doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2017.18.017

## 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\*

齐红哲 朱正国 常祖豪 陈 华△ 唐佩福 (中国人民解放军总医院骨科 北京 100853)

摘要目的:通过对比通道辅助跟腱微创缝合方式(CAMIR)与2种临床最常用的跟腱缝合方式的生物力学强度,验证 CAMIR 微创 缝合方式同样能够达到常规缝合方式的力学强度,为临床推广应用提供可靠的理论依据。方法:将27支跟腱样本随机分为3组 (每组9支),分别是 CAMIR 组、经典微创 Ma-Griffith 组、标准切开 Krackow 组。所有跟腱样本首先预加载50N,2min。然后以 20N-100N,1Hz,循环1000次。如果缝合未失效,则以20 mm/s的速度将样本拉伸至失效。通过实验仪上的传感器自动记录循环 1000次时整个缝合结构的伸长量,记录拉伸失效时整个缝合结构的伸长量以及最大负荷,并计算单纯拉伸阶段缝合结构的抗拉 伸硬度。结果:CAMIR 的循环1000次结束时伸长量(P=0.581)、缝合失效时伸长量(P=0.799)、缝合失效时最大负荷(P=0.278)、单纯 拉伸过程中抗应变硬度(P=0.935)与常用的 Ma-Griffith、Krackow 缝合方式均无明显差异。结论:CAMIR 缝合方式强度可靠,为术 后进行早期功能康复训练提供力学保障,同时能够有效避免腓肠神经损伤,是临床上值得推荐的微创缝合方式。 关键词:跟腱:微创手术;开放手术;生物力学测试

中图分类号:R686.1 文献标识码:A 文章编号:1673-6273(2017)18-3477-04

# A Biomechanical and Comparative Study on Channel-assisted Minimally Invasive Repair System and Two Common Kinds of Suture Configuration \*

QI Hong-zhe, ZHU Zheng-guo, CHANG Zu-hao, CHEN Hua<sup>A</sup>, TANG Pei-fu

(Department of Orthopedics, Chinese PLA General Hospital, Beijing, 100853, China)

**ABSTRACT Objective:** To provide reliable evidence for clinical application, this study compared the biomechanical strength of a noval Achilles tendon minimally invasive suture with two types of common used Achilles tendon suture. **Methods:** 27 Achilles tendon samples were randomly divided into 3 groups (9 in each group): CAMIR group, Ma-Griffith group and Krackow group. All Achilles tendon samples were preloaded with 50 N, 2 min. And then circulated 1000 times at 20N-100N, 1Hz. If the suture configuration did not fail, the specimen was stretched to failure at a speed of 20 mm/s. The elongation of the whole stitch structure and maximum loading were recorded automatically by the sensor on the tester. And the tensile hardness of the stitch structure was calculated. **Results:** The elongation at the end of 1000 cycles (P = 0.581), elongation at suture failure (P = 0.799), maximal load at suture failure (P = 0.278) and strain hardening during tensile alone (P = 0.935) of CAMIR had no significant difference with Ma-Griffith and Krackow suture configuration. **Conclusion:** The suture strength of CAMIR is reliable, it can be used for early rehabilitation after operation, and effectively avoid the injury of sural nerve.

Key words: Achilles tendon; Minimally invasive surgery; Open surgery; Biomechanical test

Chinese Library Classification (CLC): R686.1 Document code: A Article ID: 1673-6273(2017)18-3477-04

### 前言

跟腱是全身最粗最强的肌腱,同时也是最常断裂的肌腱之一,其发病率约为7-18/10万<sup>[1]</sup>,但对于急性跟腱断裂治疗方法的选择仍存在较大争议。手术治疗包括传统开放性手术和微创缝合手术。开放式手术常用的缝合方法有Bunnell、Kessler、Krackow等,其中Krackow被认为是最可靠的缝合方法,为跟腱缝合的金标准<sup>[2]</sup>,但开放式手术存在感染等切口并发症高的缺点。为了减少这些并发症,Ma和Griffith<sup>[3]</sup>在1977年最先提出经皮吻合跟腱断端的术式,切口小,减少了术后并发症,也是

