

经CT三维重建后的关节镜下全内与传统前交叉韧带重建的胫骨骨道对比

李秀峰¹, 徐 迈², 刘志成², 曹新峰², 张其亮^{2*}

¹青岛大学青岛医学院, 山东 青岛

²青岛市市立医院本部运动医学科, 山东 青岛

收稿日期: 2026年5月29日; 录用日期: 2026年6月23日; 发布日期: 2026年6月30日

摘 要

目的: 本研究旨在研究全内及传统前交叉韧带重建中胫骨骨道的位置及长度差异。方法: 回顾性分析40例接受前交叉韧带重建的患者, 其中传统重建组20人, 全内重建组20人, 利用术后CT断层扫描数据建立三维模型, 利用象限法测量胫骨骨道内口中心在胫骨平面上的位置, 以及胫骨骨道在矢状面、冠状面的角度、胫骨骨道的长度。结果: 利用象限法测得胫骨骨道内口在胫骨平面上的位置数据如下: 前后位置: 全内组($32.95\% \pm 5.60\%$), 传统组($34.45\% \pm 4.60\%$), 内外位置: 全内组($47.77\% \pm 4.26\%$), 传统组($49.63\% \pm 2.66\%$), 两种手术方式的胫骨骨道内口中心在胫骨平面位置上无显著差异($P > 0.05$)。矢状面胫骨骨道角度: 全内组($56.80^\circ \pm 6.31^\circ$), 传统组($53.03^\circ \pm 5.68^\circ$), 冠状面胫骨骨道角度: 全内组($78.97^\circ \pm 4.17^\circ$), 传统组($78.41^\circ \pm 5.22^\circ$), 两种手术方式在胫骨骨道角度方面无显著差异($P > 0.05$)。骨道长度: 全内组(4.17 ± 0.79 cm), 传统组(4.24 ± 0.54 cm), 两种手术方式在骨道长度方面无显著差异($P > 0.05$)。结论: 本研究通过CT三维重建技术对全内术式和传统前入路重建术式进行比较, 在胫骨骨道空间参数方面未发现明显差异。

关键词

前交叉韧带重建, 胫骨骨道, 全内重建, CT

Comparison of Tibial Tunnels between All-Inside and Conventional Arthroscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction after CT Three-Dimensional Reconstruction

Xiufeng Li¹, Mai Xu², Zhicheng Liu², Xinfeng Cao², Qiliang Zhang^{2*}

*通讯作者。

文章引用: 李秀峰, 徐迈, 刘志成, 曹新峰, 张其亮. 经CT三维重建后的关节镜下全内与传统前交叉韧带重建的胫骨骨道对比[J]. 临床医学进展, 2026, 16(7): 1-9. DOI: 10.12677/acm.2026.1672491

Abstract

Objective: This study aims to investigate the differences in tibial tunnel position and length between all-inside and conventional anterior cruciate ligament reconstruction. **Methods:** A retrospective analysis was performed on 40 patients who underwent ACL reconstruction (20 in the conventional group, 20 in the all-inside group). Postoperative CT data were used to reconstruct three-dimensional models. The quadrant method was applied to measure the position of the tibial tunnel aperture on the tibial plateau, the tunnel angles in the sagittal and coronal planes, and the tibial tunnel length. **Results:** According to the quadrant method, the position of the tibial tunnel aperture on the tibial plateau was as follows: anterior-posterior position—all-inside group ($32.95\% \pm 5.60\%$), conventional group ($34.45\% \pm 4.60\%$); medial-lateral position—all-inside group ($47.77\% \pm 4.26\%$), conventional group ($49.63\% \pm 2.66\%$). No significant difference was found between the two surgical techniques regarding the position of the tibial tunnel aperture on the tibial plateau ($P > 0.05$). The tibial tunnel angle in the sagittal plane was $56.80^\circ \pm 6.31^\circ$ in the all-inside group and $53.03^\circ \pm 5.68^\circ$ in the conventional group; in the coronal plane, it was $78.97^\circ \pm 4.17^\circ$ in the all-inside group and $78.41^\circ \pm 5.22^\circ$ in the conventional group. No significant difference was observed in tibial tunnel angles between the two techniques ($P > 0.05$). The tibial tunnel length was 4.17 ± 0.79 cm in the all-inside group and 4.24 ± 0.54 cm in the conventional group, and there was no significant difference between the two groups ($P > 0.05$). **Conclusion:** Based on CT three-dimensional reconstruction, this study found no significant differences in tibial tunnel spatial parameters between the all-inside technique and the conventional anteromedial portal technique.

