

• 临床研究 •

人工智能三维规划引导下直接前入路全髋关节置换术的临床研究

刘金柱¹, 夏天卫², 徐建达¹, 沈计荣^{2△}

(1. 常州市中医医院骨伤科, 江苏 常州 213003; 2. 江苏省中医院骨伤科, 江苏 南京 210029)

[摘要] **目的** 探讨基于 CT 数据的人工智能三维术前规划系统(AIHIP)在直接前入路(DAA)全髋关节置换术(THA)中的准确性及影响。**方法** 选取 2020 年 5 月至 2021 年 5 月江苏省中医院拟行初次生物型 THA 治疗的 54 例患者作为研究对象。所有患者术前均接受 AIHIP 系统方案设计, 比较术前规划假体型号和术中实际使用假体型号的差异, 手术前后双下肢长度差值和双侧联合偏心距差值、双侧股骨偏心距差值, 以评估该系统的准确性。进一步分析性别、身体质量指数(BMI)及髋关节发育不良(DDH)对 AIHIP 系统准确性的影响。**结果** AIHIP 术前规划系统在 DAA 入路 THA 中预测髋臼杯完全匹配率为 81.5%(44/54), 相差±1 号内为 100.0%(54/54)。股骨柄完全匹配率为 77.8%(42/54), 相差±1 号内为 98.1%(53/54)。手术前后联合偏心距差值、双下肢长度差值比较, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。术后双侧股骨偏心距差值呈现正态分布, 88.9%(48/54), 误差在±3 mm 以内, 误差超过±5 mm 以上仅有 3.7%(2/54)。性别、BMI 在髋臼杯及股骨柄匹配率方面比较, 差异均无统计学意义($P > 0.05$); 而 DDH 组髋臼杯完全匹配率[65.0%(13/20)]明显低于非 DDH 组[91.2%(31/34)], 差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** AIHIP 系统能为术者植入假体位置和型号的预测提供参考, 而 DDH 会影响 AIHIP 系统髋臼杯侧假体位置和型号预测的准确性。

[关键词] 人工智能; 三维术前规划; 全髋关节置换术; 直接前入路

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2026.02.025

中图法分类号:R687.4

文章编号:1009-5519(2026)02-0381-08

文献标识码:A

Study on the clinical value of total hip arthroplasty by direct anterior approach under the guidance of artificial intelligence three-dimensional preoperative planning

LIU Jinzhu¹, XIA Tianwei², XU Jianda¹, SHEN Jirong^{2△}

(1. Department of Orthopedics and Traumatology, Changzhou Hospital of Traditional Chinese Medicine, Changzhou, Jiangsu 213003, China; 2. Department of Orthopedics and Traumatology, Jiangsu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Nanjing, Jiangsu 210029, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the accuracy of the artificial intelligence three-dimensional preoperative planning system(AIHIP) based on CT data in direct anterior approach(DAA) total hip arthroplasty(THA), and to further analyze the factors influencing the accuracy of AIHIP. **Methods** A total of 54 patients (54 hips) scheduled to undergo primary cementless THA in the Orthopedics Department of Jiangsu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine from May 2020 to May 2021 were enrolled. Preoperative planning was performed for all patients using the AIHIP system. The difference between the type of prosthesis planned preoperatively and that actually used intraoperatively, the difference of length of both lower limbs before and after operation, the difference of bilateral combined offset and bilateral femoral offset were compared to evaluate the accuracy of the system. Meanwhile, further analysis was conducted to explore whether gender, body mass index(BMI) and developmental dysplasia of the hip(DDH) affected the accuracy of the AIHIP system. **Results** The AIHIP preoperative planning system predicted that the acetabular cup exact matching rate in the DAA approach THA were 81.5%, with a matching rate within ±1 size of 100.0%(54/54), and the femoral stem exact matching rate were 77.8%, with a matching rate within ±1 size of 98.1%(53/54). The differences in bilateral lower limb length discrepancy and combined offset between preoperative and postoperative periods were statistically significant($P < 0.05$). After operation, the difference of bilateral femoral offset showed ap-

