

• 循证医学 •

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.14.021

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240429.1010.007\(2024-04-29\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240429.1010.007(2024-04-29))

计算机导航技术在前交叉韧带重建术中应用效果的 meta 分析*

王 锋^{1,2}, 毛宇翔^{1,2}, 谢旭华², 宋玉琼³, 李靖龙^{2△}

(1. 昆明理工大学医学院, 昆明 650093; 2. 云南省第一人民医院骨科, 昆明 650034;

3. 云南中医药大学临床医学院, 昆明 650500)

[摘要] **目的** 系统性评价计算机导航技术在前交叉韧带重建术(ACLR)中骨隧道位置定位中的准确性及对术后功能恢复的效果。**方法** 计算机检索 Cochrane Library、PubMed、Embase、中国知网、万方、维普数据库中有关计算机导航技术辅助 ACLR 的对照试验, 检索时限从建库至 2023 年 9 月。根据纳入和排除标准, 运用 NoteExpress V3.0 软件筛选文献, 采用 Cochrane 风险偏倚评估工具评估纳入文献质量, 采用 RevMan5.4 软件进行 meta 分析。**结果** 最终纳入 10 项研究, 共 705 例患者, 其中导航组 354 例, 常规组 351 例。meta 分析结果显示, 与常规组比较, 导航组骨隧道位置定位明显改善[股骨侧($MD=5.59, 95\%CI: 1.21\sim 9.97, P=0.01$)、胫骨侧($MD=1.32, 95\%CI: 0.20\sim 2.43, P=0.02$)]；但两组国际膝关节文件编制委员会(IKDC)评分($MD=1.76, 95\%CI: -0.17\sim 3.70, P=0.07$)、Lysholm 评分($MD=0.49, 95\%CI: -0.16\sim 1.14, P=0.14$)、Tegner 评分($MD=-0.08, 95\%CI: -0.35\sim 0.20, P=0.58$)、KT-1000 前移距离($MD=0.01, 95\%CI: -0.49\sim 0.52, P=0.96$)、拉赫曼试验阳性率($RD=-0.01, 95\%CI: -0.09\sim 0.07, P=0.75$)及轴移试验阳性率($RD=-0.09, 95\%CI: -0.22\sim 0.04, P=0.20$)差异无统计学意义。**结论** 计算机导航技术有助于提升 ACLR 中胫骨、股骨骨隧道位置定位的准确性, 然而并不能改善患者术后功能恢复。

[关键词] 导航; 前交叉韧带重建; 骨隧道; meta 分析**[中图法分类号]** R873.5**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2024)14-2187-07

Application effect of computer navigation technique in anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis*

WANG Feng^{1,2}, MAO Yuxiang^{1,2}, XIE Xuhua², SONG Yuqiong³, LI Jinglong^{2△}

(1. School of Medicine, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China; 2. Department of Orthopedics, the First People's Hospital of Yunnan Province, Kunming, Yunnan 650034, China; 3. Clinical Medical College, Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming, Yunnan 650500, China)

[Abstract] **Objective** To systematically evaluate the accuracy of computer navigation technique in the positioning of bone tunnel location of anterior cruciate ligament reconstruction(ACLR) and its effect on post-operative functional recovery. **Methods** The controlled trials of computer navigation-assisted ACLR in the databases of Cochrane Library, PubMed, Embase, CNKI, Wanfang and VIP Database were retrieved. The retrieval time limit was from the establishment of the database to August 2023. According to the inclusion and exclusion criteria, the NoteExpress V3.0 software was used to screen the literatures, the Cochrane risk bias assessment tool was used to evaluate the quality of the included literatures, and the RevMan5.4 software was used for conducting the meta analysis. **Results** A total of 10 trials involving 705 patients were included, including 354 cases in the navigation group and 351 cases in the conventional group. The meta analysis results showed that compared with the conventional group, the location positioning of bone tunnel in the navigation group was significantly improved [in femoral side ($MD=5.59, 95\%CI: 1.21-9.97, P=0.01$) and tibial side ($MD=1.32, 95\%CI: 0.20-2.43, P=0.02$). However there were no statistically significant differences in the IKDC scores ($MD=1.76, 95\%CI: -0.17$ to $3.70, P=0.07$), Lysholm scores ($MD=0.49, 95\%CI: -0.16$ to $1.14, P=0.14$), Tegner scores ($MD=-0.08, 95\%CI: -0.35$ to $0.20, P=0.58$), KT-1000 anterior shift distance ($MD=0.01, 95\%CI: -0.49$ to $0.52, P=0.96$), the positive rate of Lachman test ($RD=-0.01, 95\%$

* 基金项目: 云南省科技厅基础研究专项(202001AS070028); 云南省科技厅科技计划项目(202301AY070001-214); 昆明理工大学医学联合专项(KUST-KH2022054J)。△ 通信作者, E-mail: lijinglong1211@163.com。

CI: -0.09 to 0.07, $P=0.75$) and the positive rate of axial shift test ($RD=-0.09, 95\%CI: -0.22$ to 0.04, $P=0.20$). **Conclusion** The computer navigation technology is conducive to elevate the accuracy of tibial and femoral tunnel positioning in ACLR, but could not improve the postoperative functional recovery of the patients.

