

· 基础研究 ·

前交叉韧带重建术中腱-骨镶嵌式固定的实验研究

李 宁, 张义龙[△], 宋有鑫, 王 军, 张 弘

(承德医学院附属医院骨外一科, 河北承德 067000)

摘要:目的 观察腱-骨复合体镶嵌式固定后股骨隧道内腱-骨界面的愈合情况, 评价此固定方式的应用效果。方法 28 只新西兰大白兔均于右侧膝关节应用带骨块的自体半腱肌腱行前交叉韧带(ACL)重建术, 于术后不同时间点取材行拉伸测试, 观察股骨隧道内腱骨愈合的组织学情况。结果 拉伸测试显示术后 4 周, 重建韧带断裂部分位于腱性部分为 9 例, 1 例从股骨隧道内拉出; 术后 8 周, 重建韧带断裂部位均位于腱性部分。组织学观察显示术后腱骨组织间的愈合是一个纤维组织形成连接、新骨向肌腱内长入、局部纤维连接不断改建的过程。结论 腱-骨复合体镶嵌式固定效果可靠, 可有效促进骨隧道内腱-骨界面的组织愈合。

关键词:交叉韧带; 膝关节; 腱-骨

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2013.07.021

文献标识码: A

文章编号: 1671-8348(2013)07-0771-03

Experimental study of tendon-bone inlaid fixation in reconstruction of anterior cruciate ligament

Li Ning, Zhang Yilong[△], Song Youxin, Wang Jun, Zhang Hong

(Department of Orthopaedics, Affiliated Hospital, Chengde Medical College, Chengde, Hebei 067000, China)

Abstract: Objective To observe the healing state of tendon-bone interface in femoral tunnel after inlaid fixation of tendon-bone complex, and to evaluate its application effect. Methods Right anterior cruciate ligaments in 28 New Zealand rabbits were removed and reconstructed with autogeneic tendons of semitendinosus muscles. Specimens were collected at different time points after surgery, tension tests were performed and the histological status of tendon-bone interface healing in femoral tunnel was observed. Results The tension tests showed that there were 9 cases of tendon rupture and 1 case of pull-out of tendon-bone complex in postoperative 4 weeks. The rupture sites of reconstructed ligament all were in tendons after postoperative 8 weeks. The histological observation showed that the tendon-bone healing was the process including the forming of connection of fibrous tissue, growing of newly formed bone into tendon tissue and uninterrupted rebuilding of local connection of fibrous tissue. Conclusion The fixation effect of inlaid fixation of tendon-bone complex is reliable, which could promote the tendon-bone interface healing process effectively.

Key words: cruciate ligament; knee joint; tendon-bone

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)断裂后, 由于其自身愈合能力差^[1], 如不及时有效的治疗, 常会导致严重的膝关节不稳, 继发半月板和关节软骨不可逆的损伤。因此, ACL断裂后常需要行手术重建。对移植固定的牢固程度决定着手术的成败, ACL重建移植物的可靠固定对术后早期功能活动练习、后期移植与骨隧道融合均起着重要作用。目前, 移植物的固定方法很多, 每种方法均有其优、缺点^[2-3]。本研究在 ACL重建术中股骨侧应用腱-骨复合体镶嵌式固定, 旨在观测其愈合特点, 探索一种新的固定方式。

1 材料与方 法

1.1 实验动物 28 只新西兰大白兔(由承德医学院实验动物中心提供), 体质量 2.0~2.5 kg, 平均 2.3 kg, 均于右侧膝关节行 ACL重建术。

1.2 手术方法 经耳缘静脉注射 3%的戊巴比妥钠溶液(1 mL/kg)将动物麻醉, 右膝术区备皮、消毒, 取髌腱内侧纵行切口, 于大腿远端内后侧分离出半腱肌腱(图 1A), 保留远端止点完整, 自肌腱和肌腹交界处近端切断, 肌腱断端用 3-0 的丝线编织缝合作为牵引线; 经牵引线将肌腱引入直径 3 mm 环锯(图 1B)中, 于半腱肌腱远端止点处通过环锯钻取 3 mm×3 mm×3 mm 大小骨块, 连同半腱肌腱一并取下, 做成腱-骨复合体(图 1C), 备用。沿髌骨内侧切开至关节腔, 外推髌骨脱位,