Keywords

Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, Tibial Tunnel, All-Inside Reconstruction, Computed Tomography

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

前交叉韧带(Anterior Cruciate Ligament, ACL)断裂好发于经常参与运动的人群,以青少年多见,男性发病率高于女性。运动中突然变向、急停、膝关节过伸及外力撞击是其主要致病因素[1]-[3]。ACL 作为膝关节的重要稳定结构之一,核心功能在于限制胫骨前向移位。ACL 断裂后,患者常表现为膝关节肿胀、疼痛及不稳,进而可继发半月板损伤与骨性关节炎等并发症,严重影响日常生活[4]-[6]。由于 ACL 自身血供较差,损伤后难以通过保守治疗实现愈合,因此手术重建已成为治疗的金标准,可术后即刻恢复膝关节稳定性[7]。目前国际上主流的重建术式包括全内(All-Inside, AI)重建技术与传统前内侧(Anteromedial, AM)入路重建技术,二者在移植物的固定方式、选择及骨道制备等方面存在差异[8]。

在手术效果评估中,骨道方向被视为关键因素之一。在 ACL 重建中,胫骨骨道的方向决定了移植物的入口位置、关节内止点及其在膝关节屈伸过程中的张力变化。理想的骨道方向可模拟原韧带走行,实

现等长或近似等长重建,避免移植物与髁间窝顶或后交叉韧带发生撞击。骨道定位误差过大常导致移植物撞击、磨损、早期断裂甚至伸膝受限,严重时可致重建失败[9]。

在传统 AM 入路 ACL 重建中,胫骨骨道定位采用瞄准器经前内侧切口置入,导向针指向胫骨平台后交叉韧带前方、外侧半月板前角内侧区域。通常以“后交叉韧带(Posterior Cruciate Ligament, PCL)与外侧半月板前角之间”为解剖标志,定位点距胫骨平台前缘约 15~20 mm,以确保骨道位于韧带足印区中心[10]。而在全内 ACL 重建中,胫骨骨道定位采用由内向外技术。在关节镜监视下,经前内侧入路将导向器置于胫骨足印区中心点,并逆向钻入导针。定位参考可为残端中心、PCL 外侧缘 7 mm 或外侧半月板前角内侧 8 mm 处。该技术骨道长度可控,可有效避免后方结构损伤[11]。

目前已有若干研究比较全内与传统术式在临床疗效方面的差异,但针对胫骨骨道位置的对比研究仍较为少见。因此,本研究旨在比较全内 ACL 重建与传统 ACL 重建在胫骨骨道位置上的分布差异。

2. 研究方法 with 对象

2.1. 数据收集

纳入标准:1、临床放射学证据(磁共振成像)的前交叉韧带损伤和有症状的膝关节不稳定的患者;2、同意并接受前交叉韧带重建术(anterior cruciate ligament, ACLR)和术后膝关节 CT (计算机断层扫描)评估。

