

青少年儿童关节镜下前交叉韧带重建技术的比较分析

COMPARATIVE ANALYSIS OF ARTHROSCOPIC TECHNIQUES OF ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION IN ADOLESCENTS

© M.R. Salikhov¹, V.V. Avramenko²

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Saint Petersburg, Russia;

² Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

■ For citation: Salikhov MR, Avramenko VV. Comparative analysis of arthroscopic techniques of anterior cruciate ligament reconstruction in adolescents. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2020;8(3):259-268. <https://doi.org/10.17816/PTORS34050>

Received: 12.05.2020

Revised: 15.07.2020

Accepted: 24.08.2020

论证: 国内外文献中有很多矛盾的信息, 在其他条件相同的情况下, 解剖重建和胫骨重建前交叉韧带都可以提供良好的功能治疗结果。然而, 前交叉韧带重建的个别方法的比较效果和前景仍然是非常相关的课题。需要分析解剖技术重建前交叉韧带的可能性和优势, 这决定了本研究的目的。

目的 比较不同方法重建青少年前交叉韧带的效果。

材料与方法。 分析了94例青少年前交叉韧带关节镜重建的结果。所有的病人被分成三组。第一组(32例—34%)采用前交叉韧带等长整形手术, 其中采用经胫骨隧道技术形成股管。第二组患者(30例—32%)通过关节前内侧入路进行前交叉韧带解剖整形手术, 并形成股管。第三组(32例—34%)行前交叉韧带重建采用全关节腔内(all inside)的技术。

结果。 通过对青少年儿童前交叉韧带重建结果的对比分析, 发现第三组患者膝关节的正位和旋转稳定性优于第一组和第二组患者。第三组的患者进行轴移试验(Pivot-Shift Test)阳性的可能性显著降低(0度—87.5%; I+度—12.5%)较第一组(0度—46.8%; I+度—25%; II+度—21.9%; III+度—6.3%)和第二组的患者(0度—86.6%; I+度—6.7%; II+度—6.7%)。

结论。 采用全关节腔内重建前交叉韧带, 对关节内结构安全, 股骨管解剖定位更理想, 对膝关节术后正位及旋转稳定性有较好的效果。

关键词: 前交叉韧带; 儿童; 生长区域。

Background. According to the considerably contradictory information across the international literature, both the anatomical and transtibial reconstruction of the anterior cruciate ligament (ACL), under similar conditions, yield good functional results from treatment. Therefore, it is important to evaluate the comparative effectiveness and the prospects of certain methods of ACL reconstruction. The purpose of this study was to analyze the possibilities and advantages of anatomical technologies for the reconstruction intervention.

Aim. To compare the outcomes of ACL reconstructions among adolescent children using different methods.

Materials and methods. The outcomes of 94 arthroscopic reconstructions of the ACL in adolescents were analyzed. The patients were categorized into 3 groups: Group 1 included 32 patients (34%) who underwent isometric plastic surgery of the ACL, wherein the femoral canal was formed using the transtibial technique. Group 2 included 30 patients (32%) who underwent anatomical plastic surgery of the ACL, with the formation of the femoral canal through additional anteromedial arthroscopic access. Group 3 included 32 patients (34%) who underwent the “all-inside” anatomical reconstruction of the ACL.

Results. A comparative analysis of the outcomes of reconstruction of the ACL among adolescents revealed that the anterior-posterior and rotational stability of the knee joint was better in group 3 patients than in groups 1 and 2 patients. In fact, the group 3 patients showed a significantly less positive pivot-shift (0 degree to 87.5%; I+ the extent

of 12.5%) — than the group 1 patients (0 degree — 46.8%; I+ degree — 25%; II+ degree and 21.9%; III+ degree and 6.3%), followed by the group 2 patients (0 degree to 86.6%; I+ degree 6.7%; II+ degree of 6.7%).

Conclusion. Considering the safety aspects of intra-articular structures and for the better anatomical orientation of the femoral canal, the all-inside method of ACL reconstruction yielded better outcomes of postoperative anterior-posterior and rotational stability of the knee joint.

Keywords: anterior cruciate ligament; adolescents; growth zone.