[Key words] navigation; anterior cruciate ligament reconstruction; bone tunnel; meta analysis

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤是运动的青年人中常见的运动损伤之一,关节镜下前交叉韧带重建(anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR)是该运动损伤的标准治疗术式。虽然大多数初次手术都是成功的,但仍有 3%~25% 的个体由于关节不稳定或移植物再次损伤需要进行二次手术翻修^[1-2]。然而,翻修手术费用昂贵,并可能导致更差的功能结局^[3]。手术期间非解剖学隧道置入是原发性 ACL 断裂 ACLR 失败的最常见技术原因^[4-5]。大量研究表明,因 ACL 解剖位置的特殊性,若骨隧道偏离正常 ACL 解剖止点范围,易使移植物异常紧张或与髁间窝发生撞击从而导致重建失败^[6-8]。MEES 等^[9]对 78 例 ACLR 患者进行术后随访,发现在 16 例失败的 ACLR 中,因骨隧道定位不当而导致手术失败的高达 15 例。常规 ACLR 主要依赖手术医生的个人经验和知识储备,主观判断骨隧道位置并完成钻探工作,不同医生的手术成功率差异很大^[10]。因此,探求一种安全有效、可重复性高、定位准确的术中辅助定位技术,对于实现 ACL 损伤的解剖重建和提高手术成功率具有重要意义。

随着医工结合及数字骨科理念的深入,大量研究将计算机导航技术应用在 ACLR 中,经过放射学评估及长期的随访观察发现,该技术可提高骨隧道位置定位的准确性,改善患者术后的临床疗效,相关生物力学研究也证实了其有效性^[11-13]。然而,也有研究表明,计算机导航技术辅助与传统 ACLR 在骨隧道定位或临床结局改善程度方面并无明显差异^[14]。YAVARI 等^[15]针对上述问题进行了一项 meta 分析研究,但纳入文献中导航辅助技术种类繁多且更倾向于对临床结局指标的分析。因此,本研究进行了一项 meta 分析,统一辅助技术为计算机导航,系统评价计算机导航技术对 ACLR 中骨隧道位置定位及术后功能恢复的影响,以期对计算机导航技术的临床应用提供循证医学证据。

1 资料与方法

1.1 检索策略

计算机检索 Cochrane Library、PubMed、Embase、中国知网、万方、维普数据库中有关计算机导航技术辅助 ACLR 的对照试验,检索时限从建库至 2023 年 9 月,文献语种限定为英文和中文。英文检索词:“anterior cruciate ligament reconstruction”“ACLR”“surgery, computer-assisted”“computer-assisted surgeries”“surgeries, computer-assisted”“sur-

gery, computer assisted”“computer-assisted surgery”“computer assisted surgery”“computer-aided surgery”“computer aided surgery”“computer-aided surgeries”“surgeries, computer-aided”“surgery, computer-aided”“surgery, image-guided”“image-guided surgeries”“surgeries, image-guided”“surgery, image guided”“image-guided surgery”“image guided surgery”“surgical navigation”“navigation, surgical”;中文检索词:“前交叉韧带重建”“导航”。

1.2 纳入与排除标准

纳入标准,(1)研究类型:对照试验,同时分析计算机导航技术辅助和常规手术方式;(2)研究对象:单束 ACLR 患者,患者性别、年龄及移植物类型不限;(3)干预措施:对照组采用常规 ACLR 方式,根据医师经验定位骨隧道位置,导航组在对照组的基础上采用计算机导航技术辅助定位骨隧道位置;(4)至少包括以下一项结局指标:股骨侧或胫骨侧骨隧道位置定位准确性(股骨侧骨隧道:在标准侧位 X 线片上,作一圆形,尽可能地与股骨外侧髁类圆形轮廓重叠,计算股骨侧骨隧道中轴线与股骨髁间窝顶骨皮质线延长线的交点占该线与圆圈相交距离的百分比;胫骨侧骨隧道:胫骨侧骨隧道轴心与胫骨平台关节面的交点,计算该交点至胫骨平台前缘的距离与胫骨内侧平台最大前后径的百分比)、国际膝关节文件编制委员会(IKDC)评分、Lysholm 评分、Tegner 评分、轴移试验阳性率、拉赫曼试验阳性率、KT-1000 前移距离。排除标准:(1)缺乏 meta 分析所需数据或者骨隧道位置数据收集方式与本研究不同;(2)会议论文、meta 分析、综述类文献;(3)重复发表的研究;(4)手术方式为双束 ACLR 的文献;(5)质量较低、数据有误的研究。

1.3 文献筛选与数据提取

采用 NoteExpress V3.0 文献管理软件去除重复文献后,由两名研究者根据纳入和排除标准对所检索的文献进行筛选评估,当意见不一致时,由第 3 名研究者参与判定。从纳入的研究中提取以下数据:第一作者姓名、发表年、样本量(导航组和常规组)、患者性别、移植物类型、导航辅助方式、结局指标、研究类型和证据等级。

1.4 文献质量评价

使用 Cochrane 风险评估量表对纳入文献的方法学质量进行评估。Cochrane 风险评估量表包括以下 7 个条目:(1)随机序列产生;(2)分配隐藏;(3)参与者及研究者盲法;(4)结局评估盲法;(5)结果数据的完

