

· 论 著 ·

实验性跟腱横断损伤 2 种缝合技术初始力学性能的比较

尹 力,段小军,杨 柳,戴 刚[△]

(第三军医大学西南医院关节外科中心,重庆 400038)

摘 要:目的 比较实验性跟腱横断损伤 Krackow 法与 Kessler 法缝合术后的初始力学性能。方法 选用 25 条新鲜正常成年猪趾长屈肌腱标本,随机分为 Krackow 组、Kessler 组及空白对照组;分别采用上述 2 种缝合技术以 Ti. Cron 5 号聚酯缝线缝合横断的肌腱;将缝合标本于万向材料测试机匀速拉伸至缝合失效,记录标本载荷-形变数据及失效方式。结果 Krackow 组失效载荷、刚度均高于 Kessler 组($P<0.05$),失效形变率均低于 Kessler 组($P<0.05$)。结论 Krackow 氏缝合法的初始力学性能优于 Kessler 氏缝合法,可为术后跟腱修复提供较稳定的早期固定。

关键词:跟腱;缝合技术;生物力学;动物实验

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2011.10.010

文献标识码:A

文章编号:1671-8348(2011)10-0959-02

Comparison of the initial mechanical performance of two suture techniques in achilles tendon repair

Yin Li, Duan Xiaojun, Yang Liu, Dai Gang[△]

(Center for Joint Surgery, Southwest Hospital, the Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: **Objective** To investigate the initial biomechanical performance of the Krackow and Kessler suture techniques in transected tendons. **Methods** 25 fresh porcine tendons of flexor digitorum longus were harvested and divided into three groups (single Kessler, single Krackow and blank); transection were executed to all specimens in the mid region of tendons to stimulate rupture; Ti-Cron No. 5 polyester sutures were used to perform repairs for each technique. All tendons were mounted in a material testing machine and loaded to failure at a constant speed; load-strain data was recorded as well as the failure types. **Results** The failure load and stiffness of the Krackow group were significantly higher than those in the Kessler group, with the deformation ratio lower than the latter. **Conclusion** The Krackow technique has better biomechanical performance than the Kessler, providing a more stable fixation to the repaired tendon.

Key words: achilles tendon; suture techniques; biomechanics; animal experimentation

急性跟腱断裂(acute achilles tendon rupture)是常见的运动创伤,约占人体肌腱断裂损伤的 35.0%^[1],普通人群年发生率约为 18/10 万^[2]。目前对于运动员、年轻及对功能要求较高的中老年患者的跟腱断裂首选手术治疗^[3-4],手术缝合的生物力学性能对于跟腱的修复结果有着重要影响。Kessler 法与 Krackow 法是目前较为常用的缝合技术,而其初始生物力学性能的研究报道甚少,且无系统直观的抗拉伸、抗分离的比较观察。猪的跟腱较短且外形复杂,选择更为粗大且外形规整的趾长屈肌腱作为标本,能更好地模拟人体跟腱的情况。据此,以猪趾长屈肌腱横断为实验模型,进行了上述 2 种缝合技术的初始生物力学性能比较,为临床选择跟腱断裂缝合方法提供参考。

1 材料与方 法

1.1 实验标本与分组 采集新鲜正常猪趾长屈肌腱 25 条(市售瘦型猪,雌雄兼有,平均月龄 6 个月,体质量 100 kg)。每一肌腱修剪为长度(142.7±14.3)mm,厚度(4.5±0.3)mm,宽度(8.8±0.4)mm。随机分为 Krackow 组、Kessler 组,每组 10 条肌腱;空白对照组 5 条肌腱。

1.2 断裂模拟与缝合 两组标本于肌腱中部锐刀横断,切口与肌腱长轴垂直;采用 Ti. Cron 5 号聚酯缝线(型号 3027-79)缝合标本。Krackow 组一侧为 6 个锁定环结,首个锁定环

距断面 15 mm,环结间距 5 mm,环结针孔距腱边缘 4 mm;Kessler 组按照常规方法缝合,线环距断面 20 mm,针孔距腱边缘 4 mm;拉紧缝线,准确对合断面,线头以 4 个方结固定。全部操作均由同一位医生完成。空白对照组的标本不做任何处理。