以前,人们认为前交叉韧带(ACL)损伤在不完全生长的患者中很少见,但最近的文献注意到这种疾病的发生率越来越高。2014年,Dodwell等人[1]报道,纽约州每10万3-20岁人口的前交叉韧带恢复率在20年间增长了近3倍,从1990年的17.6增加到2009年的50.9,并高峰出现在青春期晚期。许多人将这一指标的增加归因于儿童人口的活动水平较高,以及较早的体育专业化和面向全年训练和比赛。

儿童前交叉韧带损伤的解剖学危险因素未表现为髌间切迹、前交叉韧带的小体积、外侧髌间嵴厚度大以及前交叉韧带的明显的后倾斜[2,3]。此外,四头肌角度增加、前外翻和更大的泛化韧带无力也与前交叉韧带损伤风险增加有关。女孩发生前交叉韧带损伤的几率是男孩的2-9倍[4-6]。这种差异的部分原因是女孩更容易出现上述解剖危险因素。

儿童前交叉韧带损伤的保守治疗与50%的运动员辍学率有关。大量研究表明,前交叉韧带损伤后延迟手术治疗的儿童患者内侧半月板破裂的发生率高于损伤后立即治疗的儿童患者[7-9]。

许多外科医生担心,手术治疗可能导致骨骺板损伤、生长障碍和肢体畸形,这迫使患者和外科医生选择保守治疗或推迟前交叉韧带重建,直到生长完成。但由于非手术治疗和延迟前交叉韧带重建的预后较差[10-14],前交叉韧带重建的手术方法也在不断完善,越来越多的患者和外科医生寻求对青春期儿童进行早期前交叉韧带

重建。一项综述介绍了1867例有功能生长区的青少年患者,其接受了前交叉韧带重建,但没有接受早期翻修或早期再次手术,与术后并发症有关[15]。

在前交叉韧带重建过程中,钻孔骨通道对生长区域造成损害的风险尚不完全清楚。据报道,无论使用何种重建技术,前交叉韧带的损伤都会增加生长障碍的风险[16]。股骨远端和胫骨近端共同提供了超过60%的下肢生长,在标准重建前交叉韧带时,由于骨隧道的形成,股骨远端和胫骨近端通常会受到损伤。骨隧道的大小和方向以及钻井的速度,可以改变程度的损伤,此外,在较慢速度下形成的隧道直径更小、垂直位置更大,有利于更大、更倾斜的隧道,这使得前交叉韧带处于生物力学不利的位置[17-20]。

一些临床报告描述了儿童患者在前交叉韧带重建后出现腿长不匹配或角畸形的病例[21-23]。经物理方法的支持者认为骨通道的形成《全部在骨骺》,靠近生长区,比钻过生长区更小的区域更有害。

国内外文献中有很多矛盾的信息,在其他条件相同的情况下,解剖重建和胫骨重建前交叉韧带都可以提供良好的功能治疗结果。然而,前交叉韧带重建的个别方法的比较效果和前景仍然是非常相关的课题[24]。需要分析解剖技术重建前交叉韧带的可能性和优势,这决定了本研究的目的。

目的比较不同方法重建青少年前交叉韧带的效果。

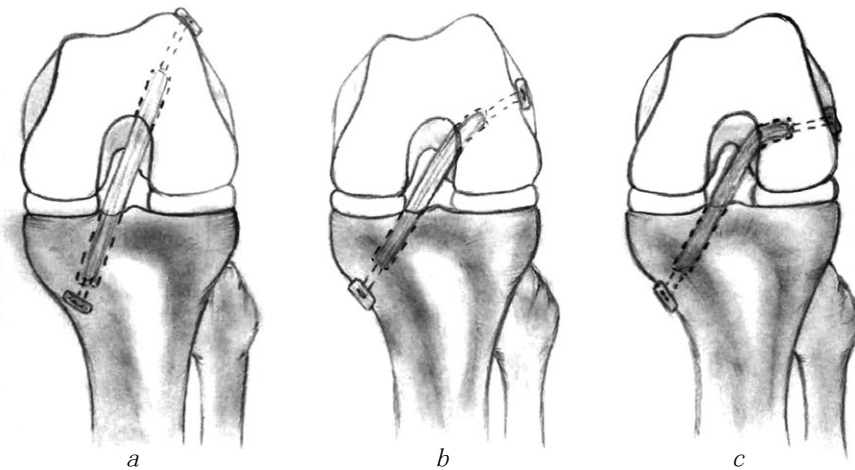


图1 手术方案，轴位投影：a— 第一组的患者；b— 第二组的患者；c— 第三组的患者

材料与方法

为了实现本研究的目标，作者前瞻性地分析了2015年至2017年期间在Saint Petersburg State Pediatric Medical University进行了对94例14至17岁青春期儿童关节镜下前交叉韧带重建的结果。

