

三维打印截骨导板对膝关节置换平衡功能的影响

凯沙尔·百合提亚尔¹ 陈殿卿² 张磊³ 努尔买买提·艾尼瓦尔¹ 杨德勇¹ 舒莉^{1△}

[摘要] **目的:**比较三维(3D)打印截骨导板技术与传统全膝关节置换术后下肢本体感觉及平衡功能的差异。**方法:**50例因重度骨关节炎拟行初次单侧全膝关节置换的患者,用随机数字法分为3D打印截骨导板组和传统手术组,每组各25例。术前两组患者年龄、性别、体重指数、畸形程度差异均无统计学意义($P>0.05$)。比较两组患者术后冠状面髌-膝-踝角(HKA)偏差值、冠状面股骨假体组件角偏差值、冠状面胫骨假体组件角偏差值、股骨后髁角(PCA)、髌骨横轴-股骨通髁线角(PFA);比较两组术后3个月美国膝关节协会评分(KSS)临床评分、KSS功能评分、西安大略和麦克马斯特大学(WOMAC)骨关节炎指数评分和膝关节活动度;用P-K252平衡仪评估患者本体感觉及平衡能力差异。**结果:**两组病例均未出现严重并发症。3D打印截骨导板组冠状面股骨假体偏差值、股骨后髁角及PFA小于传统手术组,差异有统计学意义($P<0.05$);3D打印截骨导板组KSS功能评分优于传统手术组,差异有统计学意义($P<0.05$);3D打印截骨导板组运动轨迹面积、运动轨迹周长小于传统手术组,差异有统计学意义($P<0.05$);Berg Balance Scale (BBS)评分大于传统手术组,差异有统计学意义($P<0.05$)。两组患者髌-膝-踝角偏差值、冠状面胫骨假体偏差值差异无统计学意义($P>0.05$);两组患者KSS临床评分、WOMAC评分、膝关节活动度和平均摆动数值差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**全膝关节置换术应用3D打印截骨导板能够获得更好的下肢稳定性。

[关键词] 全膝关节置换术;三维打印;截骨导板;传统方法;本体感觉;平衡能力

[中图分类号] R687.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2024)02-0032-06

DOI:10.20085/j.cnki.issn1005-0205.240206

The Efficacy of Three-Dimensional Printed Personalized Osteotomy Guide Technology on the Balance Function of Total Knee Arthroplasty

CAESAR Lilytyar¹ CHEN Dianqing² ZHANG Lei³
NUERMAIMAITI Ainiwaer¹ YANG Deyong¹ SHU Li^{1△}

¹ Sixth Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830002, China;

² Affiliated Hospital of Hebei Chinese People's Armed Police Forces, Shijiazhuang 050081, China;

³ Affiliated Hospital of Xinjiang Production and Construction Corps of Chinese People's Armed Police Forces, Urumqi 830063, China.

Abstract Objective: To evaluate the proprioception and balance function of total knee arthroplasty between 3D printing personalized osteotomy guide technology and conventional instrumentation. **Methods:** 50 patients with primary unilateral total knee arthroplasty were randomly divided into 3D printing personalized osteotomy guide technology group and conventional instrumentation group, 25 patients in each group. There was no statistically significant difference in age, gender, body mass index, and degree of deformity between the two groups preoperative. The hip-knee-ankle angle (HKA), coronal

femoral component component angle deviation, coronal tibial component component angle deviation, posterior femoral condyle (PCA) and transverse axis of patella to femoral condyle line angle (PFA) were compared between the two groups. The knee society scores (KSS) clinical score, KSS functional score, Western Ontario and McMaster Universities (WOMAC) score, and knee joint range of motion were com-

基金项目:新疆维吾尔自治区卫生健康青年医学科技人才专项
科研项目(WJWY-202024)

¹ 新疆医科大学第六附属医院(乌鲁木齐,830002)