整性;(6)选择性报告研究结果;(7)其他偏倚。由 2 名研究者根据《Cochrane 干预措施系统评价手册》独立评价,以“低风险”“高风险”或“不清楚”作为评判结果,如遇分歧,则咨询第 3 名研究者协助判断。

1.5 结局指标

主要结局指标:胫骨侧、股骨侧骨隧道位置;次要结局指标:IKDC 评分、Lysholm 评分、Tegner 评分、KT-1000 前移距离、拉赫曼试验阳性率、轴移试验阳性率。

1.6 统计学处理

采用 RevMan5.4 软件对数据进行 meta 分析。研究选取的 8 个结局指标中拉赫曼试验阳性率和轴移试验阳性率为二分类变量,其余均为连续变量。二分类变量以相对危险差(risk difference, RD)分析;连续性变量,若测量方法和单位相同,运用均数差(mean difference, MD)和 95%CI 作为效应量指标;反之,采用标准化均数差(standardized mean difference, SMD)和 95%CI 作为效应量指标。采用 χ^2 检验判定纳入各研究间的异质性(检验水准 $\alpha=0.1$),若 $I^2<50\%$ 且 $P\geq 0.1$,表明研究间异质性较小,采用固定效应模型进行分析;若 $I^2\geq 50\%$ 且 $P<0.1$,表明研究间异质性较大,采用随机效应模型进行分析。此外,使用单篇文献剔除法进行敏感性分析以评估每一项研究对总体合并估计的影响;以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 文献筛选结果

通过初步检索获得中英文文献 2 042 篇,有 613 篇重复研究文献被剔除。阅读标题和摘要初筛 1 429 篇文献,其中 1 362 篇文献被认为相关性较低。剩余 67 篇文献进行了全文阅读筛选以确保最终合格性,57

篇文献被排除在外,包括综述、meta 分析、会议性论文、缺乏所需结局指标、双束 ACLR、骨隧道位置数据采集方式与本研究不符及质量较低的文献。最终纳入了 10 篇^[14,16-24]文献,包括英文文献 7 篇,中文文献 3 篇,见图 1。

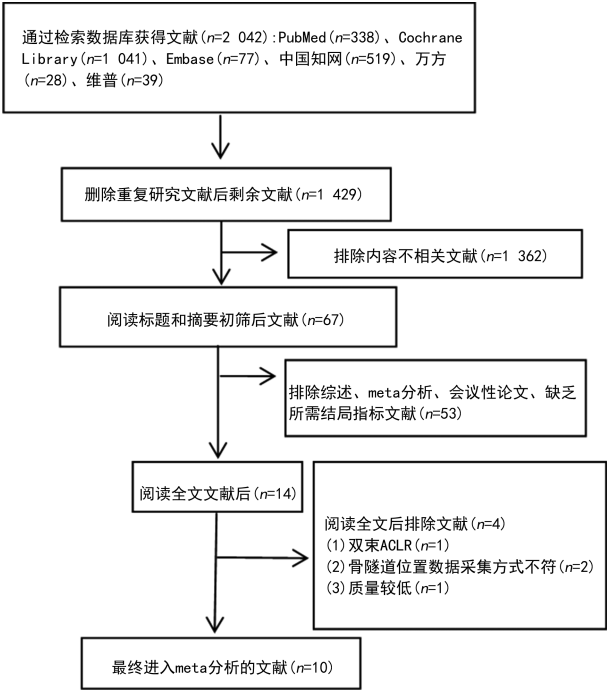


图 1 文献检索流程图

2.2 文献基本特征

共纳入 705 例患者,其中导航组 354 例,常规组 351 例,大多数为男性患者(67.4%)。在本文纳入的 10 项研究中,1 项研究^[22]在尸体标本上进行,2 项研究^[20-21]移植植物为骨-髌腱-骨,7 项研究则选择半腱肌、股薄肌作为移植植物^[14,16-19,23-24],文献基本信息见表 1。

表 1 文献特征基本特征

作者	发表年	研究类型	男/女 (n/n)	证据等级	导航辅助 方式	样本量(n)		移植植物 类型	结局指标
						导航组	常规组		
FOO 等 ^[14]	2022 年	NRCT	40/20	Ⅲ	计算机辅助	26	34	半腱肌、股薄肌	①④⑤
LIU 等 ^[16]	2020 年	RCT	23/18	Ⅱ	计算机辅助	22	19	半腱肌、股薄肌	①③④
KAWAKAMI 等 ^[17]	2012 年	NRCT	17/20	Ⅲ	计算机辅助	19	18	半腱肌、股薄肌	①②③④⑥⑦⑧
MEUFFELS 等 ^[18]	2012 年	RCT	76/24	I	计算机辅助	49	51	半腱肌、股薄肌	①
PLAWESKI 等 ^[19]	2012 年	NRCT		Ⅲ	计算机辅助	114	100	半腱肌、股薄肌	①②
ENDELE 等 ^[20]	2009 年	RCT	24/16	I	计算机辅助	20	20	骨-髌腱-骨	①
MAUCH 等 ^[21]	2007 年	RCT	36/17	I	计算机辅助	24	29	骨-髌腱-骨	①
贾国庆等 ^[22]	2020 年	RCT	17/13	I	计算机辅助	15	15		①②
邱洪九等 ^[23]	2020 年	NRCT	44/16	Ⅱ	计算机辅助	30	30	半腱肌、股薄肌	①④⑤⑥⑦
王伟等 ^[24]	2017 年	RCT	54/16	I	计算机辅助	35	35	半腱肌、股薄肌	①②③④⑤⑥⑧