作者简介:刘金柱(1995—), 硕士研究生, 住院医师, 主要从事关节与运动医学的研究工作。△ 通信作者, E-mail: joint66118@sina.com。

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20251226.1616.006\(2025-12-29\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20251226.1616.006(2025-12-29))

proximate normal distribution, the error of 88.9% (48/54) were less than ± 3 mm, and the error more than ± 5 mm were only 3.7% (2/54). Gender and BMI had no statistically significant effects on the matching rates of acetabular cup and femoral stem ($P > 0.05$). However, the acetabular cup exact matching rate in the DDH group [65.0% (13/20)] was significantly lower than that in the non-DDH group [91.2% (31/34)], with a statistically significant difference ($P < 0.05$). **Conclusion** The AIHIP system exhibits high accuracy in the preoperative planning of THA via the DAA approach and can provide a reference for the prediction of the position and type of prosthesis implanted by the surgeon. However, developmental dysplasia of the hip can reduce the accuracy of the AIHIP system in predicting the position and type of prosthesis on the acetabular side.

[Key words] Artificial intelligence; Three-dimensional preoperative planning; Total hip arthroplasty; Direct anterior approach

全髋关节置换术(THA)作为 20 世纪骨科手术之一,已成为治疗终末期髋关节病的主要治疗措施,尤其对于股骨头坏死、髋关节发育不良(DDH)等患者,其在缓解疼痛、改善功能方面有着显著疗效^[1-2]。近年来,微创直接前入路(DAA)THA 更是广受欢迎。美国髋膝关节外科学会最近的一项调查结果显示,超过 50% 的外科医生使用 DAA 作为初次 THA 的标准方法^[3],这表明美国 DAA 的使用率从 2010 年的 12% 上升至 2019 年的 50%,成为医生心目中髋关节第一入路^[4-5]。然而,与标准入路相比,这种手术技术呈现出更长的学习曲线和更高的并发症发生率,尤其是在股骨侧,包括股骨柄过小和术中股骨骨折^[6-8]。此外,一台完美的 THA 不仅需要微创,还需要恢复其绝对的稳定性和正常的旋转中心,即假体的位置和大小、偏心距对于髋关节生物力学和功能至关重要^[9-10]。因此,详细精准的个体化术前规划是 DAA 成功的关键,其能够减少腿长和偏心距变化的差异^[11],降低并发症发生率,缩短其学习曲线^[12-14]。目前,临床上应用最多的术前规划方法还是二维胶片模板测量,但受限于球管位置、投照体位、放大倍率等因素,准确率往往很低。三维系统准确性虽较高,但费时、费力,并且对于规划人员有着较高的经验要求,极少数医院使用机器人手术,但是受限于昂贵费用,一时难以在临床推广运用。

随着人工智能技术的发展,基于 CT 数据的人工智能三维术前规划(AIHIP)系统通过不断的深度学习,可以自动识别解剖位点,在恢复髋关节生物力学基础上,自动匹配出最佳的假体位置和型号,操作简单、快捷,在一定程度上弥补了传统三维规划的缺点。既往有关于 AIHIP 系统在后外侧 THA 中的报道,假体准确性较二维规划明显升高^[15],但其仅研究股骨头坏死,病种单一,临床应用价值有待进一步验证。目前,尚无 AIHIP 系统在 DAA 全髋关节置换中的临床研究。众所周知,传统的后外侧入路因体位习惯及显露问题明显好于 DAA。因此,本研究试图通过手术前后结果去评估:(1)AIHIP 系统在 DAA THA 中预

