

◇ 综述 ◇

膝关节交叉韧带断裂后 保留交叉韧带残端的韧带重建术应用进展

罗彬, 刘泉

(蚌埠医学院第一附属医院骨科, 安徽 蚌埠 233004)

摘要: 膝关节交叉韧带断裂后很难自愈, 通常需要进行交叉韧带重建术, 从而恢复膝关节的稳定性。近年来通过保留交叉韧带残端进行韧带重建术, 被认为有利于移植物的血管长入、加快移植物与骨隧道的愈合、有利于恢复韧带的本体感觉等。笔者通过对有关文献的回顾, 对交叉韧带残端的组织学分析、动物实验以及临床应用等方面进行总结。

关键词: 膝关节; 交叉韧带; 重建; 残端

doi: 10.3969/j.issn.1009-6469.2018.08.001

Research progress and clinical application of cruciate ligament reconstruction with remnant preservation of knee joint

LUO Bin, LIU Quan

(Department of Orthopedics, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu, Anhui 233004, China)

Abstract: The injured cruciate ligament of the knee is difficult to heal by itself. It is usually necessary to reconstruct the cruciate ligament to restore the stability of the knee joint. In recent years, the reconstruction of ligaments with remnant preservation of the cruciate ligament has been considered to promote vascular growth of the transplant, accelerate the healing of the transplant and the bone tunnel, and is conducive to the recovery of ligaments proprioception. By reviewing the relevant literature, the author summarizes the histological analysis, animal experiment and clinical application of the remnant of the cruciate ligament.

Key words: Knee joint; Cruciate ligament; Reconstruction; Remnant

膝关节是人体最复杂的关节, 膝关节交叉韧带包括前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 和后交叉韧带 (posterior cruciate ligament, PCL), 该结构的主要作用是维持膝关节的稳定性, 近年来运动创伤导致的膝关节交叉韧带断裂的发生率明显升高, 若未及时治疗或治疗不当, 将会影响到膝关节的稳定性和关节活动度的降低, 进而可使股骨髁、胫骨平台及周围结构产生继发性损伤, 严重影响到关节的功能, 并且健侧膝关节的功能也会受到患侧膝关节的影响。因此及时和恰当的韧带重建手术治疗是很有必要的, 通过保留断裂韧带所残留的部分韧带结构、滑膜组织等, 可能有利于重建术后的膝关节功能的恢复。

1 交叉韧带残端组织的最新研究进展

Fu 等^[1]研究了 ACL 损伤的患者韧带残端中是否存在某些间充质干细胞 (mesenchymal stem cells,

MSC), 通过对患者 ACL 残端中的细胞进行分离和培养, 并根据 MSC 的特性进行分析, 该实验成功地从人类的 ACL 残端中分离和鉴定出 MSC, 这些来源于 ACL 残端的 MSC 可能是韧带再生潜能的细胞来源, 通过保留韧带残端能较多的保留 MSC, 可能有助于重建韧带的愈合。然而, 这些 MSC 如何参与基质沉积和腱骨愈合及如何激活内源性组织特异性干细胞的韧带修复过程需要进一步调查。

Bertrand 等^[2]从 ACL 部分损伤的患者中收集残端样本, 在 54% 的样本中, 可以观察到大量的细胞, 主要的细胞类型是肌成纤维细胞和 α -平滑肌肌动蛋白阳性细胞, 发现在细胞区和滑膜表面的血管密度明显增加。在 41% 的标本中检出游离神经末梢和少量的 Golgi 和 Ruffini 小体, 研究结果表明, 在 ACL 残端中发现的主要组织结构包括具有丰富血管的滑膜组织, 大量的成纤维细胞、肌成纤维细胞和本体感受器。这些组织学研究成果的发现可进一步说明保残重建术所具有的优势。

Dhillon 等^[3,4]通过研究存在 ACL 内的本体感受

器在健康和受伤中的差异及其临床意义,表明 ACL 的重建在某些程度上可以恢复膝关节的本体感觉,但术后的效果不尽相同。虽然 ACL 残端中包含残余的本体感受器,这些感受器的数量和功能在某种程度上取决于 ACL 残端的本身特性和损伤的持续时间,损伤的时间越短越值得保留,尤其是附着在 PCL 上的残端在 ACL 重建中是值得保留的,实际上可以作为移植物的神经支配恢复的来源,能够在 ACL 重建后膝关节本体感觉的恢复中发挥主要的作用。