NRCT:非随机对照试验;RCT:随机对照试验;①:胫骨侧骨隧道位置定位准确性;②:股骨侧骨隧道位置定位准确性;③:IKDC 评分;④:Lysholm 评分;⑤:Tegner 评分;⑥:拉赫曼试验阳性率;⑦:轴移试验阳性率;⑧:KT-1000 前移距离。

2.3 纳入研究的质量评价结果

纳入 10 篇文献中,6 篇^[16,18,20-22,24]为随机对照试验,在随机序列的产生方面,4 篇文献^[16,18,20,24]报道了随机序列产生的具体方法,主要为计算机随机序列法;分配隐藏方面,5 篇文献^[16,18,20-21,24]采用分配隐藏;在盲法评估方面,1 篇文献^[18]使用双盲,4 篇文献^[16,19-20,24]使用单盲,见表 1,图 2、3。

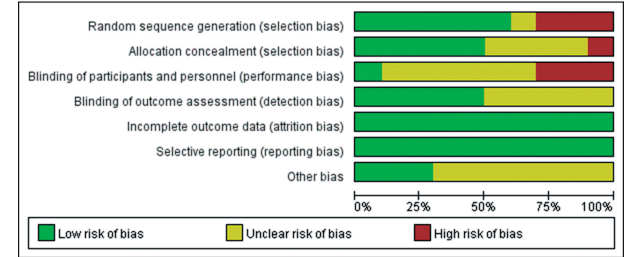


图 2 纳入文献的质量评价

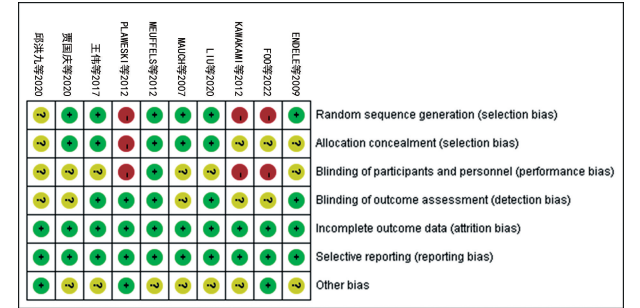


图 3 纳入文献的评价总结

2.4 meta 分析结果

2.4.1 股骨侧骨隧道位置定位准确性比较

共 4 项研究^[17,19,22,24]比较了导航组与常规组 ACLR 中股骨侧骨隧道位置定位准确性,各研究间异质性较高($I^2=84\%$, $P<0.01$),故采用随机效应模型进行分析,由于文献间测量方式相同,故采用 MD 进行合并。meta 分析结果显示,与常规组比较,导航组股骨侧骨隧道位置定位准确性提高,差异有统计学意义($MD=5.59,95\%CI:1.21\sim9.97,P=0.01$),见表 2。敏感性分析表明,有 1 项研究^[22]具有高度敏感性,将其剔除后对剩余文献进行 meta 分析,研究间异质性降低($I^2=0,P=0.89$),且合并结果稳定($MD=3.62,95\%CI:1.50\sim5.74,P<0.01$)。

2.4.2 胫骨侧骨隧道位置定位准确性比较

共 10 项研究^[14,16-24]比较了导航组与常规组 ACLR 中胫骨侧骨隧道位置定位准确性,各研究间异质性较高($I^2=59\%$, $P<0.01$),故采用随机效应模型进行分析,由于文献间测量方式相同,故采用 MD 进行合并。meta 分析结果显示,与常规组比较,导航组胫骨侧骨隧道位置定位准确性提高,差异有统计学意义($MD=1.32,95\%CI:0.20\sim2.43,P=0.02$),见表 2。敏感性分析表明,有 1 项研究^[24]具有高度敏感性,将其剔除后对剩余文献进行 meta 分析,研究间异质

性降低($I^2=10\%$, $P=0.35$),且合并结果稳定($MD=0.84,95\%CI:0.16\sim1.53,P=0.03$)。

2.4.3 IKDC 评分比较

共 3 项研究^[16-17,24]比较了导航组与常规组 ACLR 术后 IKDC 评分,各研究间异质性较低($I^2=0,P=0.52$),故采用固定效应模型进行分析,由于文献间测量方式相同,故采用 MD 进行合并。meta 分析结果显示,两组 ACLR 术后 IKDC 评分差异无统计学意义($MD=1.76,95\%CI:-0.17\sim3.70,P=0.07$),见表 2。

2.4.4 Lysholm 评分比较

共 5 项研究^[14,16-17,23-24]比较了导航组与常规组 ACLR 术后 Lysholm 评分,各研究间异质性较低($I^2=0,P=0.80$),故采用固定效应模型进行分析,由于文献间测量方式相同,故采用 MD 进行合并。meta 分析结果显示,两组 ACLR 术后 Lysholm 评分差异无统计学意义($MD=0.49,95\%CI:-0.16\sim1.14,P=0.14$),见表 2。