排除标准:1、既往 ACLR 需要翻修手术的患者;2、需要多条骨道和调整骨道位置的多韧带损伤患者以及不愿进行术后 CT 评估的患者。

2.2. 手术操作

均由两名经验丰富的运动医学外科医生进行手术。全内技术采用半腱肌移植物,全内技术用倒打钻制备胫骨和股骨骨道,两端使用可调节锁扣带袢钛板悬吊固定(Endobutton, Arthrex);传统技术采用半腱肌和股薄肌自体移植物,传统技术股骨端使用可调节锁扣带袢钛板悬吊固定,胫骨端使用胫骨固定翼及生物界面螺钉固定(BIOSURES SYNC、Biosure PK, 施乐辉)。

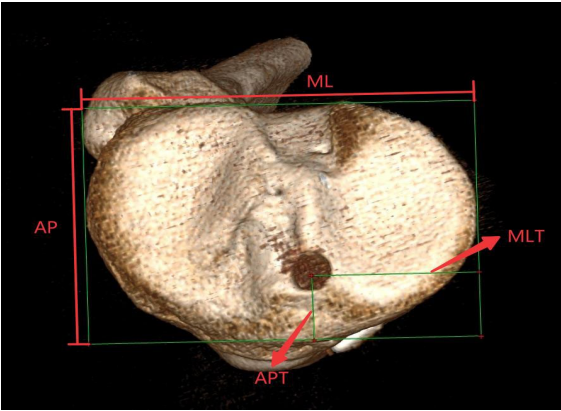
全内重建组:全内重建组采用 Arthrex FlipCutter® 逆向钻孔系统完成骨道建立。患者取仰卧位,在腰麻或全麻下完成手术。常规建立前外侧观察入路及前内侧操作入路。首先清理 ACL 残端并暴露股骨及胫骨足印区。在膝关节屈曲 90° 状态下,经前外侧入路置入股骨导向器,将导向器尖端定位于股骨 ACL 解剖止点中心。采用 FlipCutter 逆向钻建立股骨半骨道,骨道深度根据移植物长度控制在 20~25 mm。随后建立胫骨骨道。膝关节维持约 90° 屈曲位,将专用胫骨导向器角度设置为 55°。导向器尖端定位于 ACL 胫骨止点中心,其位置参考后交叉韧带前缘外侧约 7 mm 处及外侧半月板前角内侧约 8 mm 处。透视确认导针位置满意后,采用 FlipCutter 逆向钻孔建立胫骨半骨道,骨道深度根据移植物直径及长度控制在 25~35 mm。完成骨道建立后,经牵引线将四股半腱肌移植物引入骨道。股骨端首先收紧可调袢固定系统,随后在膝关节屈曲 30° 并施加后向胫骨应力条件下收紧胫骨端可调袢,实现最终固定。

传统重建组:传统 AM 入路组采用标准解剖单束 ACL 重建技术。患者体位及关节镜入路与全内组一致。在膝关节屈曲 120° 状态下,经前内侧辅助入路建立股骨骨道。导针定位于 ACL 股骨止点中心后,采用 4.5 mm 空心钻贯穿股骨皮质,并根据移植物直径扩孔形成约 25 mm 深的股骨骨道。胫骨骨道建立采用标准 ACL 胫骨导向器(角度 55°)。导向器尖端定位于 ACL 胫骨足印中心,以后交叉韧带前缘与外侧半月板前角之间区域作为主要解剖标志。导针由胫骨前内侧皮质钻入,确认位置满意后,根据移植物直径选择相应钻头完成全长胫骨骨道建立。移植物植入后,股骨端采用可调袢钛板悬吊固定。膝关节屈曲 30° 位施加适当张力后,胫骨端采用生物界面螺钉联合胫骨固定翼进行固定。