所有患者被分为三组。

第一组（32例—34%）采用前交叉韧带等长整形手术，其中采用经胫骨隧道技术形成股管。第二组患者（30例—32%）通过关节前内侧入路进行前交叉韧带解剖整形手术，并形成股管。第三组（32例—34%）行前交叉韧带重建采用全关节腔内（all inside）的技术（图1,2）。

各组患者在性别、年龄、损伤机制和性质、损伤持续时间、术后随访时间等方面差异无统计学意义（表1）。

膝关节来临床（表2）、影像学的评估以及根据磁共振成像数据，使用IKDC 2000和Lysholm膝关节评分量表问卷调查膝关节功能。所有患者均接受术前、术后检查。术后12个月评估临床和功能结果。为了评估膝关节的稳定性，使用了一种特殊的工具—KLT Karl Storz。进行了比较各组手术治疗时间。

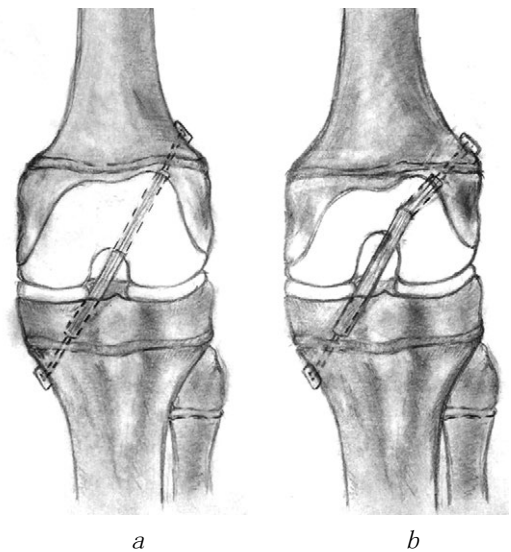


图2 手术方案，额部投影：a— 第一组的患者；b— 第二组和第三组的患者

表明前交叉韧带重建前膝关节正位及前外侧旋转不稳定严重程度临床研究结果，其前抽、Lachman及轴移试验获得的第一、二、三组患者差异无统计学意义（ $p > 0.05$ ）。

按照标准方案对患者进行手术治疗。

第一组和第二组的自体移植是由半折半半的半肌腱肌形成，当所需移植物直径不足时，加用软肌腱（ST+G）。

第三组患者的自体移植是由半肌腱的四肢瘫痪肌腱（ST）形成的。在大多数情

表 1

实验组比较特征 ($n=94$)

变数	第一组	第二组	第三组	p	p_1	p_2
数量	32	30	32			
平均年龄, 岁	15.7 ± 0.94	15.3 ± 0.81	15.3 ± 0.82	>0.05	>0.05	>0.05
女性	20 (62.5%)	16 (53.3%)	21 (65.6%)	>0.05	>0.05	>0.05
男性	12 (37.5%)	14 (46.7%)	11 (34.4%)			
运动损伤	25 (78.1%)	21 (70%)	26 (81.3%)	>0.05	>0.05	>0.05
家中损伤	7 (21.9%)	9 (30%)	6 (18.7%)	>0.05	>0.05	>0.05

注: 在这里和其他表格中, p (差异的置信度) 是第一组和第二组之间的比率; p_1 (差异的置信区间) 为第一组与第三组之间的比率; p_2 (差异的置信区间) 是第二和第三组之间的比率。

表 2

前交叉韧带重建术前膝关节临床稳定性研究 ($n=94$)

程度	第一组 $n=32$	第二组 $n=30$	第三组 $n=32$
Lachman 试验			
0 (0-2 mm)	0	0	0
I+ (3-5 mm)	7 (21.8%)	5 (16.7%)	5 (15.6%)
II+ (6-10 mm)	10 (31.3%)	11 (36.7%)	11 (34.4%)
III+ (>10 mm)	15 (46.9%)	14 (46.6%)	16 (50%)
前抽屉试验			
0 (0-2 mm)	0	0	0
I+ (3-5 mm)	19 (59.4%)	20 (66.7%)	18 (56.3%)
II+ (6-10 mm)	10 (31.3%)	8 (26.7%)	11 (34.3%)
III+ (>10 mm)	3 (9.7%)	2 (6.6%)	3 (9.4%)
轴移试验			
0 (正常)	17 (21.9%)	10 (33.3%)	10 (31.3%)
I+ (出现复位)	11 (34.3%)	10 (33.3%)	11 (34.3%)
II+ (中度复位)	10 (31.3%)	8 (26.7%)	8 (25%)
III+ (明显复位)	4 (12.5%)	2 (6.7%)	3 (9.4%)