2.4.5 Tegner 评分比较

共 3 项研究^[14,22,23]比较了导航组与常规组 ACLR 后 Tegner 评分大小,各研究间异质性较低($I^2=0,P=0.70$),故采用固定效应模型进行分析,由于文献间测量方式相同,故采用 MD 进行合并。meta 分析结果显示,两组 ACLR 术后 Tegner 评分差异无统计学意义($MD=-0.08,95\%CI:-0.35\sim0.20,P=0.58$),见表 2。

2.4.6 KT-1000 前移距离比较

共 2 项研究^[17,24]比较了导航组与常规组 ACLR 后 KT-1000 前移距离,各研究间异质性较低($I^2=0,P=0.90$),故采用固定效应模型进行分析,由于文献间测量方式相同,故采用 MD 进行合并。meta 分析结果显示,两组 ACLR 术后 KT-1000 前移距离差异无统计学意义($MD=0.01,95\%CI:-0.49\sim0.52,P=0.96$),见表 2。

2.4.7 拉赫曼试验阳性比较

共 3 项研究^[17,23-24]比较了导航组与常规组 ACLR 术后拉赫曼试验阳性率,各研究间异质性较低($I^2=0,P=0.59$),故采用固定效应模型进行分析,并采用 RD 进行合并。meta 分析结果显示,两组 ACLR 术后拉赫曼试验阳性率差异无统计学意义($RD=-0.01,95\%CI:-0.09\sim0.07,P=0.75$),见表 2。

2.4.8 轴移试验阳性比较

共 2 项研究^[19,23]比较了导航组与常规组 ACLR 术后轴移试验阳性率,各研究间异质性较低($I^2=0,P=0.78$),故采用固定效应模型进行分析,并采用 RD 进行合并。meta 分析结果显示,两组 ACLR 术后轴移试验阳性率差异无统计学意义($RD=-0.09,95\%CI:-0.22\sim0.04,P=0.20$),见表 2。

表 2 计算机导航辅助技术在 ACLR 中应用的 meta 分析结果

结局指标	样本量(<i>n</i>)		异质性检验		效应模型	meta 分析效应值 [MD/RD(95%CI)]	文献来源
	导航组	常规组	<i>I</i> ² (%)	<i>P</i>			
股骨侧骨隧道位置准确性	187	177	84	<0.01	随机	5.59(1.21~9.97)	[17,19,22,24] ^a
胫骨侧骨隧道位置准确性	354	351	59	<0.01	随机	1.32(0.20~2.43)	[14,16-24] ^a
IKDC 评分	71	67	0	0.52	固定	1.76(−0.17~3.70)	[16-17,24]
Lysholm 评分	113	118	0	0.80	固定	0.49(−0.16~1.14)	[14,16-17,23-24]
Tegner 评分	71	79	0	0.70	固定	−0.08(−0.35~0.20)	[14,23-24]
KT-1000 前移距离	55	55	0	0.90	固定	0.01(−0.49~0.52)	[17,23]
拉赫曼试验阳性率	84	83	0	0.59	固定	−0.01(−0.09~0.07)	[17,23-24]
轴移试验阳性率	50	50	0	0.78	固定	−0.09(−0.22~0.04)	[19,23]

^a:表示单个研究结果导航组优于对照组。

2.5 敏感性分析结果

为进一步探究文献异质性的来源,对胫骨侧、股骨侧骨隧道位置定位准确性、IKDC 评分、Lysholm 评分、Tegner 评分、拉赫曼试验阳性率、轴移试验阳性率、KT-1000 前移距离 8 个结局指标分别进行敏感性分析,结果显示,每个指标逐一去除单篇文献后,总效应量并未发生改变,提示 meta 分析结果较稳定。

3 讨 论

近年来,ACL 损伤的解剖重建被认为可以提供更好的旋转和平移稳定性,还可以降低移植物再破裂的发生率^[25-26]。为了提高骨隧道位置定位准确性和可重复性,运动医学科医生尝试将计算机导航技术应用于 ACLR 中,文章纳入 10 项对照试验,旨在探讨计算机导航技术对 ACLR 骨隧道位置定位准确性及术后疗效恢复的影响。结果显示与常规组比较,计算机导航技术能有效提高 ACLR 骨隧道位置定位准确性,然而并不能明显改善患者术后功能恢复。

3.1 导航辅助技术对 ACLR 中骨隧道位置准确性的影响

作者在对 ACLR 后并发症进行深入研究发现胫骨外侧斜率的增加、髁间窝宽度指数的降低或不理想的骨隧道位置,均是导致非创伤性 ACLR 后再次破裂的关键独立因素^[27]。此外,股骨侧骨隧道位置不佳与隧道增宽还有明显相关性,当股骨侧骨隧道增宽≥3 mm 时,术后膝关节的稳定性将明显下降^[28]。因此,可以得出结论 ACL 足印区的精准定位,对于实现 ACL 损伤的解剖重建和提高手术成功率具有重要意义。本研究的结果也进一步揭示了计算机导航辅助技术的重要性,借助这一技术,医生在进行 ACLR 时,能够更精确地将骨隧道放置在理想的位置上。尽管 meta 分析的初步结果显示了一定的异质性,但在进行敏感性分析后,这种异质性明显减少,合并结果稳定,且依然表明计算机导航技术在提高 ACLR 中骨隧道位置定位准确性方面具有明显优势。在本次纳入的所有文献中,绝大多数研究导航组隧道位置标准差小于常规组。这一发现说明,与传统手动定位方法比较,计算机导航技术在骨隧道定位的集中度更高,变