1.3 生物力学测试 分别将每一标本两端以夹具固定于万向材料试验机(RGT-5A,深圳市瑞格尔仪器有限公司);缓慢拉伸-松弛 3 次,使腱内缝线张力均匀。测量记录标距,以 1 mm/s 的速度匀速拉伸至缝合失效(标本所承受的载荷达到峰值),全程记录标本载荷-形变数据,观察失效方式(缝线断裂、缝线脱出)。根据系统记录获得每一标本的失效载荷(N)及失效形变(mm),并依据失效前刚性区域的载荷-形变数据建立一元线性回归方程,计算其刚度(N/mm);同时按照以下公式计算标本失效形变率:失效形变率=失效形变(mm)/标距(mm)×100%。

1.4 统计学处理 采用 SPSS18.0 统计软件对所得数据进行统计学分析。失效载荷、失效形变、刚度、失效形变率等计量资料均以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立标本 t 检验分析(双侧, $\alpha=0.05$)。

2 结 果

所有的标本中,Krackow 组全部为缝线断裂;Kessler 组有

[△] 通讯作者, Tel: (023) 68765290; E-mail: daigang60@163.com。

8 例为缝线脱出,1 例为线结松脱,1 例为组织断裂。Krackow 组的失效载荷与刚度分别为 $(222.26 \pm 12.58) \text{ N}$ 、 $(7.33 \pm 0.90) \text{ N/mm}$,Kessler 组分别为 $(163.28 \pm 39.12) \text{ N}$ 、 $(4.82 \pm 2.90) \text{ N/mm}$,前者的上述指标均显著高于后者 ($P < 0.05$)。Krackow 组的失效形变率为 $(26.12 \pm 4.07) \%$,显著低于 Kessler 组的 $(35.00 \pm 9.34) \%$ ($P < 0.05$)。空白对照组的 结果为:失效载荷 $(385.48 \pm 86.10) \text{ N}$,刚度 $(48.73 \pm 10.21) \text{ N/mm}$,失效形变率 $(7.10 \pm 1.54) \%$ 。为排除非缝合因素对结果的影响,Kessler 组线结松脱与组织断裂的样本数据未计入上述统计。由于夹具夹持力的限制,空白对照组中所有样本的失效方式皆为夹具松脱,因此,该组失效载荷数据并不代表肌腱的抗拉极限,而刚度则可反应肌腱本身特性。

3 讨 论

失效载荷体现缝合所能承受的最大外力,刚度与拉伸形变率体现其抵抗形变的能力;刚度越大、拉伸形变率越小,抵抗形变的能力越强;失效方式体现缝线在组织中的稳定程度,缝线在其剪切力达到组织承受的上限时,将从组织中脱出,因此缝线断裂比缝线脱出的标本更为稳定。从结果来看,Krackow 组上述生物力学指标皆好于 Kessler 组。

Krackow 缝合术的多个锁定环结能增大缝线与组织的接触面积,将缝线的张力逐级传递至距断面不同距离的组织中,使应力分布更加均匀,减小剪切力量的损害。这一方面增大了缝线与组织的摩擦力,加强固定效果,防止其从组织中过多拉出而造成缝合面分离,同时也防止了应力在某一区域过度集中,减少组织撕裂的风险。因此,Krackow 法缝合可将缝线的抗拉性能发挥到最大。而通过提高缝线的强度,缝合效果可得到进一步优化。对缝合的肌腱而言,刚度比失效载荷更具有实际意义。当标本达到所能承受的最大载荷时,断端之间早已形成巨大的分离间隙,足以破坏跟腱的修复^[5]。

既往已有学者对 2 种缝合技术的生物力学性能进行了研究。Harvey 和 Rockett^[6]使用人尸体趾长伸肌与胫骨前肌腱进行了类似实验,结果显示 Krackow 法的断面分离载荷和失效载荷都显著高于 Kessler 法,认为 Krackow 较 Kessler 缝合具有更高的强度。Watson 等^[7]利用人尸体跟腱标本比较了双线 Krackow、单线 Kessler 及单线 Bunnell 3 种缝合的失效载荷,结果示双线 Krackow 缝合高于其他 2 种,而 Kessler 与 Bunnell 间则无显著差异。Harvey 和 Rockett^[6]的研究与本实验结果一致,但由于成年动物的屈肌腱与伸肌腱在纤维构成与力学性能上存在一定差异,不能完全反映其在跟腱中的效果。Watson 等^[7]的研究使用了双线的 Krackow 缝合与单线的 Kessler 及 Bunnell 进行比较,不能排除第 2 根缝线对 Krackow 的影响。针对该问题,McCoy 和 Haddad^[8]在相同实验中为 Kessler 和 Bunnell 组添加了第 2 根缝线,结果显示使用双线的 3 种缝合间失效载荷无显著差别,证明通过增加缝线数目可以改善缝合的力学性能。但以上两个研究均未对缝合的抗分离性能进行比较。