于上、下止点处完整切除 ACL, 查前抽屉试验及 Lachman 试验阳性, 依肌腱直径大小选择约 1.5 mm 钻头自胫骨结节前内侧骨面向上原韧带下止点处钻取骨道, 通过该骨道再向上、外、后至髌间窝外侧壁后部, 近 ACL 上止点处钻取骨道, 钻通至股骨外髌外侧骨面, 然后改用 3 mm 钻头于股骨骨隧道外侧由外向内下方扩大股骨骨道深达 4 mm, 使股骨骨道呈瓶颈样以适应半腱肌腱一端骨块嵌入(图 1D)。用直针引导牵引线, 将肌腱-骨块复合体肌腱侧自股骨骨道外口导入关节腔, 从胫骨骨道拉出, 拉紧时骨块嵌入股骨骨道外侧端, 于屈膝 30°位拉紧, 肌腱侧经胫骨骨桥悬吊固定。查前抽屉试验及 Lachman 试验阴性后, 庆大霉素盐水冲洗伤口, 逐层间断缝合, 患肢不予固定。术后笼养, 自由活动, 前 3 d 肌内注射青霉素预防感染。

1.3 术后检测 于术后 4、8 周分别将 10 只实验动物处死取材, 将重建的膝关节前交叉韧带外周围软组织去除, 股骨和胫骨各保留 3 cm 长, 并保留胫骨侧的悬吊固定线, 股骨与胫骨端分别固定于生物力学试验机(MTS 858 Mini Bionix)上, 使拉力经过韧带的轴线, 按 5 mm/min 速度加载负荷, 记录重建韧带的断裂部位。并于术后 2、4、8、12 周分别将 2 只实验动物处死取材, 标本使用 10%甲醛液固定, 用 5%硝酸液脱钙, 脱钙组织沿股骨隧道长轴方向纵向切开, 然后依次梯度乙醇逐级脱水、清洗、石蜡包埋后, 切成 5 μm 厚薄片, HE 染色后观察腱-

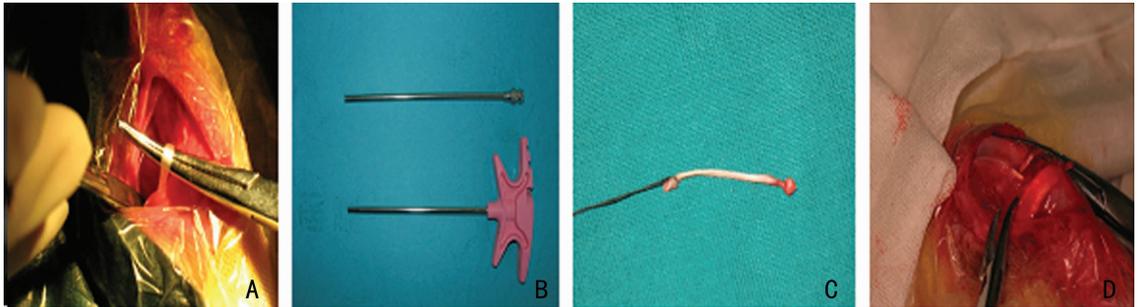
骨界面的组织愈合过程。

2 结果

2.1 断裂部位结果 28 只实验动物均未出现术后感染, 未见明显的滑膜炎症和关节腔积液, 未见纤维组织过度形成及关节僵直。术后 4 周, 拉伸测试显示, 重建韧带断裂部分位于腱性部分为 9 例, 其中位于股骨侧 3 例, 中段 3 例, 胫骨侧 3 例; 1 例从股骨隧道内拉出, 末端带有部分骨块。术后 8 周, 拉伸测试后, 重建韧带断裂部位均位于腱性部分, 其中位于股骨侧 3 例, 中段 3 例, 胫骨侧 4 例。