测假体型号及恢复髋关节生物力学方面的准确性;(2)影响 AIHIP 系统准确的可能因素。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2020 年 5 月至 2021 年 5 月在江苏省中医院骨伤科进行的一项回顾性、非随机化研究,纳入 54 例初次生物型 THA 患者作为研究对象。将 DDH 作为 DDH 组,股骨头坏死、髋骨关节炎、股骨颈骨折作为非 DDH 组,2 组合并为全部组。纳入标准:(1)采取侧卧位 DAA;(2)初次生物型假体;(3)术前、术后随访资料完整;(4)DDH 患者 Crowe 分型为 I、II 型。排除标准:(1)采取后外侧入路;(2)使用骨水泥假体;(3)随访资料不完整;(4)DDH 患者 Crowe 分型为 III、IV 型。所有患者术前均采用 AIHIP 系统进行方案设计,使用 PINNACLE 髋臼杯及 CORAIL 股骨柄(均为美国强生公司)。以上患者均为同一名高年资骨科医师完成,在非牵引床上采取侧卧位 DAA 完成手术^[16-18]。本研究通过机构伦理委员会的批准(审批号:2020NL-134-02),每例患者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 AIHIP 术前规划流程 AIHIP 一种是基于深度学习技术的人工智能三维规划软件。其工作原理是通过 G-NET 智能神经网络对骨质本身及股骨区域进行快速、精准地分割,结合计算机图形学算法在分割基础上对髋臼骨盆和股骨进行拟合。同时自动测算髋臼直径、股骨髓腔直径、股骨颈干角等参数,智能匹配出最合适的假体型号、位置,结合解剖位点基础上,自动测出患者规划前后双侧股骨偏心距、联合偏心距、下肢长度的差值。入组患者术前均行仰卧位髋关节 CT 平扫,将扫描的 CT 数据以 DICOM 格式导入 AIHIP,软件使用算法进行髋关节三维重建,同时可以智能分割骨盆和股骨,以便清楚观察髋臼和股骨头情况(图 1)。AIHIP 经过深度学习训练之后,能够快速、准确识别解剖位点,智能算出术前相关参数(图 2),为下一步规划提供参考。分割双侧股骨和骨盆,利用股骨和骨盆的空间相对位置关系来得到髋臼

表面点云,将这些云标志点拟合成 1 个球体,通过最小二乘法得到球体的球心和半径,球体半径即髋臼半径,根据该数值确定髋臼型号。AIHIP 自动按照外展 40°、前倾 20°安放臼杯假体,通过轴位、矢状位、冠状位三轴联动,规划者可以对臼杯假体的位置、大小、角度进行微调,系统根据臼杯假体表面骨质的覆盖情况,实时测算臼杯假体骨质覆盖率(图 3)。根据髓腔

直径智能匹配最佳的股骨柄大小和位置,然后根据双下肢长度差值及双侧偏心距差值,选择合适的球头(图 4)。股骨假体安放完成后,智能模拟截骨,同时自动测出股骨距保留长度和大转子尖部到股骨柄肩部距离,以保证术中假体能够精准置入。最后输出规划结果,显示双侧偏心距差值和双下肢长度差值,并模拟术后 X 线片效果(图 5)。