断端稳定的固定与良好的抗拉性能是术后早期功能锻炼的基础。研究表明缝合部位的适当应力暴露可以加快胶原蛋白的合成和瘢痕组织的转化,促进原纤维聚合为成熟的胶原。同时局部的活动还可以防止跟腱与周围组织的粘连,恢复活动

度^[9-10]。Gelberman 等^[11]在对比早期活动、延迟活动与制动 3 组的狗屈肌腱缝合修复的康复过程中发现,术后 3 周时早期活动组的失效载荷约为制动组的 2 倍,刚度为 3 倍,肌腱远侧关节的活动度亦显著大于后者;在 12 周时,制动组的关节活动度为正常的 $(19 \pm 2) \%$,延迟活动组为 $(67 \pm 8) \%$,早期活动组则达到了 $(95 \pm 10) \%$ 。Mandelbaum 等^[12]使用 Krackow 法缝合治疗了 29 例急性跟腱断裂的患者。这些患者术后 72 h 即在夹板和支具的保护下进行活动锻炼。6 周开始无保护全负重站立,并开始渐进性的对抗外力训练。3 个月时患侧踝关节功能比健侧低约 $35\% \sim 36\%$,6 个月降至 $2.3\% \sim 2.9\%$,12 个月时双侧踝关节的肌力、活动度与抗疲劳程度已无显著差异。所有患者平均在术后 4 个月恢复了损伤前的活动。严格保护下的早期被动活动可以促进修复的进行,增加晚期肌腱的抗拉强度、抗形变能力、抗疲劳能力及活动度。因此,缝合的稳定性对跟腱最终的修复效果有重要影响。

由于 Krackow 缝合较为复杂,其具体不同的缝合手法也将对生物力学性能产生影响。Deramo 等^[13]使用猪跟腱比较了 Krackow 传统的锁定环结 (locking loop) 与非锁定环结 (nonlocking loop) 在静力拉伸与循环拉伸下的性能。结果显示二者的失效载荷无显著差别,但非锁定环结相比锁定环结有更多的缝线从组织中拉出,抗分离能力较差,作者认为锁定环结更为安全。Jassem 等^[14]使用兔跟腱比较了 Krackow 缝合 2 种不同的环结间距 $(0.5 \text{ cm}/1 \text{ cm})$ 对缝合力学性能的影响。结果显示两组的失效载荷与失效形变均无显著性差异。但 1 cm 组的刚度显著高于 0.5 cm 组。作者认为依靠缩短环结间距并增加环结数来加强缝合效果的做法并无实际依据。McKeon 等^[15]研究了不同环结数与不同缝线数对缝合效果的影响。结果显示在单线缝合或双线缝合组内部,不同环结数目的样本失效载荷及失效形变无显著差异,而双线组各样本的性能则显著好于单线组。作者认为增加额外的缝线比单纯增加环结的数目对于提高缝合的强度更有意义,并推荐双线 4 环结作为最佳缝合方式。

参考文献:

[1] Cracchiolo NW. Atlas Foot and Ankle Surgery[M]. 2 ed. London: Martin Dunitz, 1998: 312-327.

[2] Leppilahti J, Puranen J, Orava S. Incidence of Achilles tendon rupture[J]. Acta Orthop Scand, 1996, 67(3): 277-279.

[3] 毛宾尧. 踝足外科学[M]. 2 版. 北京: 科学技术出版社, 2007: 175-181.

[4] Maffulli N. Rupture of the Achilles tendon[J]. J Bone Joint Surg Am, 1999, 81(7): 1019-1036.

[5] Herbolt M, Haber A, Zantop T, et al. Biomechanical comparison of the primary stability of suturing Achilles tendon rupture: a cadaver study of Bunnell and Kessler techniques under cyclic loading conditions[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2008, 128(11): 1273-1277.