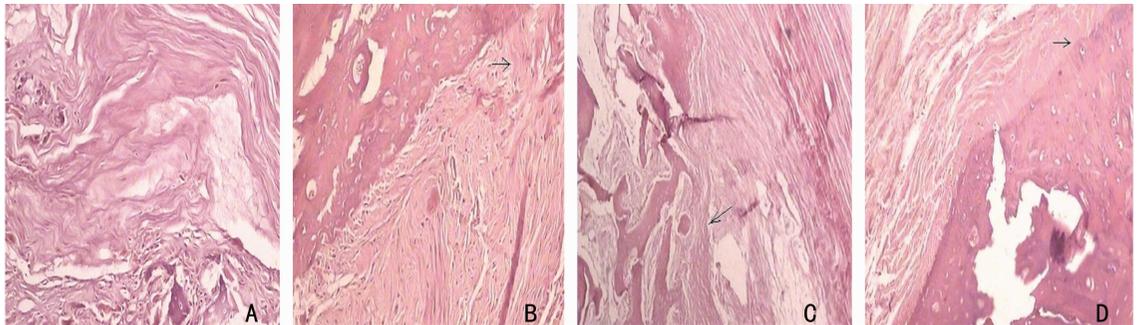
2.2 股骨隧道内腱-骨界面组织学检查 术后 2 周, 骨道内腱-骨界面间形成肉芽组织, 由成纤维细胞和炎症细胞组成, 连

接松散(图 2A)。术后 4 周, 骨道内坏死的腱组织逐渐被来自骨的新生细胞长入替代, 出现了较多软骨细胞, 从肌腱到骨之间形成软骨组织移行带, 界面仍有较多的成纤维细胞和少量炎症细胞, 腱骨间形成 Sharpey 纤维沿应力方向通过软骨细胞与骨组织相连(图 2B)。术后 8 周, 肌腱与骨隧道之间的连接变得紧密, 界面间可见成纤维细胞减少, 胶原纤维大量合成, 排列较规则。腱-骨界面的部分区域出现胶原纤维-纤维软骨-骨组织的移行带改变(图 2C)。术后 12 周, 新生骨与肌腱界限不清, 形成较明显的胶原纤维-纤维软骨-钙化的软骨组织-骨组织的移行带改变, 以及出现较为清晰的潮线(图 2D)。



A:分离出的半腱肌腱;B:直径 3 mm 环锯;C:取下的腱-骨复合体;D:腱-骨复合体骨块端嵌入骨隧道。

图 1 前交叉韧带重建术的主要方法



A:术后 2 周, 骨道内腱-骨界面间形成肉芽组织, 由成纤维细胞和炎症细胞组成, 连接松散;B:术后 4 周, 骨道内坏死的腱组织逐渐被来自骨的新生细胞长入替代, 出现了较多软骨细胞, 箭头指示为腱骨间形成 Sharpey 纤维;C:术后 8 周, 界面间可见胶原纤维大量合成, 箭头指示其排列较规则;D:术后 12 周, 新生骨与肌腱界限不清, 形成较明显的胶原纤维-纤维软骨-钙化的软骨组织-骨组织的移行带改变, 箭头指示出现较为清晰的潮线。

图 2 股骨隧道内腱-骨界面组织切片(HE, ×200)