2.3. 测量方法

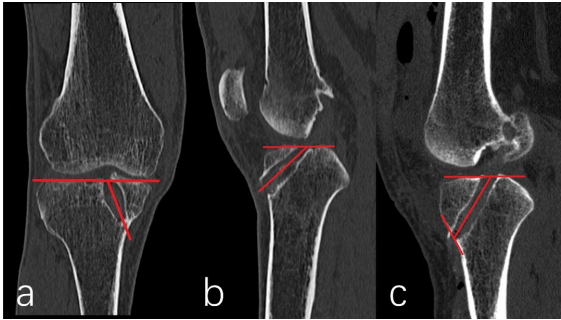
接受前交叉韧带重建的患者在术后 48 小时内通过 CT 扫描进行评估。将获得的 DICOM 数据处理成三维模型(RadiAntViewer64bit)，去除股骨及腓骨后仅保留胫骨，翻转胫骨使胫骨平台平面水平显露。采用 Tsuda 等人的测量方法(图 1)评估胫骨骨道的位置[12]。在胫骨平台后侧轮廓切线处绘制一条参考线。垂直于参考线测量胫骨平台表面前后长度(AP)和胫骨平台前缘至胫骨隧道中心的距离(APT)，平行于参考线测量胫骨平台表面的内侧宽度(ML)和胫骨平台内缘至胫骨隧道中心的距离(MLT)。胫骨隧道中心的位置在内外方向上由 MLT/ML 定义，MLT/ML 表示相对于胫骨平台表面(ML)的内侧宽度的百分比距离(MLT)；前后方向上的位置由 APT/AP 定义，APT/AP 表示相对于胫骨平台表面(AP)的前后长度到最前轮廓(APT)的百分比距离。在 CT 扫描的胫骨轴位切面上，以厘米为单位测量骨道长度：从皮质沿骨道最宽处至开口端的距离。并从矢状位及冠状位测量胫骨骨道角度(图 2)。

两名对手术信息不知情的运动医学科医生进行了所有三维 CT 测量(隐去患者信息)。每次测量重复三次，每次测量间隔时间 4 周，将采集到的数据取平均值并应用于后续的研究。



AP: 胫骨平台表面前后长度。APT: 胫骨平台前缘至胫骨隧道中心的距离。ML: 胫骨平台表面的内外侧宽度。MLT: 胫骨平台内缘至胫骨隧道中心的距离。

Figure 1. Schematic diagram of tibial tunnel position measurement
图 1. 胫骨骨道位置测量示意图



a: 冠状面上胫骨骨道与胫骨平台水平切线的夹角；b: 矢状面上胫骨骨道与胫骨平台水平切线的夹角；c: 胫骨骨道长度：从皮质沿骨道最宽处至开口端的距离。

Figure 2. Schematic diagram of tibial tunnel angle and length measurement
图 2. 胫骨骨道角度及长度测量示意图

3. 统计分析

采用 SPSS 26.0 对数据进行统计分析, 胫骨骨道位置数据以均值和标准差($\bar{X} \pm SD$)表示, 两组比较采用独立样本 t 检验, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。进行重复单因素方差分析(ANOVA), 以计算三次测量记录的数据的可靠性, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。

4. 结果

本研究共纳入 40 名患者(传统重建组 20 名、全内重建组 20 名)。两组患者在年龄、性别、BMI、术中移植直径等方面, 没有发现显著差异(表 1)。

Table 1. Baseline characteristics of patients
表 1. 患者基线资料特征

组别	患者(n)	年龄(岁)	性别(男/女)	侧别(左/右)	体重指数(kg/m ²)	移植直径(mm)
传统重建组	20	33.00 ± 10.23	6/14	8/12	26.26 ± 3.46	7.76 ± 0.62
全内重建组	20	31.95 ± 11.96	6/14	11/9	25.51 ± 3.17	8.03 ± 0.78
<i>P</i>		0.767	0.723	0.342	0.318	0.090