沙霖与赵金忠^[5]通过分析膝关节本体感受器在 ACL 损伤后胫骨侧残端中的存活情况和数量变化,将 ACL 损伤并行关节镜下 ACL 重建术的患者根据受伤后到接受手术治疗的时间长短分为 4 组,分别为 ≤ 3 个月、3~6 个月、6~12 个月和 > 12 个月。取 ACL 胫骨侧残端标本,行免疫组织化学染色,光镜下观察机械感受器类型、大小及数量,结果表明在 ACL 损伤后 1 年内胫骨侧残端中仍有部分的本体感受器存在,并且仍保持着活性,因此在 ACL 重建时保留胫骨侧残端相当于保留了这些残留的本体感受器,对患者术后膝关节本体感觉的恢复提供有利的条件。

Zhang 等^[6]从受伤到手术间隔、年龄、性别、合并半月板和软骨损伤等因素方面进行分析,证明了从受伤到手术较短的时间间隔内,在残存的组织中不仅可以发现更多的 CD34⁺、CD44⁺、CD45⁺ 和 CD146⁺ 细胞,而且有更好的扩增和成骨细胞分化能力。年龄较小的患者可以发现更多的 CD34⁺ 细胞和较高的细胞增长潜力,因此在行 ACL 保残重建时,早期的手术干预和年轻的患者可能会获得更好的愈合潜力。

2 动物实验的最新研究进展

Guo 等^[7]通过研究 ACL 保残重建兔模型中对某些基因表达模式的影响,在残端清除组和保留残端组的 ACL 移植物中检测的促血管生成和修复的相关 mRNA 水平都有升高,与神经修复有关的 mRNA 水平也有所增加,但在某些时间点中保留残端组的变化更为显着,特别是在移植物重塑的早期阶段,说明保留的残端在血供恢复、神经再生等方面对移植物有积极的作用。此外,生长因子的局部用药,如 VEGF、TGF- β 1、NT-3 和 GAP-43,可能有助于通过模拟内源性生长因子作用增强移植物重建。Xie 等^[8]也对 ACL 保残重建的兔模型的相关基因表达进行研究,发现保残组有时间依赖性促血管生成、修复和神经相关的基因表达较对照组明显增加,并且

ACL 保残重建术可以促进在某些时间点的相关基因的表达。

Wu 等^[9]通过研究 ACL 重建的兔模型中,表明残端保留组的移植物血流量明显高于残端清除组 ($P < 0.01$),在保残组的移植物 CD34 阳性细胞数、Ⅲ型胶原含量明显高于非保残组 ($P < 0.05$)。保留的残端对移植物的韧带化和重塑能力有促进作用,改善腱骨愈合的形态,在重建术后 24 周,移植物的拉伸负荷能力保留残端组 (23.46 ± 7.40) N 明显高于残端清除组 (18.63 ± 4.26) N ($P < 0.05$)。因此在兔 ACL 重建术中保留残端可以改善移植物的血运重建、移植物重塑和移植物的生物力学特性。

Sun 等^[10]也通过对兔 ACL 保残重建术后移植物愈合的能力做了对比,每只兔子的一侧膝关节在胫骨附着处保留 2 mm 的残端处理 (RP 组),对侧膝关节对胫骨附着处进行完整的清除 (RR 组)。结果显示在术后第 4 周 ($P = 0.002$) 和第 8 周 ($P = 0.020$) 时 RP 组移植物表面的血管密度显著高于 RR,在 RP 组中可观察到移植物在关节内和骨隧道内较 RR 组加速整合,在第 4 周 ($P = 0.028$, 关节内愈合; $P = 0.046$, 骨隧道内愈合), 第 8 周 ($P = 0.031$, 关节内愈合; $P = 0.014$, 骨隧道内愈合)。RP 组移植物的极限破坏负荷 ($P = 0.017$), 屈服负荷 ($P = 0.025$) 和强度 ($P = 0.004$) 均显著高于 RR 组。可以说明在兔模型中 ACL 重建术通过保留残端可明显的改善移植物的生物力学特性,促进愈合。这项研究支持了 ACL 重建术中的残余保存技术通过生物增强来改善临床疗效是合理可行的。