异性更低,换言之,其可重复性更高。LEE 等^[29]的研究也证实了上述结论的可靠性。因此,可以相信,计算机导航技术在提升 ACLR 精确度方面具有重要价值,这不仅是技术进步的体现,更是对患者的利好。

3.2 导航辅助技术对 ACLR 后临床结局指标的影响

在本研究中分析的 ACLR 后临床结局指标主要包括:IKDC 评分、Lysholm 评分、Tegner 评分、拉赫曼试验阳性率、轴移试验阳性率、KT-1000 前移距离,可以从多维度来综合评估膝关节的功能恢复情况。尽管本研究显示计算机导航技术在提高 ACLR 中骨隧道位置定位准确性方面有明显优势,但对于术后功能恢复疗效并不明显。这一发现引起了作者关注,因此作者认为有必要深入探讨这一现象背后的可能原因。首先,虽然计算机导航技术提高了手术的精准性,但术后功能恢复并不仅仅依赖于手术本身的精确度。术后恢复是一个复杂的过程,涉及患者的整体健康状况、康复训练、个体差异等多种因素。因此,即便手术过程得到了精准控制,术后恢复效果也可能因这些变量而有所不同。其次,术后康复过程的质量对恢复效果有着重要影响。虽然计算机导航技术能够提升手术的精准性,但如果术后康复指导不当或执行不足,患者的功能恢复仍可能受到限制。最后,本研究仅将临床结局作为次要指标,相关文献纳入较少且纳入文献的随访时间大多在半年至两年,考虑患者术后随访时间短,导航组和常规组术后临床结局不太可能出现明显差异。

3.3 导航辅助技术在 ACLR 中应用的挑战

查阅文献过程中,计算机导航技术辅助 ACLR 的潜在问题也得到了揭示。具体来说,(1)3 项研究指出了与示踪点相关的风险,如感染、异位骨化、皮肤坏死等,手术安全性值得深思。(2)2 项研究^[14,19]报道了一个值得关注的现象:与常规方法比较,计算机导航技术辅助手术至少平均增加了 19 min 的操作时间。这不仅意味着手术过程中潜在的出血和麻醉风险,而且提示了在经验丰富的医师操作下,常规手术与导航辅助手术间可能存在更加明显的时间差异。(3)与常规手术比较,计算机导航技术辅助还会增加医疗成

本。如何解决上述问题,是促进计算机导航技术临床广泛应用的关键。值得一提的是,RAPOSO 等^[30]开发了一款基于视频的计算机导航系统,并分别在膝关节模型与尸体标本进行了实验,结果令人鼓舞:这一新系统在保持高精度的同时,明显缩短了手术时间,并且不增加额外的手术切口。这一进展为计算机导航技术辅助在手术精确性和效率上的改进开辟了新的可能性,预示着这一领域未来的发展方向。

本研究还发现,在纳入的文献中部分研究者使用 X 射线作为骨隧道的放射学评估方法,但近年的研究却发现 CT 测量可较客观、准确地反映骨隧道情况及移植物状态^[31]。VASUDEVA 等^[32]开发了一款低剂量 CT 扫描方案,它在评估 ACLR 后的隧道位置时,不仅提供了高精度的图像,而且大幅降低了辐射剂量,其有效辐射剂量仅为 0.5 mSv,远低于传统 CT 的 2.0 mSv。未来针对骨隧道位置的测量方式应以 CT 为主,更加准确地评估骨隧道位置。

3.4 局限性和展望

当然,本研究依旧存在一些不足之处:(1)本研究并未统一纳入文献中的移植物类型,尽管目前的证据未显示不同移植物类型存在明显的生物力学和临床结局差异^[33-34]。(2)纳入文献中的评价指标并未涉及医师的手术水平,各研究的术者对于手术入路和手术熟悉程度并不相同。(3)本研究检索的数据库不够全面,未覆盖全部的研究患者且纳入文献中存在非随机对照研究,部分文献质量不高,存在一定偏倚风险。(4)以临床结局为指标的原始文献纳入较少且纳入文献随访时间较短,因此本研究结果需谨慎解释。此次研究为计算机导航技术在 ACLR 中的临床应用提供了参考,今后的研究应侧重于简化设计,降低手术时间和成本,减少侵入性伤害,并进行长期随访的大型随机对照研究以评估临床功能改善情况。

综上所述,当前证据表明计算机导航技术辅助 ACLR 较常规手术可有效提高骨隧道定位准确性。然而,对于末次随访时的 IKDC 评分、Lysholm 评分、Tegner 评分、拉赫曼试验阳性率、轴移试验阳性率、KT-1000 前移距离较常规手术并未呈现明显统计学差异。由于缺乏高质量的随机对照研究及长期随访结果来分析二者间的临床疗效,计算机导航技术辅助 ACLR 是否会带来更好的长期功能结果仍不清楚。未来需要进一步研究,最好是比较导航辅助和传统 ACLR 的大样本量、长期随访、随机对照试验,以验证本次结论的可靠性。

参考文献

[1] ROETHKE L C, BRAATEN J A, RODRIGUEZ A N, et al. Revision anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR): causes and how

to minimize primary ACLR failure[J]. Arch Bone Jt Surg, 2023, 11(2): 80-93.