对测得的数据进行可信度分析, 组内信度、组间信度、总体信度 ICC 值均>0.5, P 值均<0.05, 即数据可信度良好(表 2)。

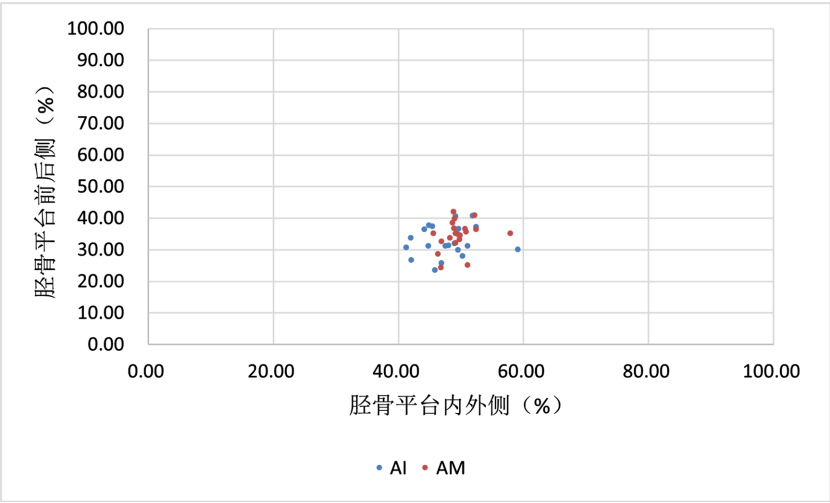
Table 2. Reliability analysis
表 2. 可信度分析

	ICC 值	<i>P</i>
组内信度	0.944	0.00
组间信度	0.912	0.00
总体信度	0.964	0.00

传统AM入路重建技术的胫骨骨道中心的APT/AP值为34.45%±4.60%, MLT/ML值为49.63%±2.66%, 在矢状位角度分布为 53.03° ± 5.68°, 在冠状位角度分布为 78.41° ± 5.22°。全内重建技术的胫骨骨道中心的APT/AP值为32.95%±5.60%, MLT/ML值为47.77%±4.26%, 在矢状位角度分布为 56.80° ± 6.31°, 在冠状位角度分布为 78.97° ± 4.17° (图 3、图 4)。对数据进行独立样本 t 检验, 显示 P 值 > 0.05, 即传统 AM 入路重建技术的胫骨骨道内-外、前-后位置其离散程度及胫骨骨道角度与全内重建技术组无明显区别(表 3)。

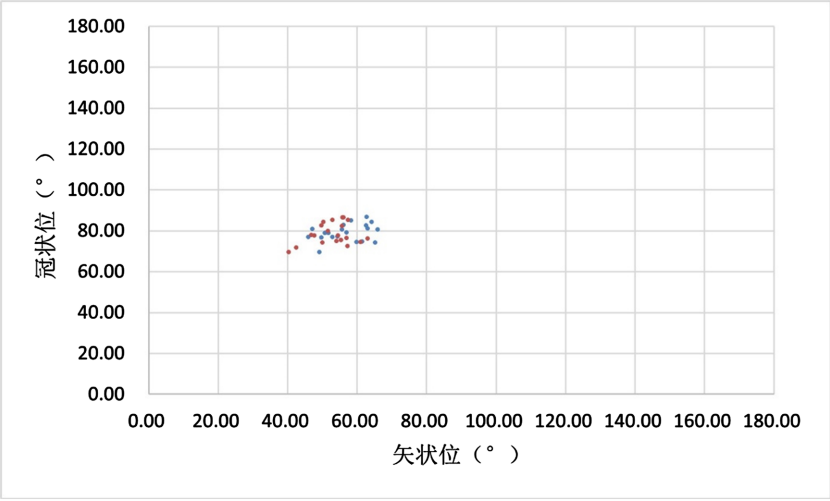
Table 3. Spatial parameters of tibial tunnels using the two techniques
表 3. 两种技术的胫骨骨道空间参数