² 武警河北总队医院

³ 武警兵团总队医院

[△]通信作者 E-mail:865738523@qq.com

pared between the two groups at 3 months after surgery. P-K252 balancing apparatus was used to evaluate the difference in proprioception and stability of patients. **Results:** There were no serious complications in both groups. The coronal femoral prosthesis deviation, PCA and PFA in the 3D printed osteotomy guide group were less than those in conventional instrumentation group ($P < 0.05$). The KSS functional score of the 3D printed osteotomy guide plate group was better than conventional instrumentation group ($P < 0.05$). The motion track area and motion track perimeter of the 3D printed osteotomy guide plate group were smaller than conventional instrumentation group ($P < 0.05$), and the Berg Balance Scale (BBS) score was higher than that of conventional instrumentation group ($P < 0.05$). There were no significant difference in HKA deviation and coronal plane tibial prosthesis deviation between the two groups ($P < 0.05$). There were no significant differences in KSS clinical score, WOMAC score, knee joint range of motion and average swing value and knee motion between the two groups ($P > 0.05$). **Conclusion:** The application of 3D printed personalized osteotomy guide plate in total knee replacement can achieve better lower limb stability in this study.

Keywords: total knee arthroplasty; three-dimensional print; personalized osteotomy guide; conventional instrumentation; proprioception; balance function

我国已经进入老龄化社会,膝关节骨关节炎患者逐年增加^[1-2],人工全膝关节置换术是治疗终末期膝关节骨关节炎的有效方法之一^[3-4]。三维(3D)打印截骨导板作为膝关节置换的一种新技术,已广泛应用于临床,有不少研究者对 3D 打印截骨导板技术与传统膝关节置换的术后活动度、并发症、下肢力线等进行比较^[5-7],但鲜有对两者术后本体感觉、平衡功能进行对比。本研究采用随机对照试验,对两种术式患者膝关节本体感觉及平衡功能进行比较,力求为临床治疗提供参考,现报告如下。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

前瞻性连续纳入 2021 年 1 月至 2022 年 4 月在新疆医科大学第六附属医院关节科因重度骨关节炎行初次单侧全膝关节置换的患者 50 例。利用统计软件将患者随机分为 3D 打印截骨导板组和传统手术组,每组各 25 例。所有手术均由同一名资深关节外科医师完成,术后康复亦由同一组专业人员指导完成。本研究经新疆医科大学第六附属医院伦理委员会批准,患者及家属签署知情同意书。

1.2 诊断标准

采用《骨关节炎诊疗指南 2018 版》为诊断标准^[8]。

1.3 纳入标准

1)符合上述诊断标准;2)年龄 < 80 岁,X线检查 Kellgren-Lawrence 分级为Ⅳ级,性别不限;3)初次关节置换者;4)同意参与本研究并签署知情同意书。