Takahashi 等^[11]通过对比绵羊 ACL 保残重建,一组 ACL 完全被去除,另一组 ACL 残端进行保留,采用半腱肌腱重建 ACL。发现术后 4 周两组就表现出差别,ACL 保残组的移植物机械感受器的数量在术后 4 周和 12 周明显增加,且加快细胞增殖。这些结果表明,保留的 ACL 残余组织可能提高 ACL 重建术后移植物的愈合。

3 临床应用

目前对于膝关节交叉韧带的保残重建方法,大致可以分为两种:保留残端的重建技术和保留残束的重建技术。当交叉韧带大面积断裂或者全部断裂时,仅在股骨或胫骨的足迹处保存较少的残端,在行重建术钻取骨道时应尽可能地保护这些残端,尽量减少残端的破坏,无论是进行单束或双束的韧带重建都可以称为保留残端的重建技术。当交叉韧带只是部分束断裂时,应保护残束不给予清理,在断裂束原有的解剖位置上进行韧带的重建称为保留残束重

建技术。因 PCL 位置靠后,视野不清晰,保残重建较困难,目前临床应用较少,主要进行 ACL 保残重建。ACL 在解剖上分为前内侧束(anteromedial bundle,AMB)和后外侧束(posterolateral bundle,PLB)。Gabriel 等^[12]通过测量发现,AMB 主要的作用是限制胫骨前移,PLB 的作用主要是限制胫骨旋转等方面有着重要的作用,因此在交叉韧带损伤的治疗中,虽然有些患者只有其中一束的损伤,也应给予积极的手术治疗,以恢复韧带的解剖结构和强度,避免膝关节遗留后遗症。

3.1 ACL 残余组织的分型 因患者膝关节 ACL 受伤机制及伤后时间不一,从而导致膝关节的 ACL 残余组织的形态特点不同,若受伤后的时间越长,则胫骨或股骨端残余的组织就会越少,而残余组织的形态不同所选择的手术方案也有差异。Crain 等^[13]通过观察关节镜下 ACL 残端的形态进行分型,但并未把 ACL 部分损伤的类型归纳到该分型中。Kazusa 等^[14]通过改良 Crain 等^[13]的分型方法,在分型中补充了 ACL 部分损伤的情况,使得分型更为全面(表 1)。

而在实际的临床工作中,上述分型可能稍有繁琐,Liu^[15]在临床实际应用中根据关节镜下 ACL 损伤后的形态特点将残余组织分为三种类型。残束:相当于 Kazusa 分型^[14]中的 1a 和 1b 型,即 ACL 的两束当中其中一束断裂,而另一束的连续性和完整性仍存在。残端:相当于 Kazusa 分型^[14]中的 2a、2b 和 2c 型,即 ACL 在股骨附着点撕脱后,游离的残端附着于 PCL 或髁间窝顶部或髁间窝外侧壁等,虽然断裂的 ACL 保留着基本形体和长度,但没有张力,多见于韧带断裂的早期。残根:相当于 Kazusa 分型^[14]中的 2d 型,当断裂的 ACL 随着时间的增加,导致游离的断端慢慢吸收、缺如,最后可能只有在 ACL 胫骨止点上发现韧带的残迹。

3.2 适应证 根据表 1 的分型所示,当 ACL 完全断裂时,即全部的 2 型分类,可进行保留残端的重建

技术,而对于 ACL 两束均有部分损伤时,即 1c 型,也应视为两束均有功能的损伤,应进行保留残端的重建技术,该手术方式与常规手术方式相似,只是不行关节镜下残端组织的清理,因此手术的技巧是如何保留较多的残端同时保持关节镜下视野的清晰,也要注意由于保残过度引起的“撞击”。当 ACL 部分断裂时,即 1a 和 1b 型,因未断裂束的连续性和完整性仍存在,虽然可能会丧失一部分功能,但仍是值得保留并会在术后进行快速恢复,应进行保留残束的重建技术,但该术式因有残束的存在,为保护残束在骨隧道的选取和建立时较常规手术复杂,需要术者具有 ACL 解剖双束重建的基础。