[2] COHEN D, YAO P F, UDDANDAM A, et al. Etiology of failed anterior cruciate ligament reconstruction: a scoping review[J]. Curr Rev Musculoskelet Med, 2022, 15(5): 394-401.

[3] INCLAN P M, BROPHY R H. Revision anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Bone Joint J, 2023, 105-B(5): 474-480.

[4] LIU W, WU Y, WANG X, et al. ACL stump and ACL femoral landmarks are equally reliable in ACL reconstruction for assisting ACL femoral tunnel positioning[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2023, 31(1): 219-228.

[5] SCHUTZENBERGER S, GRABNER S, SCHALLMAYER D, et al. The risk of graft impingement still exists in modern ACL surgery and correlates with degenerative MRI signal changes[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021, 29(9): 2880-2888.

[6] JIAHAO Z, JIAYI S, FENGYUAN Z, et al. Flat-tunnel technique with independently tensioned bundles better restores rotational stability than round-tunnel technique in anatomic anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring graft: a cadaveric biomechanical study[J]. Arthroscopy, 2021, 38(3): 850-859.

[7] CHIBA D, YAMAMOTO Y, KIMURA Y, et al. Laterally shifted tibial tunnel can be the risk of residual knee laxity for double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2022, 30(1): 319-327.

[8] LI X, YAN L, LI D, et al. Failure modes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis[J]. Int Orthop, 2023, 47(3): 719-734.

[9] MEES D T, REIJMAN M, WAARSING J H, et al. Posteriorly positioned femoral grafts decrease long-term failure in anterior cruciate ligament reconstruction, femoral and tibial graft positions did not affect long-term reported outcome[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2022, 30(6): 2003-2013.

[10] HUGHES J D, GIBBS C M, ALMAST A, et al. More anatomic tunnel placement for anterior cruciate ligament reconstruction by surgeons with high volume compared to low volume[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2022,

- 30(6):2014-2019.
- [11] FIGUEROA F, FIGUEROA D, GUILOFF R, et al. Navigation in anterior cruciate ligament reconstruction; state of the art[J]. J ISAKOS, 2023, 8(1):47-53.
- [12] 黄碧滢, 邓文字, 李韬, 等. 前交叉韧带重建术中股骨隧道定位方法研究进展[J]. 中国修复重建外科杂志, 2021, 35(1):118-123.
- [13] MATAR H E, PLATT S R, BLOCH B V, et al. A systematic review of randomized controlled trials in anterior cruciate ligament reconstruction: standard techniques are comparable (299 trials with 25 816 patients)[J]. Arthrosc Sports Med Rehabil, 2021, 3(4):e1211-1226.
- [14] FOO W, CHOU A, LIE H M, et al. Computer-assisted navigation in ACL reconstruction improves anatomic tunnel placement with similar clinical outcomes[J]. Knee, 2022, 38:132-140.
- [15] YAVARI E, MOOSA S, COHEN D, et al. Technology-assisted anterior cruciate ligament reconstruction improves tunnel placement but leads to no change in clinical outcomes: a systematic review and meta-analysis[J/OL]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. [2023-08-21]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37329370>.
- [16] LIU J D, LI Y L, LI T, et al. The use of a 3D-printed individualized navigation template to assist in the anatomical reconstruction surgery of the anterior cruciate ligament [J]. Ann Transl Med, 2020, 8(24):1656.
- [17] KAWAKAMI Y, HIRANAKA T, MATSUMOTO T, et al. The accuracy of bone tunnel position using fluoroscopic-based navigation system in anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2012, 20(8):1503-1510.
- [18] MEUFFELS D E, REIJMAN M, VERHAAR J A N. Computer-assisted surgery is not more accurate or precise than conventional arthroscopic ACL reconstruction[J]. J Bone Joint Surg Am, 2012, 94(17):1538-1545.
- [19] PLAWESKI S, TCHOUDA S D, DUMAS J, et al. Evaluation of a computer-assisted navigation system for anterior cruciate ligament reconstruction: prospective non-randomized cohort study versus conventional surgery[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2012, 98(Suppl. 6):91-97.
- [20] ENDELE D, JUNG C, BECKER U, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction with and without computer navigation: a clinical and magnetic resonance imaging evaluation 2 years after surgery[J]. Arthroscopy, 2009, 25(10):1067-1074.
- [21] MAUCH F, APIC G, BECKER U, et al. Differences in the placement of the tibial tunnel during reconstruction of the anterior cruciate ligament with and without computer-assisted navigation[J]. Am J Sports Med, 2007, 35(11):1824-1832.
- [22] 贾国庆, 余志平, 胡鹏宇, 等. 前交叉韧带重建中电磁导航系统辅助骨隧道定位的准确性[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(15):2374-2380.
- [23] 邱洪九, 李帅峰, 谢川江, 等. 计算机导航系统辅助前交叉韧带重建术定位的准确性及其效果[J]. 中华创伤杂志, 2020, 36(2):183-189.
- [24] 王伟, 徐永胜, 吕龙. 非影像导航与传统关节镜下 ACL 重建的对比研究[J]. 内蒙古医科大学学报, 2017, 39(1):17-24.
- [25] ELIYA Y, NAWAR K, ROTHRAUFF B B, et al. Anatomical anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) results in fewer rates of atraumatic graft rupture, and higher rates of rotatory knee stability: a meta-analysis[J]. J ISAKOS, 2020, 5(6):359-370.
- [26] KUMAR S, KUMAR A, KUMAR R, et al. Grid and image intensifier improve arthroscopic acl tunnel position and patient-reported outcomes [J]. Arthrosc Sports Med Rehabil, 2023, 5(2):e331-336.
- [27] SHI W L, GAO Y T, ZHANG K Y, et al. Femoral tunnel malposition, increased lateral tibial slope, and decreased notch width index are risk factors for non-traumatic anterior cruciate ligament reconstruction failure [J]. Arthroscopy, 2024, 40(2):424-434.
- [28] LEE S S, KIM I S, SHIN T S, et al. Femoral tunnel position affects postoperative femoral tunnel widening after anterior cruciate ligament reconstruction with tibialis anterior allograft [J]. J Clin Med, 2023, 12(5):1966.
- [29] LEE B H, KUM D H, RHYU I J, et al. Clinical advantages of image-free navigation system using surface-based registration in anatomical anterior cruciate ligament reconstruction [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016, 24(11):3556-3564.