[6] Harvey L, Rockett MS. Mechanical comparison of two extensor tendon repairs of ankle tendons[J]. J Foot and Ankle Surgery, 2000, 39(4): 232-238. (下转第 963 页)

参考文献:

- [1] Fanelli GC,Edson CJ. Posterior cruciate ligament injuries in truma patients:part II [J]. Arthroscopy,1995,11(4): 526-529.
 - [2] Vogrin TM,Hoher J,Aroen A,et al. Effects of sectioning the posterolateral structures on knee kinemitacs and in situ forces in the poste posterior cruciate ligament[J]. Knee Surg Sport T,2000,8(2):93-98.
 - [3] Harner CD,Vogrin TM,Hoher J,et al. Biomechanical analysis of a posterior cruciate ligament reconstruction. Deficiency of the posterolateral structures as a cause of graft failure[J]. Am J Sports Med,2000,28(1):32-39.
 - [4] Covey DC. Injuries of the posterolateral corner of the knee [J]. Bone Joint Surg Am,2001,83(1):106-118.
 - [5] Fanelli GC,Larson RV. Practical management of postero-lateral instability of the knee[J]. Arthroscopy,2002,18(1):1-8.
 - [6] 陈疾忤,陈世益,吴伟. 膝后外侧角解剖学特点和力学稳定机制[J]. 中华实验外科杂志,2005,22(6):722-723.
 - [7] 赵金忠. 股二头肌长头腱重建膝关节后外侧角韧带结构[J]. 中华骨科杂志,2004,24(2):141-145.
 - [8] LaPrade RF,Johansen S,Wentorf FA,et al. An analysis of an anatomical posterolateral knee reconstruction;an in vitro biomechanical study and development of a surgical technique[J]. Am J Sports Med,2004,32(12):1405-1414.
 - [9] Bicos J,Arciero RA. Novel approach for reconstruction of the posterolateral corner using a free tendon graft technique[J]. Sports Med Arthrosc,2006,14(1):28-36.
 - [10] 滕学仁,胡光亮,赵永生,等. 自体半腱和股薄肌腱移植双束重建膝关节后外侧角[J]. 中华运动医学杂志,2006,25(5):647-650.
 - [11] 石仕元,曹国平,郑琦. 半腱肌腱等长重建膝关节后外侧复合体[J]. 中华骨科杂志,2006,26(4):525-528.
 - [12] 黄河,王黎明,桂鉴超,等. 解剖重建治疗膝关节后外侧角损伤[J]. 中国修复重建外科杂志,2007,27(2):251-254.
 - [13] Noyes FR,Butler DL. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee 2 ligament repairs and reconstructions[J]. J Bone Joint Surg(Am),1984,66(2):344-346.
 - [14] 陈鸿,鲁宁. 膝关节后外侧角生物力学特性的研究[J]. 生物骨科材料与临床研究,2007,4(1):1-4.
- (收稿日期:2010-12-25 修回日期:2011-01-25)
-
- (上接第 960 页)
- [7] Watson TW,Jurist KA,Yang KH,et al. The strength of Achilles tendon repair: An in vitro study of the biomechanical behavior in human cadaver tendons[J]. Foot Ankle Int,1995,16(4):191-195.
 - [8] McCoy BW,Haddad SL. The strength of achilles tendon repair;a comparison of three suture techniques in human cadaver tendons[J]. Foot Ankle Int,2010,31(8):701-705.
 - [9] Strickland JW. Development of flexor tendon surgery:twenty-five years of progress[J]. J Hand Surg Am,2000,25(2):214-235.
 - [10] Mortensen HM,Skov O,Jensen PE. Early motion of the ankle after operative treatment of a rupture of the Achilles tendon. A prospective, randomized clinical and radiographic study[J]. J Bone Joint Surg Am,1999,81(7):983-990.
 - [11] Gelberman RH,Woo SL,Lothringer K,et al. Effects of early intermittent passive mobilization on healing canine flexor tendons[J]. J Hand Surg Am,1982,7(2):170-175.
 - [12] Mandelbaum BR,Myerson MS,Forster R. Achilles tendon ruptures. A new method of repair,early range of motion,and functional rehabilitation[J]. Am J Sports Med,1995,23(4):392-395.
 - [13] Deramo DM,White KL,Parks BG,et al. Krackow locking stitch versus nonlocking premanufactured loop stitch for soft-tissue fixation;a biomechanical study[J]. Arthroscopy,2008,24(5):599-603.
 - [14] Jassem M,Rose AT,Meister K,et al. Biomechanical analysis of the effect of varying suture pitch in tendon graft fixation[J]. Am J Sport Med,2001,29(6):734-737.
 - [15] McKeon BP,Heming JF,Fulkerson J,et al. The Krackow stitch;a biomechanical evaluation of changing the number of loops versus the number of sutures[J]. Arthroscopy,2006,22(1):33-37.
- (收稿日期:2010-12-25 修回日期:2011-01-25)