3.3 保残重建技术

3.3.1 骨隧道定位 保残重建技术操作相对复杂,因术中不作 ACL 残余的清理,尽可能的多保留 ACL 残余,导致常规术中关节镜下的视野明显受到影响,无法准确的对股骨或胫骨隧道进行定位,从而导致手术时间较长或手术失败的可能。Kazusa 等^[14]在行保残重建术时,通过一个辅助切口,能清楚和方便的找到 ACL 的股骨止点,股骨隧道的中心定位在股骨残端中心,在选择胫骨隧道使,可先纵向切开胫骨止点的韧带,这样既能保持韧带的连续性,又能显露胫骨止点的中心,通过定位导向器钻入导针,完成胫骨隧道的选择,通过隧道牵入准备好的移植物,保证移植物从残端中心穿出,这样可以保证移植物表面有较多的残端和滑膜组织覆盖,也可以保证尽可能建立解剖位置上的股骨和胫骨骨隧道。Taketomi 等^[16]在保留残端 ACL 重建中,通过计算机三维(3D)透视导航系统找到股骨侧韧带止点的解剖位置,从而可以解决因保留的残端影响关节镜下的视野问题,术中计算机 3D 透视导航系统帮助外科医生清晰的看到股骨切迹和外侧髁间嵴的整个侧壁,即使在关节镜下 ACL 残端阻碍了骨面的可视化。使用探针定位与虚拟的股骨隧道重叠时是最理想的股骨隧道位置,因此可以实现最少的 ACL 残端清

表 1 ACL 残余组织分型

类型	亚型	形态特点
1 型 ACL 部分断裂	1a	PLB 断裂,AMB 在股骨止点完好
	1b	AMB 断裂,PLB 韧带腱性结构完好附着于股骨止点
	1c	PLB 和 AMB 均有部分断裂
2 型 ACL 完全断裂	2a	ACL 残端附着于 PCL,髁间窝外侧壁原 ACL 股骨止点缺如
	2b	ACL 残端附着于髁间窝顶部,髁间窝外侧壁原 ACL 股骨止点缺如,残端直径减小
	2c	ACL 残端附着于髁间窝外侧壁,附着点偏前,残端直径减小,原 ACL 股骨止点缺如
	2d	ACL 残端游离于关节内

理。Ahn 等^[17]使用一种由外向内的技术钻取骨隧道,这种手术技术的目标是尽可能地保留残余组织,特别是在股骨足迹,并使隧道在解剖位置,手术的技巧是使用 70°角的关节镜通过后外侧入路观察 ACL 股骨足迹的后侧,通过这种方法,ACL 股骨足迹后缘可以清楚地观察到,然后使用定位导向器由外向内钻取股骨隧道,使股骨隧道解剖重建实现了可视化,并且保留了更多的残端。