1.4 排除标准

1)既往膝关节手术史者;2)严重膝关节内外翻畸形($> 20^\circ$);3)合并严重内外科疾病不能耐受手术者;4)因任何原因不接受此试验,拒签知情同意书。

1.5 方法

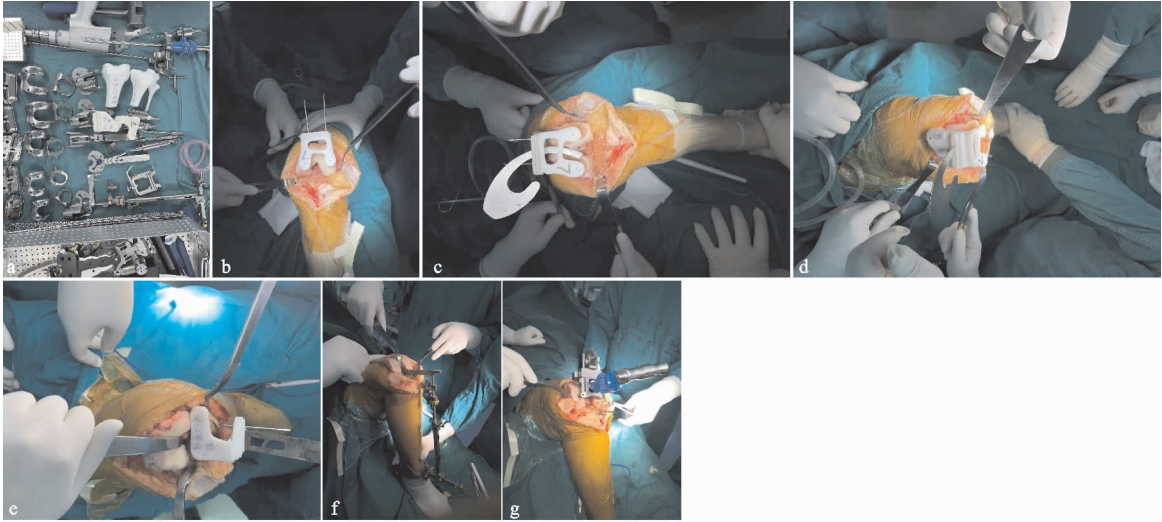
1.5.1 术前制备截骨导板 3D 打印组患者术前行双下肢 CT 平扫,包括髌、膝、踝关节,层厚为 1 mm、层间距为 0.75 mm。将数据以 DICOM 格式导入 Mimics21.0 软件(Materialise,比利时),重建股骨、胫骨骨骼三维模型。将所获得下肢全长 STL 文件导入 3-matics medical13 软件(Materialise,比利时)中,术者与工程师仔细研究患者骨骼形态,并参考股骨头旋转中心、膝、踝中心确定下肢力线;同时根据三维股骨模型的内外髌,建立通髌线;准确标定股骨外侧皮质最高点和胫骨结节中内 1/3。测定股骨外旋角、外翻角及胫骨平台后倾角,股骨外翻截骨时与下肢力线成 90° ,外旋截骨与通髌线平行。根据截骨原则确定相应的坐标系及文件,将坐标文件与三维骨骼模型导入术前规划软件中。反复模拟并调整截骨方案,构建截骨导板模型。将膝关节三维模型及导板模型以 STL 格式导入 FDM 打印机(深圳创想三维科技有限公司),使用聚乳酸材料进行打印,打印的模型以低温等离子消毒备用。

1.5.2 手术方法 手术由同一组医师完成,均采用 LINK 公司后稳定(Posterior Stabilized,PS)型膝关节假体。3D 打印组:采用蛛网膜下腔阻滞麻醉联合持续硬膜外麻醉,在患侧大腿近端上气压止血带,压力值为 50~55 kPa。采用膝正中切口,长约 15 cm,沿髌骨内缘进入膝关节,外翻髌骨,切除增生滑膜、交叉韧带及半月板,松解软组织。不切除作为定位标志的骨赘,参照股骨模型,刮除股骨髌表面定位处的关节软骨,将截骨导板与股骨髌紧密贴合后,2 枚长钉固定(见图 1b),依次进行股骨各个面的截骨(见图 1c-d)。同样方法刮除胫骨定位面部位的关节软骨,参照胫骨模型确定截骨模块位置,进行胫骨平台截骨(见图 1e)。安装股骨、胫骨试模,膝关节复位,测量下肢力线和旋转对线

情况。反复冲洗关节腔,安装假体。修整髌骨,去除骨赘。再次检查膝关节活动度及稳定性满意后,安放 1 根引流管,缝合切口。

传统手术组:麻醉、切口选择、手术显露同 3D 打

印组,胫骨采用髓外定位法(见图 1f),胫骨近端截骨量为 8~10 mm。股骨采用髓内定位法(见图 1g),用常规截骨导板进行截骨,外翻角度为 5°、外旋 3°,试模、软组织松解等操作步骤与 3D 打印组相同。



(a) 术前器械及导板准备; (b) 安放股骨侧3D打印截骨导板; (c)(d) 根据截骨导板进行股骨侧截骨; (e) 安放胫骨侧3D打印截骨导板; (f) 传统手术胫骨截骨采用髓外定位法; (g) 传统手术胫骨截骨采用髓内定位法

