究及其在骨折内固定手术中的应用[J/CD].中华老年骨科与康复电子杂志，2026，12(1)：54-58.

[21] Kraemer R，Lorenzen J，Rotter R，et al. Achilles tendon suture deteriorates tendon capillary blood flow with sustained tissue oxygen saturation-an animal study[J]. J Orthop Surg Res，2009，4：32.

[22] Zhao Z，Zhang X，Hou X，et al. Comparison of outcomes between minimally invasive percutaneous bunnell suture and traditional open modified Kessler technique for acute closed achilles tendon rupture：A single-center cohort study[J]. PLoS One，2025，20(12)：e0339026.

[23] 冯倩倩，毛俊超，缪祎，等.关节外肌腱固定术对前交叉韧带损伤合并重度轴移现象患者术后关节功能恢复的疗效研究[J/CD].中华老年骨科与康复电子杂志，2026，12(2)：106-113.

[24] 邓瑞晨，肖洪岩，魏新运，等.基于下肢生物力学评估经皮微创空心螺钉内固定治疗跟骨骨折的临床研究[J/CD].中华老年骨科与康复电子杂志，2025，11(1)：46-51.

(本文编辑：赵丽洁)