3.3.2 残端或残束的处理 Lee 等^[18]应用自体腘绳肌肌腱进行 ACL 保残重建术,将术中所能保留的 ACL 残端 >20% 的患者分为 A 组,ACL 残端 <20% 的患者分为 B 组,术后随访发现在膝关节功能和本体感觉方面 A 组明显优于 B 组。Min 等^[19]将术中 ACL 残端纤维可以保存超过 50% 的为 I 组,未超过 50% 的为 II 组,这项研究的最重要的发现是第二次关节镜检查结果和临床结果显示组 I 和组 II 之间的显著差异,组 I 比组 II 有明显更好的形态愈合的重建移植物和临床结果。由此可以说明保留较多的残端有助于术后的临床疗效。Nag 和 Gupta^[20]使用关节镜解解者刀 (ConMed Linvatec, Largo, FL) 通过前内侧入路置入关节腔,从附着点边缘开始把残端软组织从外侧髁内侧壁的骨面上分离,形成一个软组织瓣附着于骨软骨交界处后侧,直到完全暴露股骨髁上 ACL 的附着点。在进行股骨隧道钻取和移植物植入时注意保护软组织瓣,避免被绞碎或带入隧道内,在韧带重建后,把软组织瓣覆盖到移植物的近端形成套袖样。这样既能实现股骨足迹的可视化,又能较多的保留残端。张磊等^[21]在进行胫骨隧道建立的时候,为了能更多的保护残端组织,根据残端纤维的方向钻入导针,使之位于胫骨足迹中心,然后顺着导针方向使用钻头钻取胫骨隧道,钻头直径应逐渐由小到大,钻取深度应刚好到达骨皮质为准,若钻头过深可能导致过多的残端纤维破坏,最终使残端形成套状样结构,使移植物从残端形成的套状样结构中心通过,可以使移植物获得更多的残端覆盖。Ahn 等^[22]认为简单的将残端处理成套状样结构会导致保留下无张力的残端纤维,而发生残端纤维的回缩,导致所谓的独眼畸形,因为在重建过程中可以使用一种再紧张技术,使用几根缝线穿过保留的残端纤维游离端,在关节镜下牵入移植物后,将残端游离缘的缝线和周围的软组织缝合到移植植物上,既能有效的保持残余纤维的张力,又能很好的完成移植物的覆盖。Noh 等^[23]使用 ACL 保残重建再紧张技术,发现再紧张技术提供了令人满意的短期临床和影像学结果,再次行关节镜下检查可以发现移

植物表面有较好的滑膜覆盖。但 Jung 等^[24]通过对比 ACL 保残重建再紧张技术与单纯行 ACL 保残重建,术后随访 2 年,使用 KT-1000 评分对膝关节的稳定性、功能以及 IKCD、OAK 评分进行评价,发现在术后膝关节稳定性与功能等方面并没有明显优势。

3.3.3 保残重建的优劣 在保留残余的交叉韧带重建过程中,来源于 ACL 残端的 MSC 可能作为韧带再生潜能的细胞来源,有助于重建韧带的愈合^[1]。残端具有丰富血管的滑膜组织,大量的成纤维细胞、肌成纤维细胞和本体感受器^[2],有利于恢复膝关节本体感觉功能,促血管生成和修复的相关 mRNA 水平的升高^[7],可加速移植物的血管长入,保留的残端使关节内移植物周围的环境与正常生理状况下较为接近。Tsuda 等^[25]研究证实 ACL 纤维中存在多种本体感受器,例如:Golgi 小体、Ruffini 小体和 Pacinian 小体等,这些本体感受器接受膝关节的位置及运动刺激,来调节膝关节周围的肌肉、韧带活动,来维持膝关节的稳定性,也对膝关节周围韧带保护作用。Kondo 等^[26]认为虽然保残组的解剖双束重建 ACL 在短期的主观评价和功能的结果中并未有明显的改善,但该术式在早期移植物首次的滑膜覆盖程度和膝关节的术后稳定性有明显的提高。Demira 等^[27]对部分损伤的 ACL 患者随机分为两组,一组行残束清理的标准单束 ACL 重建术,另一组行保留残束的单束 ACL 重建,两组虽然在术后疗效和术后并发症的发生率上未见明显差异,但在胫骨及股骨隧道扩大程度上保留残束的 ACL 重建明显小于残束清理 ACL 重建,尤其是在胫骨端,说明术中通过保留残束对骨隧道有保护作用。对于清理残余的交叉韧带重建,由于移植物与骨隧道开口处存有间隙,导致关节腔内的液体(包含 IL-6、一氧化氮等炎症因子)会通过间隙渗入骨隧道内,破骨细胞受到炎症因子的刺激而发挥作用,导致骨吸收进而促进隧道的扩大^[28]。对于保留残端的交叉韧带重建,由于移植物与骨隧道开口处有残余组织的存在,可有效的减少或阻碍关节腔内的液体渗入骨隧道内,进而防止炎症因子刺激破骨细胞,减少骨隧道的扩大,从而减少移植物强度丢失^[29]。Kim 和 Jung^[30]通过对比 ACL 保残再紧张的单束重建与标准的 ACL 双束重建术,在机械稳定性和临床观察结果上两组间的差异无统计学意义,但保残再张紧组的手术时间明显短于双束重建组,且创伤也明显减小。