患者(n)		位置(%)		角度(°)		长度(cm)
		前后	内外	矢状位	冠状位	
全内	20	32.95 ± 5.60	47.77 ± 4.26	56.80 ± 6.31	78.97 ± 4.17	4.17 ± 0.79
传统	20	34.45 ± 4.60	49.63 ± 2.66	53.03 ± 5.68	78.41 ± 5.22	4.24 ± 0.54
<i>P</i>		0.361	0.108	0.055	0.710	0.776



图中的点代表胫骨骨道中心在胫骨平面上的位置(纵轴表示前后位置，横轴表示内外位置)。

Figure 3. Scatter plot of tibial tunnel center position distribution
图 3. 胫骨骨道中心位置分布散点图



图中的点代表胫骨骨道角度(纵轴表示冠状位，横轴表示矢状位)。

Figure 4. Scatter plot of tibial tunnel angles
图 4. 胫骨骨道角度散点图

5. 讨论

前交叉韧带重建术作为前交叉韧带断裂后治疗的金标准，其临床意义不仅限于维持膝关节稳定性，更在于避免可能继发的半月板撕裂与关节软骨磨损，从而延缓关节退行性变的进程，最大限度保留患者的运动功能与长期生活质量[13][14]。随着技术的发展衍生出各种手术方案，如解剖单束重建、解剖双束重建等等。既往研究认为，重建后的前交叉韧带虽然可以明显限制胫骨前移，但同时也改变了膝关节在其他自由度上的运动，导致膝关节发生稳定性改变及术后应力重分布，继而导致隧道扩大等风险[14]。随着外科理念向微创化与精准化发展，临床对 ACL 重建技术提出了更高要求：如何通过更小的手术创伤实现更短的恢复时间、更长的移植物存活周期及更低的术后并发症发生率，已成为患者与运动医学科医生

共同关注的核心问题。近年来新兴的全内技术公认为具有更小的皮肤切口、更多的骨量保留和更轻的术后疼痛的优点,但在临床疗效上与传统 AM 技术相比是否更具优势还尚无明确定论[15]。前交叉韧带重建术后临床效果主要有以下几个评价方面,即功能恢复、骨道扩大、膝关节松弛度及移植物断裂风险[16]。既往有研究通过 Meta 分析认为,全内术式在功能恢复及骨道扩大方面较优,在膝关节松弛度及移植物断裂风险方面全内技术并非完全优于传统技术[17]。然而这些优势更多体现在术后生物学反应和临床恢复方面,而非骨道几何参数本身。因此,本研究观察到的骨道空间参数一致性并不意味着两种技术在所有临床结局方面完全等效。

目前认为,重建骨道位置越精准,越接近解剖重建,越能够恢复前交叉韧带原本的生物力学,进而影响术后膝关节的稳定性与运动功能。S M Howell 等人对 119 例前交叉韧带重建术后的患者进行回顾性研究,认为越大的冠状面角度与更大的屈曲受限程度和前向松弛度相关[18]。本研究中通过象限法对两种术式重建后的胫骨骨道内口位置进行测量比较并对比两种术式的胫骨骨道在矢状位及冠状位的角度,在胫骨骨道内口位置及胫骨骨道角度方面未发现两种术式存在明显差异($P>0.05$)。Imroz Jindal 等人纳入 60 例患者,通过 CT 扫描对隧道进行放射形态学分析,最终结果显示两种术式在胫骨隧道位置、长度、直径和矢状面角度方面没有显著差异,与本研究结果相符,说明两种术式在膝关节运动范围方面可能无明显差异[19][20]。

值得注意的是,本研究中全内组矢状位角度(56.80°)较传统组(53.03°)呈现增大的趋势,虽然未达到统计学差异($P=0.055$)。但柳立鹏等人固定胫骨冠状位角度,改变矢状位角度,通过有限元分析研究认为隧道矢状位角度在 $55^\circ\sim 60^\circ$ 之间时,可较大程度地缓解隧道口的应力重分布[21]。这种应力重分布的改变被认为与隧道扩大相关。该趋势是否具有潜在的临床意义仍值得进一步研究。未来可结合有限元分析及长期随访数据,进一步评估不同骨道角度与移植物愈合、骨道扩大及膝关节稳定性之间的关系。