况下, 移植物直径为7.5—8mm, 以确保前交叉韧带的可接受强度。

在第一组患者中, 先形成胫骨管。通常在这个阶段没有困难, 由于通道形成点在关节镜检查中很容易看到, 并且可以通过保存的原生前交叉韧带远端残端和位于关节镜视野内的外侧半月板前角的后缘来确定。安装引导钢针后, 用与准备的移植物的直径相对应的空心钻头钻透胫骨管。使用由外向内 (outside-in) 技术从关节的外部钻到内部。

第一组患者的股管采用胫骨穿刺技术和偏移量为7-8-9 mm的标准Karl Storz引导器进行等距形成。设置这种引导器偏移的参考点是位于股骨外侧髁近端边缘后方的一个缺口, 即所谓的过多的区域 (over-the-top)。钻凿的通道与3mm长的接枝直径相适应, 其余的通道由4.5mm直径的钻头形成。

第二组患者的股管是在前交叉韧带附着区通过一个额外的前内侧通道在解剖学上形成的。股管的中心稍微转移到股骨外侧

髌的后边缘外侧分叉脊脊中心的距离等于股管+2.0 mm的半径后边缘的股外侧髌的透明软骨。该通道在膝关节的屈曲角度为60度时创建,与第一组患者一样,该通道的直径和长度为30毫米,其余通道由直径为4.5 mm的钻头形成。建立股骨隧道后,采用与第一组相同的方法形成胫骨隧道。

第三组患者的手术治疗技术是采用由里向外法(inside out)采用全关节腔内(all inside)的技术。第三组患者的股骨隧道在外侧髌间嵴下、髌间窝外侧壁后缘与外侧分叉嵴的中间位置,采用标准股骨引导器形成了一套用于重建前交叉韧带的解剖结构。胫骨隧道形成于原生前交叉韧带剩余纤维的区域,对面后十字韧带,向外侧靠近胫骨髌间隆起的内侧结节。

在所有组的患者中,只使用安装在已形成的股骨和胫骨通道出口处的悬浮的体外固定架。选择这种固定是为了减少对生长区域的攻击,并将可能发生的事件的频率降到最低。

使用Statistica 10软件包(StatSoft, USA)进行统计数据处理。为显示初始参数的一般特征,采用描述性统计方法,平均值为±标准差。对于具有正态分布的变量,使用学生t标准进行组比较。为确定组间差异的统计学意义,定量变量采用Mann-Whitney检验,对命名变量采用Fisher精确检验。使用配对比较的Wilcoxon检验来评估相关样本中均数差异的统计学意义。 $p < 0.05$ 被认为是危急值。

结果

青少年儿童前交叉韧带重建结果的对比分析显示,第三组患者的膝关节正位稳定性和旋转稳定性高于第一组和第二组(表3)。

显示前外侧旋转不稳定严重程度的轴移试验结果显示,第一组患者比第二组和第三组患者多4倍($p < 0.0001$ 和 $p < 0.0001$)。因此,第三组患者检测结果为:0度—87.5%,

表3

前交叉韧带重建术12个月后膝关节临床稳定性研究($n = 94$)

程度	第一组 $n = 32$	第二组 $n = 30$	第三组 $n = 32$
Lachman试验			
0 (0-2 mm)	12 (37.5%)	25 (83.3%)	27 (84.4%)
I+ (3-5 mm)	14 (43.7%)	5 (16.7%)	5 (15.6%)
II+ (6-10 mm)	6 (18.8%)	0	0
III+ (>10 mm)	0	0	0
前抽屉试验			
0 (0-2 mm)	22 (68.8%)	24 (80%)	27 (84.4%)
I+ (3-5 mm)	8 (25%)	5 (16.7%)	5 (15.6%)
II+ (6-10 mm)	2 (6.2%)	1 (3.3%)	0
III+ (>10 mm)	0	0	0
轴移试验			
0 (正常)	15 (46.8%)	26 (86.6%)	28 (87.5%)
I+ (出现复位)	8 (25%)	2 (6.7%)	4 (12.5%)
II+ (中度复位)	7 (21.9%)	2 (6.7%)	0
III+ (明显复位)	2 (6.3%)	0	0