3 讨论

ACL 重建手术的目的是恢复关节稳定性, 理想的重建要求移植物和固定方式具有足够的强度和刚度; 尽可能地接近解剖重建; 移植物与骨隧道尽早愈合。将 ACL 重建的固定方法分为 3 类: 远离关节面的间接固定, 纽扣钢板、门形钉、缝合栓桩等; 骨隧道内靠近关节面的类直接固定, 包括各种类型的横钉^[4]、肌腱结嵌压^[5]、自外向内植入的界面螺钉等; 直接固定, 如界面螺钉于关节内的直接固定。然而, 每种方法均有其优缺点, 通常认为, 直接固定或类直接固定较靠近关节面, 可减少“蹦极效应”与“雨刷效应”, 从而减少其对骨与移植物愈合的不利作用, 减少骨道扩大效应。同时, 移植物与骨隧道的接触程度对愈合也产生重要作用。周密等^[6]应用肌腱结嵌压固定重建 ACL, 骨隧道内无需任何内固定, 为生物学固定, 研究显示此固定方式有利于移植肌腱的韧带化过程。本研究与肌腱结固定方式有近似之处, 不同的是骨隧道“瓶颈”处镶嵌物为腱-

骨复合体, 肌腱部分愈合过程为腱-骨愈合, 骨性部分则为骨-骨愈合, 应用腱骨复合体嵌入固定的目的方面发挥其固定方面较为稳定的优势, 另一方面旨在发挥骨-骨愈合的优势^[7], 促进移植物早期愈合。

腱-骨愈合是一个纤维组织形成连接、新骨形成、骨向肌腱内长入、局部纤维连接不断改建的复杂过程^[8-9]。在术后早期, 腱-骨界面成为愈合过程中最薄弱的环节, 移植物止点的类型及生物力学性能直接决定了术后康复功能锻炼的时间和强度的选择^[10]。本研究中, 主要是靠腱骨复合体的骨块嵌入骨隧道瓶颈提供牢靠固定, 拉伸测试时, 仅术后 4 周时出现 1 例从股骨隧道拉出, 考虑原因可能为腱骨复合体制作过程中因为是手钻钻取, 虽肉眼下骨块完整, 但也不除外对肌腱一端的骨块有一定程度损伤。术后 8 周拉伸测试时, 未见骨块从骨隧道内拉出。在腱骨复合体镶嵌固定前提下, 股骨隧道内腱骨界面部分术后 4 周出现骨道内坏死的腱组织逐渐被来自骨的新生细

胞长入替代,可见较多软骨细胞,从肌腱到骨之间形成软骨组织移行带。术后 8 周肌腱与骨隧道之间的连接变得紧密,胶原纤维大量合成,排列较规则。术后 12 周新生骨与肌腱界限不清,形成了较明显的胶原纤维-纤维软骨-钙化的软骨组织-骨组织的移行带改变。可见,此固定方式有效保证了骨隧道内腱-骨界面的愈合。

实验中应用腱骨复合体固定时,骨块部分为主要镶嵌固定部分,属于骨隧道内固定,但由于兔的膝关节操作时要求精细程度较高,尤其是实验中移植植物切取时应用手工环锯,因器械性能所限,加之兔的胫骨远端骨皮质、骨松质厚度不是很大,不能切取较长的完整骨块,因此,固定的骨块较小,镶嵌固定时位置距离关节面较远,不能达到更大限度的类直接固定;甚至在取移植物的操作过程中可能出现腱骨复合体的损伤,出现股骨侧韧带固定不牢的情况。本研究中术后 4 周时出现 1 例从股骨隧道拉出可能即为此因所致。因此,在手术中取腱骨复合体时,要遵循稳、巧的原则,环锯要求较为锐利,防止操作中出现骨块碎裂或出现肌腱止点受损伤。幸运的是,实际操作中对于人的膝关节韧带重建时,因器械配套性能优越、大小适当,加之可以应用同种异体移植植物,骨块切取、修饰的自由性大大增加^[11-12]。本实验通过腱骨复合体镶嵌固定,主要是观测此种方式固定的愈合特点,为其临床应用提供理论依据,为前交叉韧带重建的方法选择提供参考,开拓思路。

参考文献:

- [1] Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, et al. Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part 2[J]. *Am J Sports Med*, 2005, 33(11): 1751-1767.
- [2] 王健, 敖英芳. 不同固定方法重建前交叉韧带后骨道变化的对比临床观察研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2007, 26(4): 438-443.
- [3] 白正武, 朱本珂, 张明, 等. 移植植物不同固定方式对自体腘

绳肌腱重建膝前交叉韧带术后股骨骨道影响的对比研究[J]. *中国矫形外科杂志*, 2010, 18(2): 106-109.