注:A 为 AIHIP 髋关节三维规划;B 为红点代表股骨头旋转中心。

图 1 AIHIP 髋关节三维重建



注:A 为自动矫正骨盆测量双下肢长度差异;B 为测量颈干角;C 为髋臼测量前倾角。

图 2 术前解剖参数的自动测量

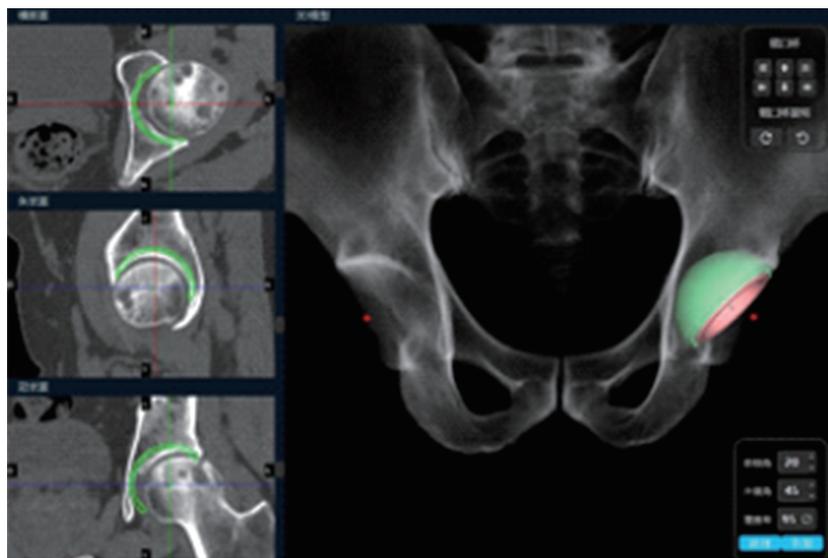
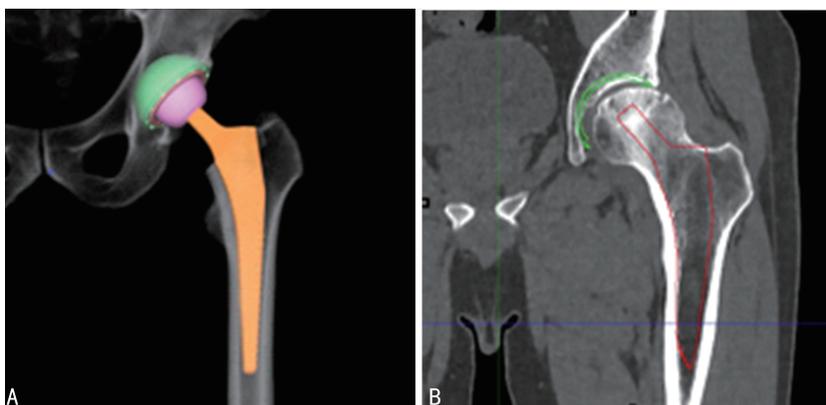
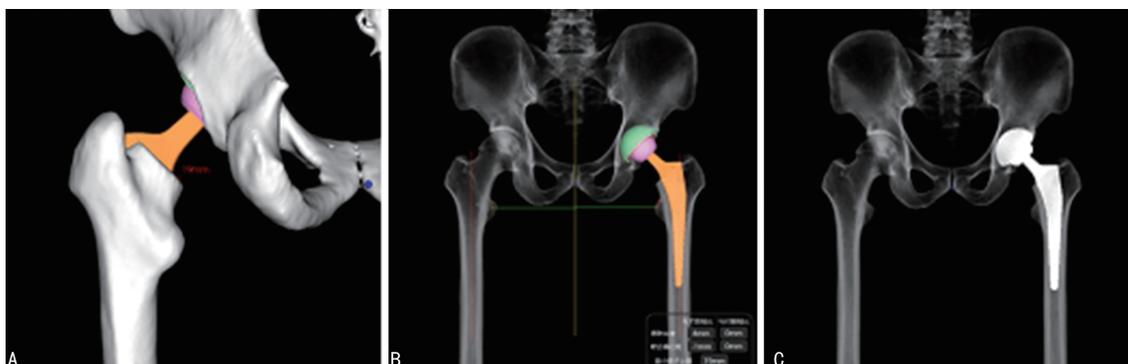