目前国内最常用的跟腱微创缝合方式,但这种缝合方式腓肠神 经的损伤风险高<sup>[46]</sup>。一些研究者通过采取术中超声、关节镜引 导能够有效减少腓肠神经损伤,但要求术者具有超声、关节镜 操作技能,学习曲线较长<sup>[78]</sup>。为了避免以上手术缺点,并简化手 术操作,本课题组发明了通道辅助跟腱微创缝合系统(Channel-assisted minimally invasive repair system, CAMIR)<sup>[9]</sup>,通过建 立通道将腓肠神经保护在缝合通道外从而避免腓肠神经的损 伤,手术时间仅需 15~20 min,临床效果良好。前期相关临床研 究 30 余例,均随访 1 年以上,未见术后感染、再断裂及腓肠神 经损伤。但是针对这种缝合方式力学强度的可靠性尚缺乏大样

作者简介:齐红哲(1990-),男,硕士研究生,主要研究方向:创伤骨科,电话:13341141556,E-mail: qhz301@126.com

<sup>\*</sup>基金项目:首都临床特色应用研究资助项目(Z161100000516192)

<sup>△</sup> 通讯作者:陈华(1975-),硕士生导师,副教授,博士,主要研究方向:创伤骨科,E-mail: chenhua0270@126.com

<sup>(</sup>收稿日期:2017-01-17 接受日期:2017-02-10)

本临床研究及基础实验验证。因此,本研究旨在通过对比 CAMIR 缝合方式与常用的开放式手术 Krackow、微创手术 Ma-Griffith 的生物力学强度,探讨 CAMIR 的可靠性。

#### 1 材料与方法

#### 1.1 实验材料与分组

27 支跟腱样本均来自当地屠宰场 6 月龄猪跟腱,屠宰后 将猪蹄立即冷冻,实验前常温下解冻 1 晚。在材料准备与实验 全程,均需保持在室温(25℃)并持续给予样本 0.9%生理盐水浸 润。锐性解剖并取出跟腱,起自跖屈肌腱至跖屈肌腱与跟腱汇 合点处以上 4 cm。分别使用游标卡尺测量样本近端切断处长 径、短径。将 27 支跟腱样本编号 1-27 号,按照随机数字表完全 随机化分为 3 组(每组 9 支):CAMIR 组、Ma-Griffith 组、Krackow 组(图 1)。

1.2 缝合方法与生物力学测试

跟腱样本的取材与缝合均由同一名实验员按照标准缝合 方式缝合。缝线均采用爱惜邦非可吸收编织2号线(W4843, Ethicon Inc, Somerville, New Jersey)。生物力学测试机采用 Instron 万能生物力学测试仪(ElectroPuls E10000; Instron;美国)。 将跟腱远端跖屈肌腱部分由纱布缠绕夹人生物力学仪气动夹 具防止肌腱滑动,跟腱近端与特制夹具无张力接触,缝线绕过 夹具横梁于一侧打8个方结,使跟腱的有效长度保持4 cm(图 2)。为了模仿跟腱术后早期康复功能锻炼,所有跟腱样本首先 预加载50 N,2 min。然后以20 N-100N的受力范围,以1 Hz 的频率循环1000次。如果缝合未失效,则以20 mm/s 的速度将 样本拉伸至失效。通过实验仪上的传感器自动记录循环1000 次时整个缝合结构的伸长量(Elongation-1),记录拉伸失效时整 个缝合结构的伸长量(Elongation-2)以及最大负荷(Loading),并 计算单纯拉伸阶段缝合结构的抗拉伸硬度(Stiffness)。缝合失效 定义为缝线断裂、缝线豁出最大负荷时。





图 1 缝合方式示意图 Fig.1 The Stitching Schematic A.CAMIR B. Ma-Griffith C.Krackow

采用 SPSS13.0 统计软件进行分析,定量数据采用 Mean± SD( $\bar{x}$ ±s)表示,多组间比较采用方差分析,进一步两组间比较采 用 SNK-q 检验,以 P<0.05 为差异有统计学意义。预实验后对最 大负荷进行多个样本均数样本量估计,按照第一类错误概率 α= 0.05 (双侧),第二类错误的概率 β= 0.10,CAMIR 组 120.06 ± 17.46N,Ma-Griffith 组 111.31 ± 8.58N,Krackow 组 137.41± 16.10N,计算每组所需样本量为 9 例。

#### 2 结果

1.3 统计学分析

20 N-100 N 1000 次循环结束时,所有样本缝合均未失效。 失效方式均为缝线断裂。

#### 2.1 跟腱样本一致性检验结果

Fig.2 Mechanical Testing Construct The whole suture constructs, from beneath the bar to above the clamp, were kept a standard length of 4cm for testing.