表 4

采用IKDC 2000和Lysholm膝关节评分量表进行前交叉韧带重建前后各组比较结果($n = 94$)

阶段	第一组 $n = 32$	第二组 $n = 30$	第三组 $n = 32$	ρ	ρ_1	ρ_2
IKDS 2000测量						
手术前	56.83 ± 0.86	56.34 ± 0.85	55.77 ± 0.77	>0.05	>0.05	>0.05
12个月后	85.29 ± 1.09	93.45 ± 0.37	98.48 ± 0.27	0.00006	0.00006	0.00006
Lysholm膝关节评分量表						
手术前	43.94 ± 0.96	44.07 ± 1.03	43.52 ± 0.99	>0.05	>0.05	>0.05
12个月后	77.0 ± 1.23	85.86 ± 1.45	96.13 ± 0.68	0.00008	0.00006	0.00006

表 5

第一、二、三组患者的手术时间

组类型	手术时间 (平均值±标准差), 分钟	ρ	ρ_1	ρ_2
第一组	60.03 ± 1.49	0.00006	0.00006	0.00006
第二组	98.2 ± 0.99			
第三组	72.3 ± 0.76			

I+度—12.5%；第一组：0度—46.8%，I+度25%，II+度21.9%，III+度6.3%；第二组：0度86.6%，I+度6.7%，II+度6.7%。

第二组和第三组患者采用前抽屉试验和Lachman试验测定前交叉韧带重建后膝关节前后不稳定的严重程度，结果差异无统计学意义 ($p > 0.05$)。

结果第二组患者进行Lachman试验：0度—83.3%，I+度—16.7%；前抽屉试验：0度—80%，I+度—16.7%，II+度—3.3%。

结果第三组患者进行Lachman试验：0度—84.4%，I+度—15.6%；前抽屉试验：0度—84.4%；I+度—15.6%。

第一组患者前抽屉试验阳性率是第二组和第三组的1.5倍 (0度—68.8%，I+度—25.0%，II+度—6.2%)，分别为 $p < 0.0001$ 和 $p < 0.0001$ 。

第一组患者Lachman试验阳性率是第二组和第三组的4倍 (0度—37.5%，I+度—

43.7%，II+度—18.8%)，分别为 $p < 0.0001$ 和 $p < 0.0001$ 。

第三组患者使用IKDC2000和Lysholm膝关节评分量表问卷对前交叉韧带重建后膝关节的功能评估结果与第二组和第一组患者有明显差异：分别为 $p = 0.00006$ 和 $p = 0.00006$ (表4)。

第二组患者的功能结果明显高于第一组 (Lysholm膝关节评分量表为 $p = 0.00008$ ，IKDS 2000问卷为 $p = 0.00006$)。

在研究的最后阶段，进行了各组患者的手术时间比较。第二组患者手术时间最长，为 98.2 ± 0.99 分钟。这是由于需要通过一个额外的前内侧孔更好地为股管的形成做好准备。准备工作包括移除部分髌下的脂肪体和创建额外的前内侧通道。额外的前内侧入路反过来应该有利于股管的形成和关节内结构的安全，特别是内侧半月板和股骨内侧髁的透明软骨。第一组患者的最低手术时间为 60.03 ± 1.49 ，因为所有阶段都是由没有技术问题的特

殊引导器完成的。第三组患者的手术时间为第一组与第二组平均 (72.3 ± 0.76 分钟) (表5)。

讨论

目前,前交叉韧带重建不仅有单一的优先方法,而且有重负荷的移植物和绝对可靠的固位体。在世界各地的诊所和医院中使用各种形成股骨和胫骨通道的方法,各种移植物,固定方法,但总的原则是解剖学上可恢复的韧带、等结构上的移植物、手术干预的简单性和技术可用性,确保术中和术后最大限度的安全。

所获得的结果,以及来自现代科学文献的数据的分析,显示了前交叉韧带的解剖重建方法的前景由所有全关节腔内 (all inside) 和重建使用额外的前侧访问,与经胫骨隧道技术相比,其主要优点是在实现膝关节复杂稳定性方面的技术可行性、可靠性[25]。