当然也有部分文献指出,在临床实践中保残与非保残术后并没有明显的差距,两者术后疗效相似。Lei^[31]通过一项前瞻性、随机对照实验研究 90 例接

受 ACL 标准重建与保留残端重建技术的对比,结果表明 ACL 保留残端重建技术在术后膝关节稳定性,植骨物的滑膜覆盖和膝关节本体感觉的恢复并无明显优势,在临床结果无明显优势的前提下,就很少有必要执意使用浪费较多时间和技术要求较高的保留残端和再紧张技术,相反可以进行更加谨慎的标准重建技术。Park 等^[32]通过分析随访至少 2 年的 100 例 ACL 重建患者,发现在胫骨旋转及前移的稳定性和术后临床评分上保留残束的重建与标准的双束重建结果相似。Pujol 等^[33]对单纯的 ACL 的 AMB 损伤而 PLB 完好的患者采用保留残束的 ACL 单束重建与残束清理的标准 ACL 单束重建相比较,发现两组术后临床疗效相似,差异无统计学意义。

3.3.4 保残重建的并发症 交叉韧带保残重建技术,通过保留断裂韧带的残余组织对移植植物及隧道有着保护作用,残余组织中发现大量有意义的细胞、本体感受器、生长因子等都对重建的移植植物有良好的预后,获得满意的临床疗效,但有些研究^[34-35]表明在保留残余组织的过程中,有可能导致移植植物在关节腔内所占的体积增加,有可能导致前后交叉韧带相互“撞击”的风险,且过多的残端纤维可能在关节内与周围结构粘连,是膝关节伸直受限,或形成“独眼畸形”等。但最近通过较多的临床实践发现,“独眼畸形”和伸膝受限等并发症与保残和非保残并没有明显的关联。Jung 等^[24]通过对比 ACL 保残重建再紧张技术与单纯行 ACL 保残重建,术后随访 2 年,两组均未有“独眼畸形”的发生。Cha 等^[36]和 Tie 等^[37]比较了 ACL 单束标准重建和保留残束重建技术中独眼畸形的发生率,发现“独眼畸形”的患病率在两组是相似,无明显差异。

目前发现 ACL 保残重建可以减少某些并发症的发生,如移植植物断裂,隧道扩大,滑膜炎等。Takahawa 等^[38]发现保留 ACL 残余组织可以促进术后膝关节功能的恢复,并且减少移植植物破裂的发生率,可能是保留的残余组织在移植植物与骨隧道之间起到缓冲作用从而避免在转角处直接接触,降低了骨隧道对移植植物的切割作用。Jr 等^[29]和 Zhang 等^[39]认为由于移植植物与骨隧道开口处有残余组织的存在,可有效的减少或阻碍关节腔内的液体渗入骨隧道内,进而防止炎症因子刺激破骨细胞,减少骨隧道的扩大,从而减少移植植物强度丢失。Tie 等^[37]在有无保留残余组织的 ACL 单束重建的临床疗效差异的 META 分析中也指,保留残余组的重建术后胫骨隧道扩大率显著降低。认为在 ACL 重建术中保留残迹可以抵抗胫骨骨隧道的扩大。祁洁等^[40]使用异

体肌腱作为移植物进行 ACL 保残重建,术中将异体肌腱从 ACL 残束中心通过,残束包裹着移植物,能够有效的减少关节腔内液体向骨隧道内渗入,并且通过残束的包裹有效的降低异体肌腱所引起的免疫排斥反应,明显降低了术后滑膜炎的发生,有利于术后膝关节的功能恢复。