hemodynamics and respiratory mechanics in obese patients undergoing laparoscopic sleeve gastrectomy[J]. *Ain Shams J Anesthesiol*, 2021,1(13):31.

[16] FINUCANE M M, STEVENS G A, COWAN M J, et al. Global burden of metabolic risk factors of chronic diseases collaborating group (body mass index). National, regional, and global trends in body-mass index since 1980: systematic analysis of health examination surveys and epidemiological studies with 960 country-years and 9.1 million participants[J]. *Lancet*, 2011,377(9765):557-567.

[17] HODGSON L E, MURPHY P B, HART N. Re-spiratory management of the obese patient undergoing surgery[J]. *Thorac Dis*, 2015, 7 (5):943-952.

[18] FUTIER E, MARRET E, JABER S. Perioperative positive pressure ventilation: an integrated approach to improve pulmonary care[J]. *Anesthesiology*, 2014,121(2):400-408.

[19] REINIUS H. Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anesthesia and paralysis: a computerized tomography study[J]. *Anesthesiology*, 2009, 111 (5): 979-987.

[20] WAKEAM E, HYDER J A, JIANG W, et al. Risk and patterns of second-ary complications in surgical inpatients[J]. *JAMA Surg*, 2015, 150(1):65-73.

[21] MARTÍNEZ G, CRUZ P. Atelectasis in general anesthesia and alveolar recruitment strategies[J]. *Rev Esp Anesthesiol Reanim*, 2008, 55 (8): 493-503.

[22] KENDALE S M, BLITZ J D. Increasing body mass index and the incidence of intraoperative hypoxemia[J]. *J Clin Anesth*, 2016,33:97-104.

[23] 王家武, 李娟. 反比机械通气的临床应用进展[J]. *山东医药*, 2014,54(30):103-105.

[24] 杨毅, 邱海波, 郭凤梅, 等. IRV 对急性呼吸窘迫综合征绵羊血流动力学及氧代谢的影响[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2001,49(4):39-41.

[25] 洪群英, 白春学, 宋元林, 等. 新型通气模式对急性肺损伤犬心肺功能的影响[J]. *中国呼吸与危重监护杂志*, 2002,1(1):36-40.

[26] SINHA M, CHIPLONKAR S, GHANSHANI R. Pressure-controlled inverse ratio ventilation using laryngeal mask airway in gynecological laparoscopy[J]. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*, 2012,28(3):330-333.

[27] BLUTH T, SERPA NETO A, SCHULTZ M J, et al. Effect of intraoperative high positive end-expiratory pressure (PEEP) with recruitment maneuvers vs low PEEP on postoperative pulmonary complications in obese patients: a randomized clinical trial [J]. *JAMA*, 2019, 321 (23):2292-2305.

(收稿日期:2023-12-23 修回日期:2024-04-25)
(编辑:姚 雪)

(上接第 2193 页)

[30] RAPOSO C, BARRETO J P, SOUSA C, et al. Video-based computer navigation in knee arthroscopy for patient-specific ACL reconstruction[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2019,14(9):1529-1539.

[31] 郑维蓬, 魏合伟, 刘治军, 等. 三维重建 CT 与 X 射线片评价单束前交叉韧带类等长重建后骨隧道及移植状态比较[J]. *中国组织工程研究*, 2021,25(18):2881-2886.

[32] VASUDEVA V, KEY S, PHILLIPS A, et al. Evaluation of a novel lower radiation computed tomography protocol for assessment of tunnel position post anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *BMC Med Imaging*, 2020,20(1):82.

[33] SOLLBERGER V D, KORTHAUS A, BARG A, et al. Long-term results after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon versus hamstring tendon autograft with a minimum follow-up of 10 years: a systematic review[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2023, 143(7):4277-4289.

[34] DAI W, LENG X, WANG J, et al. Quadriceps tendon autograft versus bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis[J]. *Am J Sports Med*, 2022,50(12):3425-3439.

(收稿日期:2023-09-28 修回日期:2024-03-27)
(编辑:姚 雪)