根据世界文献,前交叉韧带重建后膝关节稳定性的缺乏直接关系到膝关节继发性退行性变化的进展[26]。非解剖性骨通道的形成导致旋转不稳定性的保留或发展,从而导致术后移植物等距丢失,进而导致膝关节退行性变化的进展[27]。第一组患者的治疗结果证实了领先专家的意见。

近年来,不完全生长患者前交叉韧带重建的罕见并发症开始受到重视。在对Herodic社会和前交叉韧带研究组的回顾中,Kocher等人[28]发现,在青少年儿童前交叉韧带重建后,11%的外科医生报告了生长障碍导致下肢角畸形。本研究中绝大多数(80%)报道的生长障碍发生在股骨侧,其中大多数导致股骨外翻畸形。Kaeding等人[29]还提供了10-19岁患者前交叉韧带重建后移植物失败的频率(8.2%),

20-29岁患者(4%)和30-39岁患者(1.8%)的数据。

根据大多数专门从事关节镜手术的作者的說法,早期失败负荷(典型的年轻患者,寻求早期恢复和恢复运动活动)是移植骨前交叉韧带损伤和膝关节复发不稳定的主要原因。这与通道形成的方法、植骨的类型无关,更与固定的方法更无关。这些组的膝关节不稳定的复发率可增加高达28%。在前交叉韧带重建后恢复运动的青少年中,对侧关节移植物断裂或韧带断裂的风险比健康同事高30—40倍[30]。

本研究表明,从对股骨生长带的损伤角度来看,股骨胫间管形成方法操作简单、安全,但也存在不足:股骨管形成点在解剖学上没有定位,这反过来导致在术后保留了旋转不稳定性,尽管保留了等距移植物。

通过额外的前内侧通路形成股管,使得前交叉韧带移植物有可能实现解剖定位,获得更好的膝关节稳定性效果。然而,这项技术需要切除戈夫部分脂肪体以及膝关节的肢体最大深度屈曲。即使按手术的各个阶段进行,也很难完全排除损伤内侧半月板和浅透明软骨的并发症。

采用全关节腔内重建前交叉韧带,对关节内结构安全,股骨管解剖定位更理想,对膝关节术后正位及旋转稳定性有较好的效果。尽管在这种前交叉韧带重建方法中股管是经骨形成的,但在我们的研究中没有发现与生长区损伤相关的并发症(这可能是由12个月的短期随访引起的)。所得结果与世界文献数据一致。我们认为,与其他方法相比,这种方法有许多优点。

第一次在前交叉韧带重建后,直到移植物被纳入骨通道,关节的稳定性主要取决于固定架的一致性。

人们认为, 移植物与管壁的密切接触, 以及与移植物完全填充通道, 有助于融合。这可能是由于前交叉韧带移植物的这种布置减少了滑膜液进入通道的可能性, 同时也提供了移植物与骨管壁充分接触的区域。只有使用全关节腔内 (all inside) 的技术形成骨通道, 这些情况才得以保留。建议14—17岁的青少年儿童采用全关节腔内 (all inside) 的技术重建全关节腔内。

结论

采用IKDC 2000 (第三组— 98.48 ± 0.27 , 第二组— 93.45 ± 0.37 , 第一组— 85.29 ± 1.09) 和Lysholm膝关节评分量表 (第三组— 96.13 ± 0.68 , 第二组— 85.86 ± 1.45 , 第一组— 77.0 ± 1.23) 对全关节腔内重建12个月后膝关节功能评价结果与第二组和第一组比较, 差异有统计学意义 (分别 $p = 0.00006$ 和 $p = 0.00006$)。这就是为什么青少年膝关节稳定的首选入路应该考虑采用全关节腔内 (all inside) 的技术股骨和胫骨通道的解剖结构, 这样可以获得更好的功能结果。

建议青少年儿童在前交叉韧带重建时使用双腱或四腱半腱肌。为确保前交叉韧带的可接受强度, 植骨块直径应至少为7.5—8 mm。移植物大小的显著增加可导致其在股骨髁间窝的撞击。