图 3 横断面观、矢状面观和冠状面观髋臼杯规划图



注:A 为自动测量股骨柄大小;B 为确定股骨柄最佳位置。

图 4 髓腔测量确定最佳股骨柄位置和大小



注:A 为测量小粗隆到截骨平面距离,模拟截骨位置;B 为输出规划结果;C 为模拟术后拍片结果。

图 5 模拟股骨颈截骨位置及输出规划结果

1.2.2 AIHIP 确定假体型号 将数据上传 AIHIP 系统后,自动生成假体型号大小和位置。髋臼杯位于髋关节旋转中心,臼杯下缘与泪滴下缘持平,同时杯底紧贴髌坐线。通过轴位、冠状位和矢状位来判断髋臼杯位置和大小,结合显示的髋臼实时覆盖面积可以选择进行微调,一般覆盖面积至少 70%,前倾角置于 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$,外展角 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$ (图 3)。股骨柄要紧贴髓腔皮质,3D 图像能以任何角度观察柄与髓腔的压配情况,特别是正位和侧位显示柄位置居正,无内外翻(图 4)。最后根据肢体长度和偏心距选择合适的球头(图 5)。

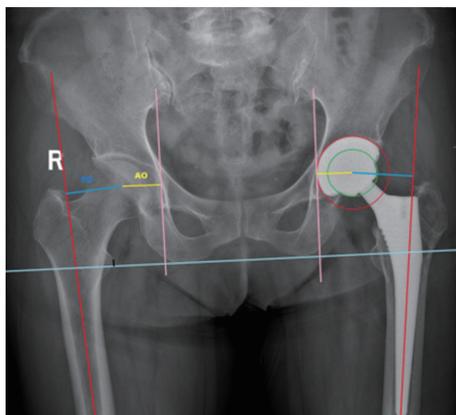
1.2.3 AIHIP 提供规划信息 智能合成的 3D 骨盆模型可以清楚显示髋臼缘骨赘和骨缺损,同时确定髋关节旋转中心,为磨锉提供定位(图 1)。自动矫正骨盆得出术前股骨颈干角、髋臼前倾角、双侧肢体长度和偏心距差值(图 2)。通过三轴联动提供臼杯和股骨柄的型号大小及安放的角度(图 3)。最后确定股骨颈截骨线到小粗隆上方的距离,为术中柄安放的深度提供参考,从而保证肢体恢复等长(图 5)。

1.2.4 手术过程 (1)体位和麻醉:患者取侧卧位置于普通手术床上,并保证骨盆垂直于手术床。(2)入路和显露:从 Hueter 间隙进入清除脂肪垫显露前方关节囊,按照 T 型切开前方关节囊^[16-18]。(3)截骨和取头:患肢外展外旋,松解股骨侧耻骨韧带直至露出小粗隆顶部,不松解髂腰肌。按照术前设计截骨线到

小粗隆顶部的距离确定股骨颈截骨平面。松解股骨头周围粘连的关节囊和滑膜,并适当牵引下肢取出股骨头。(4)髋臼置入:暴露马蹄窝定位磨锉中心进行磨锉,将试杯打入髋臼检查稳定性良好,最后置入髋臼杯。置入臼杯时,杆与身体的水平面夹角为外展角,与身体的纵轴面夹角为前倾角,结合术前规划的角度。同时也要参考髋臼前后、上壁和横韧带。臼杯下缘要与横韧带平行,上缘露出 $1\sim 2\text{ mm}$,从而保证髋臼杯前倾角在 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$,外展角在 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。(5)股骨柄置入:先用髓腔杆探查方向,然后试模沿着髓腔方向进行扩髓,直到试模不在下沉,上缘与截骨面齐平。取出试模,置入股骨柄,再次检查假体颈部到小粗隆的距离,确保柄置入的深度与术前规划保持一致。

1.2.5 术后评价指标 比较术前规划与术中实际使用假体型号情况,型号误差 ± 2 号为不匹配,误差 ± 1 号为一般匹配,型号误差 0 号为完全匹配。所有患者术后在同一台机器上拍摄标准的骨盆正位 X 线片。在骨盆正位片上测量下肢长度差值、双侧联合偏心距差值和双侧股骨偏心距差值。其中,下肢长度差值^[19]为手术侧髋关节小粗隆顶点到坐骨结节连线距离与非手术侧距离的差异,股骨偏心距为髋关节旋转中心到股骨中轴的距离,髋臼偏心距为旋转中心到泪滴内缘切线的距离,联合偏心距为股骨偏心距和髋臼偏心距的总和(图 6)。以上数据由 2 名独立研究人员测