4 总结和展望

在交叉韧带的残留组织研究中,发现的主要组织结构包括具有丰富血管的滑膜组织,大量的成纤维细胞和肌成纤维细胞,残留的本体感受器;也有研究成功地从人类的 ACL 残端中分离和鉴定出 MSC 等,这些组织学研究结果的发现是对 ACL 残保重建或增强提供了重要的理论依据,但是目前尚未弄清这些组织促进移植物的血管长入,韧带重塑及骨髓愈合的作用机制。在动物实验中,发现某些生长因子,如 VEGF、TGF- β 1、NT-3 和 GAP-43 的发现,可能有助于通过模拟内源性生长因子作用增强移植植物重建,未来的研究需要阐明这项研究中的变化与临床结果是否有差异,在残端保留重建技术中促进移植植物重塑过程的作用机制等,可能对未来在临床上通过药物应用来增强移植物的愈合和重塑有一定帮助。保留交叉韧带的残余组织就相当于保留了具有丰富血管的滑膜组织,大量的成纤维细胞、肌成纤维细胞和本体感受器,保留的残端包裹着移植植物,更接近正常的生理结构,使移植物的再血管化和韧带重塑成为可能,最理想的结果是自体的组织完全替代掉移植植物。近年来随着计算机 3D 打印技术的发展,是否可以通过残余组织进行 3D 打印获得个体化韧带,需要今后进一步的研究。

参考文献

- [1] FU W, LI Q, TANG X, et al. Mesenchymal stem cells reside in anterior cruciate ligament remnants in situ [J]. International Orthopaedics, 2016, 40(7):1523-1530.
- [2] BERTRAND S C, CÉLINE B, CHRISTOPHE H, et al. Histological features of the ACL remnant in partial tears. [J]. Knee, 2014, 21(6):1009-1013.
- [3] DHILLON MS, BALI K, PRABHAKAR S. Differences among mechanoreceptors in healthy and injured anterior cruciate ligaments and their clinical importance. [J]. Muscles Ligaments Tendons J, 2012, 2(1):38-43.
- [4] DHILLON MS, BALI K, VASISTHA RK. Immunohistological evaluation of proprioceptive potential of the residual stump of injured anterior cruciate ligaments (ACL) [J]. International Orthopaedics, 2010, 34(5):737-741.
- [5] 沙霖,赵金忠. 前交叉韧带胫骨侧残端中机械感受器的计数研究 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2010(11):1318-1322.