在青少年患者进行手术时, 主要的固定元件是体外系统, 使用该系统医源性外表面固定术的风险是最小的。

附加信息

资金来源。 国家预算资金。

利益冲突。 无利益冲突申明说明。

伦理审查。 该研究是根据The World Medical Association The Declaration of Helsinki标准进行的, 该宣言由联邦国家预算机构R. R. Vreden National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics的地方伦理委员会俄罗斯卫生部批准 (2018年10月11日第17/1 号议定书)。患者代表签署了一份知情同意书, 同意参与研究, 并在没有身份证明的情况下发表数据。

作者贡献

M. R. Salihov — 负责制定文章的概念和设计, 收集文献资料, 收集临床资料, 对所得数据进行分析 and 解释, 进行文本编辑。

V. V. Avramenko — 负责收集文献资料, 编辑, 收集临床资料, 协调研究参与者。

作者都对文章的研究和准备做出了重大贡献, 在发表前阅读并批准了最终版本。

References

1. Dodwell ER, Lamont LE, Green DW, et al. 20 years of pediatric anterior cruciate ligament reconstruction in New York State. *Am J Sports Med.* 2014;42(3):675-680. <https://doi.org/10.1177/0363546513518412>.
2. Whitney DC, Sturnick DR, Vacek PM, et al. Relationship between the risk of suffering a first-time noncontact ACL injury and geometry of the femoral notch and ACL: A prospective cohort study with a nested case-control analysis. *Am J Sports Med.* 2014;42(8):1796-1805. <https://doi.org/10.1177/0363546514534182>.
3. Myer GD, Ford KR, Di Stasi SL, et al. High knee abduction moments are common risk factors for patellofemoral pain (PFP) and anterior cruciate ligament (ACL) injury in girls: Is PFP itself a predictor for subsequent ACL injury? *Br J Sports Med.* 2015;49(2):118-122. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092536>.
4. Walden M, Krosshaug T, Bjerneboe J, et al. Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: A systematic video analysis of 39 cases.