图 2 力学测试结构

三组中跟腱样本一致性检验结果见表 1。长径:CAMIR 组 14.01±1.42 mm,Ma-Griffith 组 13.53±1.47 mm,Krackow 组 13.58±1.35 mm, 三者无明显统计学差异 (p=0.742)。短径: CAMIR 组 4.30±0.67 mm,Ma-Griffith 组 4.27±0.59 mm,Krackow 组 4.34±0.66 mm,三者无明显统计学差异(p=0.969),具有可比性。

#### 2.2 三组缝合强度比较

三组缝合强度结果见表 2。1000 次循环结束时缝合结构的 伸长量 (Elongation-1); CAMIR 组 7.65± 1.41 mm, Ma-Griffith 组 8.64± 2.51 mm, Krackow 组 8.13± 1.91 mm, 三组无明显统 计学差异 (p=0.581); 缝合失效时缝合结构伸长量(Elongation-2); CAMIR 组 16.00± 2.46 mm, Ma-Griffith 组 16.35± 3.09 mm, Krackow 组 16.86± 2.63 mm, 三组无明显统计学差异(p=0.

#### 表1跟腱一致性检验(x±s)

Table 1 The consistency of Achilles tendon

Groups	Thickness(mm)a	Width(mm)a
CAMIR	14.01± 1.42	4.30± 0.67
Ma-Griffith	13.53± 1.47	4.27± 0.59
Krackow	13.58± 1.35	4.34± 0.66
P value	0.742	0.969

注:a 定量数据采用 Mean± SD  $(\bar{x}\pm s)$  表示。 Note: a Numbers reported are mean ± standard $(\bar{x}\pm s)$ .

注:\* 单因素方差分析。Note:\* One-way ANOVA test.

反复牵拉,单纯拉伸实验模拟瞬间受力时对跟腱的牵拉。本实 验通过1000次循环加载而后以20mm/s的速度单纯瞬间拉伸, 两种方式结合起来综合测试缝合方式的强度。另外,本实验中 20N、100N这两个值是术后早期康复训练中在等速肌力测试仪 上跟腱被动屈曲活动时受力的下限和上限<sup>[13-15]</sup>,能够评价术后 是否能早期康复训练。

跟腱术后由于缝合方式不可靠或不正确的康复治疗,易使 缝合结构伸长导致缝合失效或者导致跟腱过长,从而造成患肢 提踵无力、跛行,对患者造成巨大的身心伤害。因此,受力情况 下缝合结构的伸长量是生物力学测试的一项重要指标。文献中 测量缝合结构伸长量往往通过直接测量缝合后断端的距离来

Tab.2 Comparison of the elongation, maximum loading and stiffness between three groups					
Groups	Elongation-1 (mm) <sup>a</sup>	Elongation-2(mm)a	Loading(N) <sup>a</sup>	Stiffness(N/mm) <sup>a</sup>	
CAMIR	7.65± 1.41	16.00± 2.46	128.43± 17.22	16.43± 4.85	
Ma-Griffith	8.64± 2.51	16.35± 3.09	118.37± 13.06	17.42± 6.56	
Krackow	8.13± 1.91	16.86± 2.63	130.56± 19.54	16.77± 5.85	
P value*	0.581	0.799	0.278	0.935	

表 2 三组缝合伸长量、最大负荷、硬度对比

.注:a 定量数据采用 Mean± SD(x±s)表示。 Note: a Numbers reported are mean ± standard(x±s).

注:\* 单因素方差分析。 Note: \* One-way ANOVA test.

799);缝合失效时缝合结构最大承载负荷(Loading):CAMIR 组 128.43±17.22N,Ma-Griffith 组 118.37±13.06N,Krackow 组 130.56±19.54N,三组无明显统计学差异(p=0.278);缝合结构抗 拉伸硬度(Stiffness):CAMIR 组 16.43±4.85 N/mm,Ma-Griffith 组 17.42±6.56 N/mm,Krackow 组 16.77±5.85 N/mm,三组无 明显统计学差异(p=0.935)。

#### 3 讨论

相比较开放式大切口手术,微创手术因其切口小、对软组 织破坏少而感染率低,在外科领域越来越流行。但其腓肠神经 损伤率较高,国外文献显示 Ma-Griffith 式缝合方式的腓肠神经 损伤率达 10%-13.16%<sup>[56]</sup>。因此,如何避免腓肠神经神经损伤是 评价一种微创缝合手术优势的重要因素。CAMIR 是一种新型 的跟腱微创缝合方式,相较于其他微创缝合方式,最大的特点 就是通过建立缝合通道使腓肠神经位于通道外,可避免手术过 程中腓肠神经的损伤,在临床应用中获得了良好的效果,目前 尚无腓肠神经损伤患者。