图 1 截骨过程展示

1.5.3 术后处理 所有患者在术后均采用相同的抗凝、抗炎、镇痛治疗。术后 24~48 h,在医护人员的指导下进行主被动康复训练。

1.6 观察指标

1.6.1 影像学指标 术后 2 周患者摄站立位下肢全长 X 线片及膝关节 CT; X 线比较两组髋-膝-踝角(Hip-Knee-Ankle Angle, HKA)偏差值、冠状面股骨假体组件角偏差值、冠状面胫骨假体组件角偏差值, HKA 角标准度数为 180°, 冠状面股骨组件角和冠状面胫骨组件角标准度数为 90°。CT 显示股骨后髌角(Posterior Condylar Angle, PCA)、髌骨横轴-股骨通髌线角(Patella Transverse Axis-Femoral Transepi-

condylar Axis Angle, PFA)。

1.6.2 膝关节功能评价指标 术后 3 个月采用美国膝关节协会评分(Keen Society Score, KSS)临床评分、KSS 功能评分、西安大略与麦克马斯特大学(Western Ontario and McMaster Universities, WOMAC)骨关节炎指数评分及膝关节活动度评价膝关节功能。

1.6.3 本体感觉评价指标 术后 3 个月采用 P-K252 平衡仪评估患者本体感觉(见图 2a)。测试含下列模式:1)双足站于稳定面;2)单足站于稳定面;3)前后跨步站于稳定面;4)双足站于泡沫垫;5)单足站于泡沫垫。每个模式下测试 30 s,电脑记录平均摆动值(图 2b),数值越小显示本体感觉越敏感^[9]。

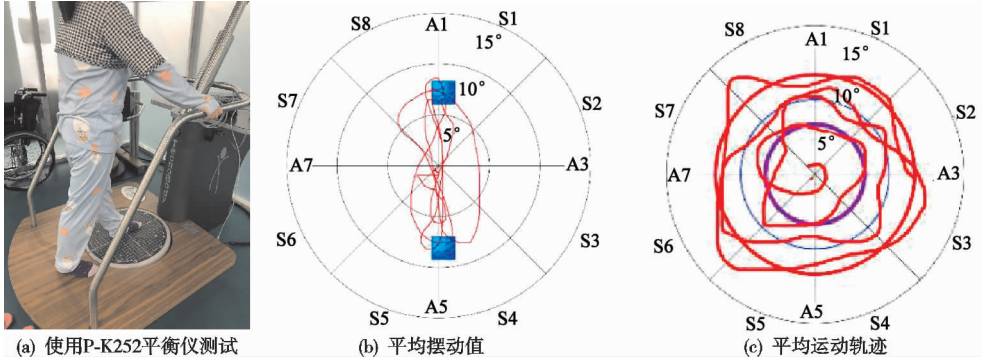


图 2 患者 1,女,68 岁,传统手术组,膝关节置换术后

1.6.4 平衡能力评价指标 术后 3 个月采用 P-K252 平衡仪评估患者平衡能力。测试前获得患者患侧的压力中心变换情况,随后患者双足站于测试台上,尽可能维持身体静止并保持 30 s,电脑记录患者运动轨迹面积和运动轨迹周长,其中运动轨迹面积反映人体重心

移动的区域面积,运动轨迹周长反映人体重心移动的总距离和晃动程度,二者数值越大表示稳定性越差(图 2c)。Berg 平衡量表(Berg Balance Scale, BBS)是目前临床中最常用的平衡测定与判断指标,可信度较高,该平衡量表包含了从坐到站、站立后拾物、转身等 14 项

从简单到复杂的动作,总分为 56 分,分数越高表示身体平衡功能越好。

1.7 统计学方法

数据采用 SPSS 26.0 统计学软件进行分析,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 形式表示,组间观察指标比较采用两独立样本 t 检验;计数资料比较采用 χ^2 检验, $P<0.05$ 差异有统计学意义。年龄、体重指数、畸形程度、影像学检查指标、膝关节评分、本体感觉及平衡能力比较采用两独立样本 t 检验,年龄比较采用 t 检验。

2 结果

2.1 一般资料

共纳入患者 50 例,其中男 22 例,女 28 例;年龄为 66~75 岁;两组性别、年龄、体重指数和膝关节畸形程度差异均无统计学意义($P>0.05$),见表 1;两组均无失访和严重并发症。3D 打印组均使用术前规划的 3D 打印截骨导板进行截骨,术中无再次加载。

表 1 两组患者基线资料比较($\bar{x}\pm s, n=25$)