量,如果误差太大,则由第 3 名研究人员再次测量。同时分析植入物大小不匹配的相关因素。评估相关因素包括性别、身体质量指数(BMI)、是否存在发育性 DDH。



注:黄线为髋臼偏心距,蓝线为股骨偏心距,黑线为下肢长度差值。

图 6 术后 X 线测量参数

1.3 统计学处理 应用 SPSS26.0 统计软件进行数据分析,使用 Ryan-Joiner 和 Shapiro-Wilk 对变量分布进行正态检验。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用配对 t 检验评估术前术后双下肢长度差值和联合偏心距差值;计数资料组间比较采用 Fisher 精确检验或 Mann-Whitney U 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者信息基本 本研究同时期排除 7 例患者,5 例为 DDH III 和 IV 型采用后外侧入路,2 例老年股骨颈骨折骨质疏松严重,股骨采用水泥假体;剩余纳入研究的 54 例患者特征如表 1 所示。

2.2 手术前后实际假体使用型号比较 AIHIP 术前规划系统在 DAA THA 中预测髋臼杯完全匹配率为 81.5%(44/54),相差 ± 1 号内为 100.0%(54/54)。股骨柄完全匹配率为 77.8%(42/54),相差 ± 1 号内为 98.1%(53/54)。

2.3 手术前后双侧联合偏移量和腿长差 X 线测量比较 手术前后联合偏心距差值比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。手术前后双下肢长度差值比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。术后双侧股骨偏心距差值呈现正态分布分布,88.9%(48/54)误差在 ± 3 mm 以内,误差超过 ± 5 mm 以上仅有 3.7%(2/54)。

2.4 影响臼杯、股骨柄准确性的因素 男女 2 组在髋臼杯和股骨柄完全匹配方面率比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。正常组和超重/肥胖组在髋臼杯和股骨柄完全匹配率方面比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。DDH 组和非 DDH 组在髋臼杯完全匹配率方面比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。DDH 组和非 DDH 组在股骨柄完全匹配率方面比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 3。

表 1 患者信息基本

项目	人数(n)	占比(%)
性别		
男	23	42.6
女	31	57.4
BMI		
体重不足	0	0
体重正常	27	50.0
超重	20	37.0
肥胖	7	13.0
侧别		
左	37	68.5
右	17	31.5
病因		
股骨头坏死	28	51.9
髋骨关节炎	5	9.3
股骨颈骨折	1	1.8
发育性 DDH	20	37.0

表 2 手术前后双侧联合偏移量和腿长差 X 线测量比较($\bar{x} \pm s$, mm)

放射学测量	手术前	手术后	t	P
联合偏心距差值	3.72 \pm 3.18	2.56 \pm 1.98	1.16	0.027
双下肢长度差值	5.61 \pm 5.00	2.93 \pm 1.77	2.68	0.001

表 3 影响臼杯、股骨柄准确性的因素[n(%)]

影响因素	n	髋臼杯完全匹配	股骨柄完全匹配
性别			
男	23	20(87.0)	18(78.3)
女	31	24(77.4)	24(77.4)
P		0.489	1.000
BMI			
正常	27	20(74.1)	21(77.8)
超重/肥胖	27	24(88.9)	21(77.8)
P		0.293	1.000
病因			
DDH	20	13(65.0)	15(75.0)
非 DDH	34	31(91.2)	27(79.4)
P		0.028	0.744

3 讨论

近年来,DAA THA 发展快速,在美国颇受欢迎^[20]。随着越来越多的外科医生采取 DAA 进行髋关节置换,三维术前规划的准确性显得尤为重要。其不仅可以恢复偏心距和下肢长度,还可以规划假体的大小和型号,尤其是股骨柄的大小,因为股骨侧是