力学强度是评价微创手术的重要因素之一。多篇 Meta 分 析或系统综述认为微创缝合手术强度与开放式手术无明显差 异<sup>[10,11]</sup>,但也有生物力学文献指出微创缝合系统的缝合强度明 显弱于开放式缝合方式<sup>[12]</sup>。本课题组设计的 CAMIR 缝合方式 除了可避免腓肠神经损伤外,是否能够提供可靠的力学强度, 尚无基础实验及大样本临床实验证明。因此,本研究设计了一 项生物力学测试,对比 CAMIR 与国内最常用的微创缝合方式 Ma-Griffith 与最常用的开放式缝合方式 Krackow 缝合强度的 差异,从而为临床上应用 CAMIR 后早期活动方案提供可靠依 据。跟腱缝合的生物力学测试通常采用循环加载实验和单纯拉 伸实验<sup>[12]</sup>。循环加载实验来模拟术后早期康复活动中对跟腱的 反映缝合结构的伸长量<sup>[12,14,15]</sup>,本实验则采用在跟腱一致性无统 计学差异的情况下,通过 instron 生物力学试验机直接记录整 个缝合结构的伸长量,其中包括了跟腱本身的伸长量,这样更 符合临床实际情况<sup>[14]</sup>。缝合方式所能承受的最大负荷决定了早 期康复活动时跟腱所能承受的范围,超出这个范围就会造成再 断裂,因此最大负荷是生物力学测试不可或缺的指标。抗拉伸 硬度,即跟腱受力情况下应变的能力,在术后早期能够影响缝 合结构的伸长量。

本实验对比了3种缝合方式,结果显示 CAMIR 的循环 1000次结束时伸长量、缝合失效时伸长量、缝合失效时最大负 荷、单纯拉伸过程中抗应变硬度与常用的 Ma-Griffith、Krackow 缝合方式均无明显差异,说明 CAMIR 的缝合强度较为可靠。 另外,本实验中 Ma-Griffith 经皮微创缝合方式最大负荷 118.37± 13.06N 与 Cretnik <sup>[16]</sup> 测试的 Ma-Griffith 最大负荷 124.9±15.2N,Longo <sup>[17]</sup> 测试的 106.7±29.4 N 均较接近。 Krackow 缝合方式最大负荷 130.56± 19.54N, 与 Heitman<sup>[18]</sup>测 试的 Krackow 最大负荷 128.3± 30.3N 相似但明显少于 Hapa <sup>19</sup>测试的 319± 23N。本实验中所有缝合方式的失效均为缝线 断裂,说明本实验的3种缝合方式结构都很优良,但受限于缝 合线强度。Jordan<sup>[20]</sup>对比了5种缝合线的强度,其中常用于跟腱 断裂缝合的爱惜邦非可吸收编织2号线最大受力为101± 6.8N,与本实验所测的最大负荷相差不大。缝合线强度最高的 是 Arthrex 公司的非可吸收编织 FiberWire 缝合线, 可达 253± 13.3N。因此,在条件允许的情况下,应用 CAMIR 时可选用 Arthrex 的 FiberWire 缝合线。