组别	性别(男/女)/例	年龄/岁	体重指数/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	畸形程度/($^{\circ}$)
3D 打印组	10/15	67.6 \pm 6.2	26.8 \pm 2.6	11.7 \pm 2.0
传统手术组	12/13	68.1 \pm 5.8	27.4 \pm 3.0	12.1 \pm 1.8
统计检验值	$\chi^2=0.325$	$t=3.084$	$t=0.078$	$t=0.124$
P	0.569	0.647	0.886	0.181

表 2 两组患者术后影像学指标比较($\bar{x}\pm s, n=25$)

组别	髌-膝-踝角 偏差值/($^{\circ}$)	冠状面股骨假体 组件角偏差值/($^{\circ}$)	冠状面胫骨假体 组件角偏差值/($^{\circ}$)	股骨后髁角 /($^{\circ}$)	腓骨横轴-股骨 通髁线角/($^{\circ}$)
3D 打印组	2.31 \pm 1.70	1.20 \pm 0.80	1.98 \pm 0.87	1.410 \pm 0.80	0.70 \pm 0.40
传统手术组	2.55 \pm 1.50	1.70 \pm 1.20	2.15 \pm 1.00	3.98 \pm 1.50	3.20 \pm 1.30
F	0.884	0.289	0.929	-9.734	27.844
P	0.382	<0.001	0.359	<0.001	<0.001

表 3 两组患者术后 3 个月膝关节功能比较($\bar{x}\pm s, n=25$)

组别	KSS 临床评分/分	KSS 功能评分/分	WOMAC 评分/分	活动度/($^{\circ}$)
3D 打印组	88.66 \pm 2.85	88.17 \pm 2.19	11.02 \pm 1.43	102.50 \pm 10.10
传统手术组	87.98 \pm 3.01	86.56 \pm 2.41	10.79 \pm 1.06	103.10 \pm 11.00
F	1.173	2.193	0.716	0.799
P	0.248	0.003	0.479	0.255

表 4 两组患者术后平衡能力及本体感觉比较($\bar{x}\pm s, n=25$)

组别	运动轨迹面积/ mm^2	运动轨迹周长/mm	平均摆动数值	BBS 评分/分
3D 打印组	857.00 \pm 198.93	734.00 \pm 151.47	2.58 \pm 0.56	35.40 \pm 4.30
传统手术组	1 112.00 \pm 306.05	853.00 \pm 281.06	2.69 \pm 0.23	32.50 \pm 6.50
F	1.540	1.635	0.566	0.266
P	<0.001	<0.001	0.211	<0.001

2.5 典型病例

典型病例影像资料见图 3。

3 讨论

自 Klaus 提出计算机辅助技术导板这一概念后,3D 打印辅助技术已逐步应用于脊柱矫形、关节置换等骨科手术中^[10]。然而 3D 打印截骨导板相比传统膝关节置换能否获得更好的疗效仍存在争议^[11-12],既往对

2.2 影像学指标比较结果

3D 打印组髌-膝-踝角偏差值、冠状面胫骨假体偏差值与传统手术组差异无统计学意义($P>0.05$);3D 打印组冠状面股骨假体偏差值、股骨后髁角、腓骨横轴-股骨通髁线角小于传统手术组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 2。

2.3 膝关节功能评分比较结果

3D 打印组 KSS 临床评分、WOMAC 评分、膝关节活动度与传统手术组差异无统计学意义($P>0.05$);3D 打印组 KSS 功能评分优于传统手术组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 3。

2.4 本体感觉及稳定性比较结果

3D 打印组运动轨迹面积、运动轨迹周长小于传统手术组,差异有统计学意义($P<0.05$);BBS 评分大于传统手术组,差异有统计学意义($P<0.05$);两组平均摆动数值差异无统计学意义($P>0.05$),见表 4。

于 3D 打印截骨导板与传统手术的比较多集中于手术时间、术中出血、膝关节活动度等方面,并不能很好地反映术后的运动学状态。膝关节置换术后患者本体感觉和平衡能力明显下降,本体感觉、平衡能力与跌倒风险密切相关,并直接影响患者手术满意度及生活质量^[13],因此能否获得更好的术后本体感觉及平衡能力,是评判手术优劣的重要指标之一^[14]。