- [4] Wojcicki P, Kaczmarczyk J, Balcerkiewicz K. Anterior crucial ligament reconstruction with semitendineous tendons of rigid-fix and intrafix anchorage[J]. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol*, 2005, 70(1): 9-12.
- [5] 刘玉杰, 李众利, 王志刚, 等. 腘绳肌腱结嵌压固定法重建交叉韧带的临床应用与生物力学研究[J]. *中华外科杂志*, 2005, 43(4): 239-242.
- [6] 周密, 刘玉杰, 田玥, 等. 嵌压固定法重建交叉韧带肌腱结部分腱骨止点的组织学实验[J]. *军医进修学院学报*, 2009, 30(1): 97-98.
- [7] 张力, 靳安民, 田京. 前交叉韧带重建术后腱-骨和骨-骨界面愈合的比较研究[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2009, 23(4): 473-477.
- [8] Eriksson E. Vascular in growth into ACL-grafts[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2008, 16(4): 341.
- [9] Hays PL, Kawamura S, Deng XH, et al. The role of macrophages in early healing of a tendon graft in a bone tunnel[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2008, 90(3): 565-579.
- [10] 曾春, 蔡道章, 王昆, 等. 关节镜下前交叉韧带重建术后的康复干预[J]. *中国临床康复*, 2005, 9(14): 1-3.
- [11] 张义龙, 李宁, 李志怀, 等. 一端带骨块同种异体深冻下肢肌腱重建前交叉韧带的应用[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(7): 1295-1299.
- [12] 李志怀, 李宁, 张义龙, 等. 同种异体腱 Tibial-inlay 技术重建膝关节后交叉韧带 31 例[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(7): 1311-1314.

(收稿日期: 2012-08-16 修回日期: 2012-10-18)

(上接第 764 页)

Complications of combined modality treatment of primary lower extremity soft-tissue sarcomas[J]. *Cancer*, 2006, 107(10): 2455-2461.

- [8] Dickie CI, Parent AL, Griffin AM, et al. Bone fractures following external beam radiotherapy and limb-preservation surgery for lower extremity soft tissue sarcoma: relationship to irradiated bone length, volume, tumor location and dose[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 75(4): 1119-1124.
- [9] Blaes AH, Lindgren B, Mulrooney DA, et al. Pathologic femur fractures after limb-sparing treatment of soft-tissue sarcomas[J]. *J Cancer Surviv*, 2010, 4(4): 399-404.
- [10] Gortzak Y, Lockwood GA, Mahendra A, et al. Prediction of pathologic fracture risk of the femur after combined modality treatment of soft tissue sarcoma of the thigh[J]. *Cancer*, 2010, 116(6): 1553-1559.
- [11] Lin PP, Boland PJ, Healey JH. Treatment of femoral frac-

tures after irradiation[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1998(352): 168-178.

- [12] Lin PP, Schupak KD, Boland PJ, et al. Pathologic femoral fracture after periosteal excision and radiation for the treatment of soft tissue sarcoma[J]. *Cancer*, 1998, 82(12): 2356-2365.
- [13] Alektiar KM, Brennan MF, Singer S. Influence of site on the therapeutic ratio of adjuvant radiotherapy in soft-tissue sarcoma of the extremity[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2005, 63(1): 202-208.
- [14] Stewart AJ, Lee YK, Saran FH. Comparison of conventional radiotherapy and intensity-modulated radiotherapy for post-operative radiotherapy for primary extremity soft tissue sarcoma[J]. *Radiother Oncol*, 2009, 93(1): 125-130.

(收稿日期: 2012-08-17 修回日期: 2012-10-20)