本研究仍存在若干局限性。首先,本研究为单中心回顾性研究,仅纳入 40 例患者,样本量相对有限,可能导致部分真实差异未能达到统计学显著性。其次,本研究仅分析了术后早期 CT 影像学参数,缺乏长期随访资料,尚无法评价骨道位置差异对临床功能恢复及移植物存活率的影响。第三,本研究重点分析胫骨骨道参数,而未同步评价股骨骨道位置、移植物倾斜角度及术后膝关节运动学改变,因此无法全面反映重建后 ACL 整体空间构型。最后,尽管采用重复测量及 ICC 分析验证了测量可靠性,但三维重建及人工标记过程仍可能存在一定观察者偏倚。

未来研究应进一步开展多中心、大样本前瞻性研究,并结合术后 MRI、动态双平面透视技术及有限元分析,对 ACL 重建后的骨道位置、移植物运动学特征及长期临床结局进行综合评价。同时,应探索不同骨道参数与 IKDC 评分、Lysholm 评分、KT-1000 测量结果及移植物成熟度之间的相关性,从而建立更具临床意义的影像学评价体系。

6. 结论

本研究通过 CT 三维重建证明全内术式和传统前内入路重建术式在胫骨骨道空间参数方面无明显差异。

声 明

本研究选取 2023 年 5 月至 2025 年 5 月在青岛市市立医院进行前交叉韧带重建的患者进行回顾性研究,并获伦理审查(伦理编号: 2025-KY-121)。

参考文献

- [1] Kaeding, C.C., Léger-St-Jean, B. and Magnussen, R.A. (2017) Epidemiology and Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament

- Injuries. *Clinics in Sports Medicine*, **36**, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2016.08.001>
- [2] Musahl, V. and Karlsson, J. (2019) Anterior Cruciate Ligament Tear. *New England Journal of Medicine*, **380**, 2341-2348. <https://doi.org/10.1056/nejmcp1805931>
- [3] Sanders, T.L., Maradit Kremers, H., Bryan, A.J., Larson, D.R., Dahm, D.L., Levy, B.A., *et al.* (2016) Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *The American Journal of Sports Medicine*, **44**, 1502-1507. <https://doi.org/10.1177/0363546516629944>
- [4] Siegel, L., Vandenakker-Albanese, C. and Siegel, D. (2012) Anterior Cruciate Ligament Injuries: Anatomy, Physiology, Biomechanics, and Management. *Clinical Journal of Sport Medicine*, **22**, 349-355. <https://doi.org/10.1097/jsm.0b013e3182580cd0>
- [5] LaBella, C.R., Hennrikus, W., Hewett, T.E., Brenner, J.S., Brookes, M.A., Demorest, R.A., *et al.* (2014) Anterior Cruciate Ligament Injuries: Diagnosis, Treatment, and Prevention. *Pediatrics*, **133**, e1437-e1450. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-0623>
- [6] Svoboda, S.J. (2014) ACL Injury and Posttraumatic Osteoarthritis. *Clinics in Sports Medicine*, **33**, 633-640. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2014.06.008>
- [7] Wang, J. and A, Y.F. (2001) Clinical Epidemiological Study of Anterior Cruciate Ligament Injury. *Chinese Journal of Sports Medicine*, **20**, 2.
- [8] Yang, Y., Cai, Z., He, M., Liu, D., Xie, W., Li, Y., *et al.* (2022) All-Inside Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Review of Advance and Trends. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, **27**, Article ID: 91. <https://doi.org/10.31083/j.fbl2703091>
- [9] Jeon, S.W., Kim, S.H. and Kim, K.I. (2025) Optimal Tunnel Positioning and Graft Diameter to Minimize Impingement in Single-Bundle ACL Reconstruction: A 3D CT Simulation Analysis. *Medicina*, **61**, Article 946. <https://doi.org/10.3390/medicina61060946>
- [10] Ciccotti, M.C., Secrist, E., Tjoumakaris, F., Ciccotti, M.G. and Freedman, K.B. (2017) Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction via Independent Tunnel Drilling: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials Comparing Patellar Tendon and Hamstring Autografts. *Arthroscopy*, **33**, 1062-1071.E5. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2017.01.033>
- [11] Burnham, J.M., Malempati, C.S., Carpioaux, A., Ireland, M.L. and Johnson, D.L. (2017) Anatomic Femoral and Tibial Tunnel Placement during Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Anteromedial Portal All-Inside and Outside-In Techniques. *Arthroscopy Techniques*, **6**, e275-e282. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2016.09.035>
- [12] Tsuda, E., Ishibashi, Y., Fukuda, A., Yamamoto, Y., Tsukada, H. and Ono, S. (2010) Tunnel Position and Relationship to Postoperative Knee Laxity after Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with a Transtibial Technique. *The American Journal of Sports Medicine*, **38**, 698-706. <https://doi.org/10.1177/0363546509351561>
- [13] George, M.S., Huston, L.J. and Spindler, K.P. (2007) Endoscopic versus Rear-Entry ACL Reconstruction: A Systematic Review. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **455**, 158-161. <https://doi.org/10.1097/blo.0b013e31802eb45f>
- [14] Li, G., Papannagari, R., E Defrate, L., Doo Yoo, J., Eun Park, S. and J Gill, T. (2006) Comparison of the ACL and ACL Graft Forces before and after ACL Reconstruction an In-Vitro Robotic Investigation. *Acta Orthopaedica*, **77**, 267-274. <https://doi.org/10.1080/17453670610046019>
- [15] Diermeier, T.A., Rothrauff, B.B., Engebretsen, L., Lynch, A., Svantesson, E., Hamrin Senorski, E.A., *et al.* (2021) Treatment after ACL Injury: Panther Symposium ACL Treatment Consensus Group. *British Journal of Sports Medicine*, **55**, 14-22. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102200>
- [16] Jiang, Y., Qian, D., Lu, Q., Cao, Y., Ren, Y. and Su, J. (2025) Research Progress and Clinical Application of All-Inside Reconstruction Techniques: Narrative Review. *Frontiers in Surgery*, **12**, Article ID: 1644737. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2025.1644737>
- [17] Lv, X., Wang, M., Zhao, T., Wang, L., Dong, S. and Tan, H. (2023) All-Inside versus Complete Tibial Tunnel Techniques in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **18**, Article No. 127. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03613-y>
- [18] Howell, S.M., Gittins, M.E., Gottlieb, J.E., Traina, S.M. and Zoellner, T.M. (2001) The Relationship between the Angle of the Tibial Tunnel in the Coronal Plane and Loss of Flexion and Anterior Laxity after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, **29**, 567-574. <https://doi.org/10.1177/03635465010290050801>
- [19] Jindal, I., Thakur, K., Singh, C.M., Sood, C., Mahajan, S. and Agrawal, M. (2025) Inching Closer to Native Anatomy: A CT Scan Based Morphometric Analysis of Tunnels in All-Inside ACL Reconstruction. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, **68**, Article 103072. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2025.103072>
- [20] Byrne, K.J., Hughes, J.D., Gibbs, C., Vaswani, R., Meredith, S.J., Popchak, A., *et al.* (2022) Non-Anatomic Tunnel

-
- Position Increases the Risk of Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **30**, 1388-1395. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06607-7>
- [21] Liu, L. (2022) Biomechanical Analysis of the Internal Aperture of Different Tibial Tunnel Angles in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Master's Thesis, Dalian Medical University.