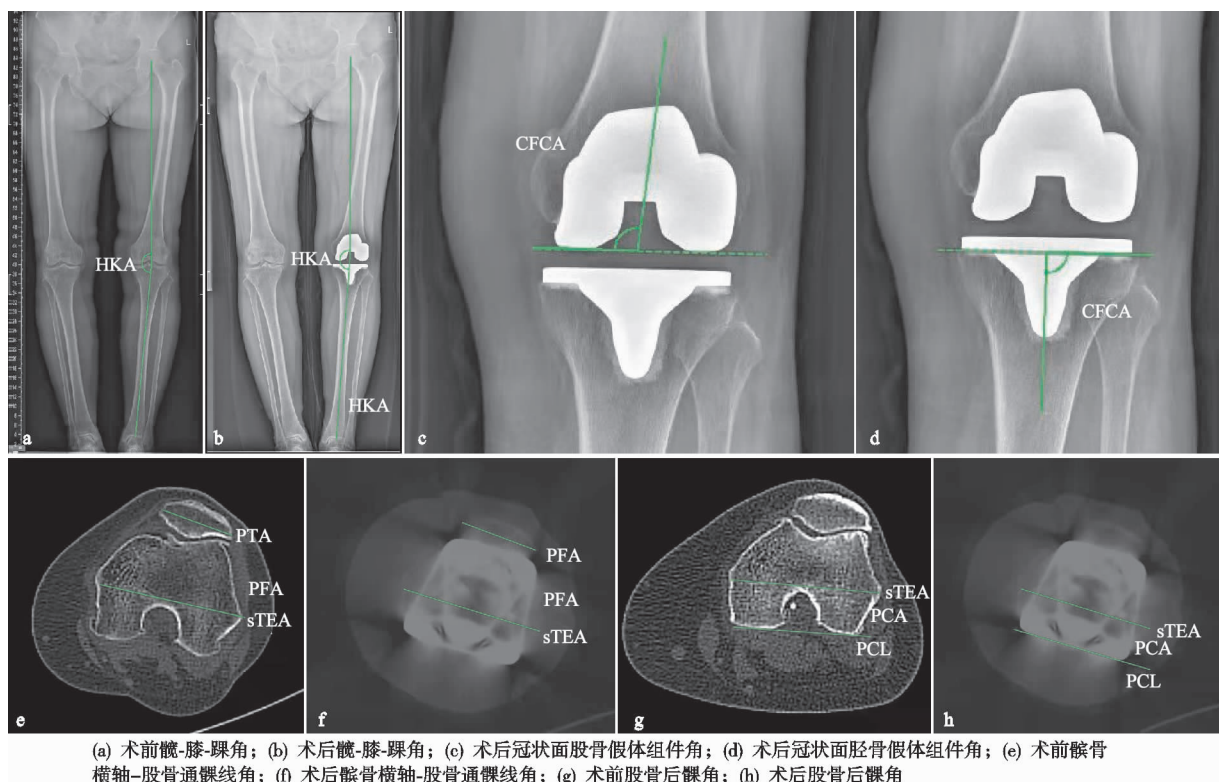


图3 患者2,女,66岁,3D打印组

本研究中反映膝关节平衡能力的运动轨迹面积、运动轨迹周长及 BBS 评分等指标,3D 打印截骨导板组均高于传统手术组,显示 3D 打印截骨导板组有更好的平衡功能。分析其原因可能是:1)使用 3D 打印截骨导板获得了更好的股骨假体旋转对线,使膝关节功能更好。股骨假体的旋转力线不良是引起术后膝前疼痛、活动受限的重要原因之一^[15]。冉学军等^[16]对 399 例膝关节置换患者进行了长期随访,发现股骨假体旋转度的精确性对膝关节功能影响明显,股骨假体旋转对线越精准,膝关节功能越好。Sun 等^[17]研究发现,采用 3D 打印截骨导板能使股骨假体旋转力线更加准确,膝关节屈伸活动时髌股关节契合度更好,因此患者膝关节功能和步态更趋于正常。股骨后髁角是定位股骨假体旋转的常用方法,具有简单、操作稳定性好的优点。本研究中 3D 打印截骨导板组术后股骨后髁角、髌骨横轴-股骨通髁线角更接近于正常,显示其股骨假体旋转角度、髌骨轨迹优于传统手术组,与 Sun 等^[17]的观点一致,这可能是 3D 打印截骨导板组膝关节平衡功能较好的原因之一。2)3D 打印截骨导板组术后 KSS 功能评分更好。本研究中 3D 打印截骨导板组术后 KSS 功能评分优于传统手术组,与杨军港等^[18]的观点一致。KSS 功能评分能在一定程度上反映膝关节的稳定性和部分高级活动,本研究中 3D 打印截骨导板组运动轨迹面积、周长及 BBS 评分等反映稳定性的具体指标优于传统手术组,可能是 KSS 功能评分高的细化反映。3)3D 打印截骨导板组能够获得