- Br J Sports Med.* 2015;49(22):1452-1460. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094573>.
5. Devetag F, Mazzilli M, Benis R, et al. Anterior cruciate ligament injury profile in Italian Serie A1-A2 women's volleyball league. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018;58(1-2):92-97. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06731-1>.
 6. Takahashi S, Nagano Y, Ito W, et al. A retrospective study of mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in high school basketball, handball, judo, soccer, and volleyball. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(26):e16030. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000016030>.
 7. Guenther ZD, Swami V, Dhillon SS, Jaremko JL. Meniscal injury after adolescent anterior cruciate ligament injury: How long are patients at risk? *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(3):990-997. <https://doi.org/10.1007/s11999-013-3369-9>.
 8. Brambilla L, Pulici L, Carimati G, et al. Prevalence of associated lesions in anterior cruciate ligament reconstruction: Correlation with surgical timing and with patient age, sex, and body mass index. *Am J Sports Med.* 2015;43(12):2966-2973. <https://doi.org/10.1177/0363546515608483>.
 9. Stone JA, Perrone GS, Nezwik TA, et al. Delayed ACL reconstruction in patients \geq 40 years of age is associated with increased risk of medial meniscal injury at 1 year. *Am J Sports Med.* 2019;47(3):584-589. <https://doi.org/10.1177/0363546518817749>.
 10. Frank JS, Gambacorta PL. Anterior cruciate ligament injuries in the skeletally immature athlete: Diagnosis and management. *J Am Acad Orthop Surg.* 2013;21(2):78-87. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-21-02-78>.
 11. Fabricant PD, Jones KJ, Delos D, et al. Reconstruction of the anterior cruciate ligament in the skeletally immature athlete: A review of current concepts: AAOS exhibit selection. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(5):e28. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.00772>.
 12. Funahashi KM, Moksnes H, Maletis GB, et al. Anterior cruciate ligament injuries in adolescents with open physis: Effect of recurrent injury and surgical delay on meniscal and cartilage injuries. *Am J Sports Med.* 2014;42(5):1068-1073. <https://doi.org/10.1177/0363546514525584>.
 13. Ramski DE, Kanj WW, Franklin CC, et al. Anterior cruciate ligament tears in children and adolescents: A meta-analysis of nonoperative versus operative treatment. *Am J Sports Med.* 2014;42(11):2769-2776. <https://doi.org/10.1177/0363546513510889>.
 14. Crawford EA, Young LJ, Bedi A, Wojtys EM. The effects of delays in diagnosis and surgical reconstruction of ACL tears in skeletally immature individuals on subsequent meniscal and chondral injury. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(2):55-58. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000960>.
 15. Csintalan RP, Inacio MC, Desmond JL, Funahashi TT. Anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: Early outcomes. *J Knee Surg.* 2013;26(4):225-232. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1329235>.
 16. Shifflett GD, Green DW, Widmann RF, Marx RG. Growth arrest following ACL reconstruction with hamstring autograft in skeletally immature patients: A review of 4 cases. *J Pediatr Orthop.* 2016;36(4):355-361. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000466>.
 17. Calvo R, Figueroa D, Gili F, et al. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: 10-year follow-up study. *Am J Sports Med.* 2015;43(2):289-294. <https://doi.org/10.1177/0363546514557939>.
 18. Kohl S, Stutz C, Decker S, et al. Mid-term results of transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in children and adolescents. *Knee.* 2014;21(1):80-85. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2013.07.004>.
 19. Keller TC, Tompkins M, Economopoulos K, et al. Tibial tunnel placement accuracy during anterior cruciate ligament reconstruction: Independent femoral versus transtibial femoral tunnel drilling techniques. *Arthroscopy.* 2014;30(9):1116-1123. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2014.04.004>.
 20. Cruz AI, Jr., Lakomkin N, Fabricant PD, Lawrence JT. Transphyseal ACL reconstruction in skeletally immature patients: Does independent femoral tunnel drilling place the physis at greater risk compared with transtibial drilling? *Orthop J Sports Med.* 2016;4(6):2325967116650432. <https://doi.org/10.1177/2325967116650432>.
 21. Nawabi DH, Jones KJ, Lurie B, et al. All-inside, physeal-sparing anterior cruciate ligament reconstruction does not significantly compromise the physis in skeletally immature athletes: A postoperative physeal magnetic resonance imaging analysis. *Am J Sports Med.* 2014;42(12):2933-2940. <https://doi.org/10.1177/0363546514552994>.
 22. Kachmar M, Piazza SJ, Bader DA. Comparison of growth plate violations for transtibial and anteromedial surgical techniques in simulated adolescent anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016;44(2):417-424. <https://doi.org/10.1177/0363546515619624>.
 23. Osier CJ, Espinoza-Ervin C, Diaz De Leon A, et al. A comparison of distal femoral physeal defect and fixation position between two different drilling techniques for transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction. *J Pediatr Orthop B.* 2015;24(2):106-113. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000143>.
 24. Ha JK, Lee DW, Kim JG. Single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: A comparative study with propensity score matching. *Indian J Orthop.* 2016;50(5):505-511. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.189605>.

25. Rayan F, Nanjayan SK, Quah C, et al. Review of evolution of tunnel position in anterior cruciate ligament reconstruction. *World J Orthop.* 2015;6(2):252-262. <https://doi.org/10.5312/wjo.v6.i2.252>.
26. Arnold MP, Duthon V, Neyret P, Hirschmann MT. Double incision iso-anatomical ACL reconstruction: The freedom to place the femoral tunnel within the anatomical attachment site without exception. *Int Orthop.* 2013;37(2):247-251. <https://doi.org/10.1007/s00264-012-1681-8>.
27. Robin BN, Jani SS, Marvil SC, et al. Advantages and disadvantages of transtibial, anteromedial portal, and outside-in femoral tunnel drilling in single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review. *Arthroscopy.* 2015;31(7):1412-1417. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.01.018>.
28. Kocher MS, Saxon HS, Hovis WD, Hawkins RJ. Management and complications of anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature patients: Survey of the Herodicus Society and the ACL study group. *J Pediatr Orthop.* 2002;22(4):452-457.
29. Kaeding CC, Aros B, Pedroza A, et al. Allograft versus autograft anterior cruciate ligament reconstruction: Predictors of failure from a MOON Prospective Longitudinal Cohort. *Sports Health.* 2011;3(1):73-81. <https://doi.org/10.1177/1941738110386185>.
30. Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, et al. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2016;44(7):1861-1876. <https://doi.org/10.1177/0363546515621554>.

Information about the authors

Marsel R. Salikhov* — MD, PhD, Assistant Researcher. Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-5706-481X>. E-mail: virus-007-85@mail.ru.

Vladislav V. Avramenko — MD, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics. Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-0339-6066>. E-mail: avramenko.spb@mail.ru.