综上所述,CAMIR 缝合方式强度可靠,可为术后进行早期 功能康复训练提供力学保障,同时能够有效避免腓肠神经损 伤,是临床上值得推荐的微创缝合方式。

#### 参考文献(References)

- Davies H, Agrawal Y, Blundell C, et al. Outcome following use of the Achillon jig for the repair of acutely ruptured Achilles tendons [J]. Injury, 2017, S0020-1383(17): 30018-9
- [2] Krackow KA, Thomas SC, Jones LC. A New Stitch for Ligament-Tendon Fixation[J].J Bone Joint Surg Am, 1986, 68(5): 764-766
- [3] Ma GWC, Griffith TG. Percutaneous repair of acute closed ruptured Achilles tendon. A new technique [J]. Clin Orthop, 1977, (128): 247-255
- [4] 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
- [5] Śliwa M. Percutaneous and minimally invasive Achilles tendon repair
  review of surgical techniques [J]. Pol Orthop Traumatol, 2014, 79: 92-96
- [6] Klein W, Lang DM, Saleh M. The use of the Ma-Griffith technique for percutaneous repair of fresh ruptured Tendo Achillis [J]. Chir Organi Mov,1991, 76(3): 223-228
- [7] Lacoste S, Fé ron JM, Cherrier B. Percutaneous Tenolig (\*) repair under intra-operative ultrasonography guidance in acute Achilles tendon rupture[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2014, 100(8): 925-930
- [8] Gedam PN, Rushnaiwala FM. Endoscopy-Assisted Achilles Tendon Reconstruction With a Central Turndown Flap and Semitendinosus Augmentation[J]. Foot Ankle Int, 2016, 37(12): 1333-1342
- [9] Chen H, Ji X, Tang P, et al. Channel-assisted minimally invasive repair of acute Achilles tendon rupture[J]. J Orthop Surg Res, 2015, 10: 167
- [10] Li Q, Wang C, Huo Y, et al. Minimally invasive versus open surgery for acute Achilles tendon rupture: a systematic review of overlapping meta-analyses[J]. J Orthop Surg Res, 2016, 11(1): 65
- [11] Del Buono A, Volpin A, Maffulli N. Minimally invasive versus open surgery for acute Achilles tendon rupture: a systematic review [J]. Br Med Bull, 2014, 109: 45-54

- [12] Lee SJ, Sileo MJ, Kremenic IJ, et al. Cyclic loading of 3 Achilles tendon repairs simulating early postoperative forces [J]. Am J Sports Med, 2009, 37(4): 786-790
- [13] Orishimo KF, Burstein G, Mullaney MJ, et al. Effect of knee flexion angle on achilles tendon force during passive dorsiflexion [J]. J Foot Ankle Surg,2008, 47(1): 34-39
- [14] Demetracopoulos CA, Gilbert SL, Young E, et al. Limited-Open Achilles Tendon Repair Using Locking Sutures Versus Nonlocking Sutures: An In Vitro Model[J]. Foot Ankle Int, 2014, 35(6): 612-618
- [15] 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
- [16] Cretnik A, Zlajpah L, Smrkolj V, et al. The strength of percutaneous methods of repair of the Achilles tendon: a biomechanical study [J]. Med Sci Sports Exerc, 2000, 32(1): 16-20
- [17] Longo UG, Forriol F, Campi S, et al. A biomechanical comparison of the primary stability of two minimally invasive techniques for repair of ruptured Achilles tendon[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2012, 20(7): 1392-1397
- [18] Heitman DE, Ng K, Crivello KM, et al. Biomechanical comparison of the Achillon tendon repair system and the Krackow locking loop technique[J]. Foot Ankle Int, 2011, 32(9): 879-887
- [19] Hapa O, Erduran M, Havitçio ğ lu H, et al. Strength of different Krackow stitch configurations using high-strength suture [J]. J Foot Ankle Surg, 2013, 52(4): 448-450
- [20] Jordan MC, Boelch S, Jansen H, et al. Does plastic suture deformation induce gapping after tendon repair? A biomechanical comparison of different suture materials[J]. J Biomech, 2016, 49(13): 2607-2612

#### (上接第3455页)

Chen Jing, Wang Hong-zhi. Research progress of vascular endothelial growth factor [J]. Chinese Journal of Internal Medicine, 1998, 37(1): 1-4

- [16] Yoo HI, Moon YH, Kim MS. Effects of CoCl<sub>2</sub> on multi-lineage differentiation of C3H/10T1/2mesenchymal stem cells [J]. Korean J Physiol Pharmacol, 2016, 20(1): 53-62
- [17] Bidkhori HR, Ahmadiankia N, Matin MM, et al. Chemically primed bone-marrow derived mesenchymal stem cells show enhanced expression of chemokine receptors contributed to their migration capability[J]. Iran J Basic Med Sci, 2016, 19(1): 14-19
- [18] Hu J, Gu Y, Fan W. Rg1 protects rat bone marrow stem cells against

hydrogen peroxide-induced cell apoptosis through the PI3K/Akt pathway[J]. Mol Med Rep, 2016, 14(1): 406-412

- [19] Zhang GW, Gu TX, Sun XJ, et al. Edaravone promotes activation of resident cardiac stem cells by transplanted mesenchymal stem cells in a rat myocardial infarction model[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2016, 152(2): 570-582
- [20] 尤程程, 黄利鸣. VEGF 及其调控因素的研究进展[J]. 临床与实验 病理学杂志, 2011, 27(12): 1344-1346 You Cheng-cheng, Huang Li-ming. Research progress of VEGF and its regulatory factors[J]. Chinese Journal of Clinical and Experimental

Pathology, 2011, 27(12): 1344-1346

• 3480 •