更好的下肢运动学对线。全膝关节置换术成功的关键是恢复下肢力线和软组织平衡,既往膝关节置换所采用的力线对齐方法主要是基于二维平面的机械力学对齐,存在截骨量大、假体准确性不高、软组织松解多等弊端。运动力线对齐法原理是根据患者个体化的解剖结构,充分考虑假体运动轴线与膝关节屈伸运动轴线一致,尽可能恢复膝关节原有的运动状态,并不刻意将冠状平面下肢机械轴维持在 $0^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 范围内^[19]。王强等^[20]研究显示,用运动力线截骨可显著提高膝关节运动学和生物力学指标。Blakeney 等^[21]也认为采用运动力学对线能增加患者术后膝关节活动度并提高满意度。应用 3D 打印个性化截骨导板技术,在设计和制作截骨导板的同时,也获得了患者个性化三维骨骼模型,术者能够反复演练假体的大小、位置和旋转,在尽量微创的同时,使股骨、胫骨假体的旋转轴与膝关节的生理运动轴线一致,提高了膝关节置换运动学对线的精确性^[22],这可能是 3D 打印截骨导板组患者平衡能力较好的另一个原因。

本研究中两组反映本体感觉的平均摆动值差异并无统计学意义,分析原因可能是:首先膝关节的本体感受器主要存在于前后交叉韧带、关节软骨及半月板,在本研究中两组患者均使用后稳定假体,3D 打印截骨导板组虽然具有避免股骨开髓等微创优势,但仍不可避免地要将前后交叉韧带、关节软骨及半月板等组织切除,术后膝关节本体感觉下降仍较为明显。而且目前临床中常用的本体感觉测试方法仍不够精确,尚缺乏

细胞、分子水平更精准的测量方式^[23],本研究中平均摆动数值的测量仍属于位置重现等传统测量方法,测量的精准性仍有待提高,可能无法体现两组间的细微差异。

在实际操作中笔者总结了以下技术要点:1)为了使 3D 打印截骨导板与骨面尽量匹配,术中应刮除股骨髁、胫骨平台处的软骨。2)3D 打印截骨导板的材料具有一定的弹性,且固定不如传统截骨工具牢固,术中操作应轻柔,避免用力过大造成导板形变,导致截骨误差加大。同时笔者也发现 3D 打印截骨导板技术仍存在以下不足:1)从患者术前数据采集到截骨导板制作,需 3 d 左右的时间,不可避免地增加了患者的住院时间及成本。2)3D 打印截骨导板的准确性仍有待提高,通过 CT 扫描获得的数据不能显示患者的软骨情况,术中软组织的平衡仍更多地依赖术者的经验。在后续的研究中笔者将逐步使用 MRI 数据打印 3D 导板模型,希望在准确反映骨性结构的同时,又兼顾软骨组织对角度测量的影响,并减少放射暴露。

综上所述,全膝关节置换术应用 3D 打印个性化截骨导板能够获得更好的下肢稳定性,并且能使患者更加直观地了解病情及手术方案,便于医患沟通及增进信任。但是本研究随访时间短,样本数量不多,希望今后有更多长期随访的、大样本量的前瞻性随机试验来进一步证实。