- [6] ZHANG S, MATSUMOTO T, UEFUJI A, et al. Anterior cruciate ligament remnant tissue harvested within 3-months after injury predicts higher healing potential[J]. *Bmc Musculoskeletal Disorders*, 2015, 16(1):1-9.
- [7] GUO MX, XIAO QHF, JIN ZZ. The Effect of Remnant Preservation on Patterns of Gene Expression in a Rabbit Model of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[J]. *Journal of Surgical Research*, 2011, 176(2):510-516.
- [8] XIE G, DONG S, HUANGFU X, et al. [EXPRESSIONS OF LIGAMENT REMODELING RELATED GENES IN RABBIT MODEL OF ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION WITH PRESERVING TIBIAL RESIDUAL FIBERS][J]. *Chinese Journal of Reparative & Reconstructive Surgery*, 2016, 30(1):15.
- [9] WU B, ZHAO Z, LI S, et al. Preservation of Remnant Attachment Improves Graft Healing in a Rabbit Model of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[J]. *Arthroscopy*, 2013, 29(8):1362-1371.
- [10] SUN L, WU B, TIAN M, et al. Comparison of graft healing in anterior cruciate ligament reconstruction with and without a preserved remnant in rabbits[J]. *Knee*, 2013, 20(6):537-544.
- [11] TAKAHASHI T, KONDO E, YASUDA K, et al. Effects of remnant tissue preservation on the tendon graft in anterior cruciate ligament reconstruction: a biomechanical and histological study[J]. *American Journal of Sports Medicine*, 2016, 44(7):1708-1716.
- [12] GABRIEL MT, WONG EK, WOO LY, et al. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads[J]. *Journal of Orthopaedic Research*, 2004, 22(1):85-89.
- [13] CRAIN EH, FITHIAN DC, PAXTON E W, et al. Variation in anterior cruciate ligament scar pattern: Does the scar pattern affect anterior laxity in anterior cruciate ligament-deficient knees? [J]. *Arthroscopy the Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 2005, 21(1):19-24.
- [14] KAZUSA H, NAKAMAE A, OCHI M. Augmentation technique for anterior cruciate ligament injury[J]. *Clinics in Sports Medicine*, 2013, 32(1):127-140.
- [15] LIU YJ. [Recognition of reconstruction of cruciate ligament with remnant preservation]. [J]. *Zhongguo gu shang = China journal of orthopaedics and traumatology*, 2013, 26(26):357-359.
- [16] TAKETOMI S, INUI H, SANADA T, et al. Remnant-Preserving Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using a Three-Dimensional Fluoroscopic Navigation System[J]. *Knee Surgery & Related Research*, 2014, 26(3):168-176.
- [17] AHN JH, LEE YS, LEE SH. Creation of an Anatomic Femoral Tunnel With Minimal Damage to the Remnant Bundle in Remnant-Preserving Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using an Outside-In Technique [J]. *Arthroscopy Techniques*, 2014, 3(1):e175 - e179.
- [18] LEE BI, KWON SW, KIM JB, et al. Comparison of Clinical Results According to Amount of Preserved Remnant in Arthroscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Quadrupled Hamstring Graft[J]. *Arthroscopy*, 2008, 24(5):560-568.
- [19] MIN KK, LEE SR, HA JK, et al. Comparison of second-look arthroscopic findings and clinical results according to the amount of preserved remnant in anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Knee*, 2014, 21(3):774-778.
- [20] NAG HL, GUPTA H. Anterior cruciate ligament reconstruction with preservation of femoral anterior cruciate ligament stump[J]. *Arthroscopy Techniques*, 2014, 3(5):e575-e577.
- [21] 张磊, 李智尧, 刘劲松, 等. 关节镜下保留胫骨残端纤维同种异体肌腱移植重建前交叉韧带[J]. *中国骨伤*, 2013, 26(5):370-375.
- [22] AHN JH, LEE YS, HA HC. Anterior cruciate ligament reconstruction with preservation of remnant bundle using hamstring autograft: technical note[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2008, 129(8):1011-1015.
- [23] NOH JH, KYUNG HS, ROH YH. Remnant-preserving and re-tensioning technique to cover the graft in anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017 25(4):1205-1210.
- [24] JUNG YB, JUNG HJ, SITI HT, et al. Comparison of anterior cruciate ligament reconstruction with preservation only versus remnant tensioning technique [J]. *Arthroscopy*, 2011, 27(9):1252-1258.
- [25] TSUDA E, OKAMURA Y, OTSUKA H, et al. Direct evidence of the anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc in humans. [J]. *American Journal of Sports Medicine*, 2001, 29(1):83-87.
- [26] KONDO E, YASUDA K, ONODERA J, et al. Effects of Remnant Tissue Preservation on Clinical and Arthroscopic Results After Anatomic Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction [J]. *American Journal of Sports Medicine*, 2015, 43(8):1882-1892.
- [27] DEMIRA B, ERMUTLU C, AYDEMIR F, et al. A comparison of clinical outcome of augmentation and standard reconstruction techniques for partial anterior cruciate ligament tears [J]. *Ekleml Hastalik Cerrahisi*, 2012;23(3):140-144.
- [28] WEBSTER KE, FELLER JA, HAMEISTER KA. Bone tunnel enlargement following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomised comparison of hamstring and patellar tendon grafts with 2-year follow-up. [J]. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 2001, 9(9):86-91.
- [29] JR JD, JOHNSON DL. ACL tibial remnant, to save or not? [J]. *Orthopedics*, 2008, 31(2):154-159.
- [30] KIM SH, JUNG YB. Comparison of double-bundle anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction and single-bundle reconstruction with remnant pull-out suture[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(9):2085-2093.
- [31] LEI H. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Remnant Preservation[J]. *Am J Sports Med*, 2012, 40:2747-2755.
- [32] PARK SY, OH H, PARK SW, et al. Clinical Outcomes of Remnant-Preserving Augmentation Versus Double-Bundle Reconstruction in the Anterior Cruciate Ligament Reconstruction[J]. *Arthroscopy*, 2012, 28(12):1833-1841.
- [33] PUJOL N, COLOMBET P, POTEL JF, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction in partial tear: Selective anteromedial bundle reconstruction conserving the posterolateral remnant versus single-bundle anatomic ACL reconstruction: Preliminary 1-year results of a prospective randomized study[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*,