参考文献

- [1] 郭子文,彭锐,宋建东.中药防治膝骨性关节炎的作用机制研究进展[J].中国中医骨伤科杂志,2021,29(12):85-88.
- [2] 张虎林,喻琳,王亮,等.膝骨性关节炎关键信号通路的研究进展[J].中国中医骨伤科杂志,2021,29(10):84-88.
- [3] 乔桦,李慧武.膝关节置换手术机器人应用现状与研究进展[J].山东大学学报(医学版),2023,61(3):29-36.
- [4] 高峰,徐锋,吴晓峰,等.全膝关节置换术治疗老年膝骨性关节炎的临床疗效[J].临床骨科杂志,2023,26(2):193-197.
- [5] 陆声,辛欣,黄文华,等.3D 打印骨科手术导板的临床应用进展[J].南方医科大学学报,2020,40(8):1220-1224.
- [6] 韩衍龙,哈巴西·卡肯,赵巍,等.3D 打印技术辅助全膝关节置换临床疗效的 Meta 分析[J].生物骨科材料与临床研究,2021,18(5):47-56.
- [7] 安贵峰,王明月.3D 打印截骨导板在人工全膝关节置换术中的临床应用研究[J].中国实用医药,2020,15(17):98-100.
- [8] 裴福兴,陈安民.骨科学[M].北京:人民卫生出版社,2016:102-103.

- [9] 郑绍敏,林坚,黄墩兵,等.视觉反馈下本体感觉训练对早期全膝关节置换术后患者平衡功能的影响[J].浙江医学,2021,43(6):630-634.
- [10] 余浪波.3D 打印个性化截骨导板在全膝关节置换术中的研究进展[J].东南国防医药,2020,22(4):403-406.
- [11] 柴浩,杨德勇,张磊,等.3D 打印个性化截骨导板与传统全膝关节置换下肢力线准确性对比的 Meta 分析[J].中国组织工程研究,2023,27(4):646-654.
- [12] 宋强,刘泽欣,张强,等.传统技术和 3D 打印个性化截骨导板辅助下全膝关节置换术治疗膝骨关节炎的对比研究[J].中华骨与关节外科杂志,2023,16(5):461-465.
- [13] 李瑾,宋佳凝,李健,等.本体感觉训练联合肌内效贴对全膝关节置换术后患者膝关节功能与本体感觉的影响[J].中国康复,2022,37(3):145-148.
- [14] 卢岩岩,许学猛,刘文刚,等.本体感觉和平衡训练对全膝关节置换后膝关节功能恢复影响 Meta 分析[J].中国组织工程研究,2019,23(16):2601-2607.
- [15] 李昌钊,陈加荣,李凭跃.全膝关节置换术后膝前痛与髌股关节的关系及髌股关节异常的影响因素[J].中华骨科杂志,2019,39(23):1470-1477.
- [16] 冉学军,余江,胡兆洋,等.全膝关节置换术中假体精准旋转对位的重要性[J].中国骨与关节损伤杂志,2020,35(12):1292-1293.
- [17] SUN M L,ZHANG Y,PENG Y,et al. Gait analysis after total knee arthroplasty assisted by 3D-printed personalized guide[J]. Bio Med Research International,2020,30:6485178.
- [18] 杨军港,谭勇海,宋修刚,等.三维打印截骨导板技术在膝内翻畸形全膝关节置换术中的应用[J].中国中医骨伤科杂志,2022,30(9):67-71.
- [19] 赵春涛,卿明松,彭筋宸.运动学对线应用于全膝关节置换术的研究进展[J].天津医药,2020,48(3):236-240.
- [20] 王强,周强.运动力学对线截骨对全膝关节置换术后运动学、生物力学及膝关节功能的影响[J].中华骨与关节外科杂志,2021,14(11):916-922.
- [21] BLAKENEY W,CLÉMENT J,DESMEULES F,et al. Kinematic alignment in total knee arthroplasty better reproduces normal gait than mechanical alignment[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2019,27(5):1410-1417.
- [22] 赵春涛,卿明松,彭筋宸.运动学对线应用于全膝关节置换术的研究进展[J].天津医药,2020,48(3):236-240.
- [23] 陈能,吕燃,马少云,等.膝骨关节炎患者全膝关节置换术后本体感觉的研究进展[J].风湿病与关节炎,2019,8(5):63-67.

(收稿日期:2023-05-11)