DAA 最常见的并发症,特别是对于 DAA 的初学者来说。目前,AIHIP 在全髋关节置换中应用很多,文献报道已取得一定效果^[21-23],但多数不是 DAA。本研究主要是评估 AIHIP 在 DAA THA 中预测假体大小和髋关节生物力学重建的准确性。研究表明,AIHIP 预测股骨柄完全匹配率为 77.7%(42/54),相差±1 号内准确率为 98.1%(53/54);髋臼杯完全匹配率为 81.5%(44/54),相差±1 号内准确率为 100.0%(54/54)。另外,AIHIP 的准确性可能受到 DDH 的影响,均与患者的 BMI、性别无关。

在之前三维规划中,常用于初次全髋关节置换的术前规划软件包括 hipEOS、ZedHip 和 HipPlan。有研究报道,使用 hipEOS 规划软件,股骨柄完全匹配为 34.8%~66.0%,在一种尺寸内的精度为 91.0%~98.0%,髋臼杯完全匹配为 43.5%~73.0%,在一种尺寸内 98.0%~100.0%^[24-26]。使用 ZedHip 软件进行规划时,股骨柄完全匹配为 43.0%~58.6%,相差一个尺寸的准确性为 92.0%~94.0%,髋臼杯完全匹配为 45.0%~56.9%,相差一个尺寸的 6.2%~90.0%^[27-28]。HASSANI 等^[21]和 SARIALI 等^[29]报道了 HipPlan 软件在微创 DAA THA 中的可靠性,股骨柄完全匹配率为 100%,髋臼杯完全匹配为 94%~96%。

众所周知,股骨侧是 DAA 的高危并发症,尤其是股骨穿孔和股骨近端骨折问题^[6-7],其中一部分原因取决于软组织是否充分松解暴露,但另一个不可忽略的原因是对髓腔容积的准确评估。因此,这也解释了即使是经验丰富的外科医生也会出现股骨侧的并发症。根据作者经验,股骨柄的位置不良包括内翻、外翻和假体型号过大容易造成股骨近端骨折,尤其是股骨距骨折,这一点在使用直柄时发生率更高。本研究 54 例患者无一例出现股骨近端骨折和股骨穿孔,所有股骨柄型号误差在 2 个尺寸以内,其中股骨柄完全匹配为 77.7%(42/54),相差±1 号为 20.4%(11/54),2 个型号及以上的仅为 1.9%(1/54)。有 1 例中年男性患者假体小 2 号,术中当髓腔用试模扩髓至小 2 号时已完全压实,难以继续扩大型号,术后拍摄侧位 X 线片发现假体中远端与前方皮质接触,近中端与干骺端和后方皮质充分压配,正位片显示假体位置居中,术后当天即完全负重行走,至今随访已超过 1 年,假体位置如初,未见下沉。对于该病例出现假体过小现象,作者分析认为矢状位上假体位置有点倾斜导致在扩髓过程中遇到髓腔皮质阻力过大造成的,这可能与开髓方向不够偏后、偏外有关,但是同时应注意避免开髓方向过度向外,以防止大转子骨折。另外,有 11 个患者假体大小相差 1 号,其中 10 个假体偏小 1 号。正如 FABRIZIO 等^[8]研究报道,与传统后路组相比,

DAA 组股骨柄小于预期大小 1 个号及以上的出现频率高达 54.72%,高于后路的 16.95%,其中柄小于预期大小至少 2 个号及以上的出现率为 24.53%,高于后路组的 3.39%,术后 X 线也显示 DAA 组假体根管充填确实低于后路组。本研究结果与文献报道相近,整体型号偏小,其中可能有手术技术难度和考虑股骨骨折风险而倾向小一号的因素,但其主要原因是 AIHIP 在智能规划方案时不能准确识别髓腔松质骨的密度,其对最佳的柄大小有重要影响,尤其是对于 Corail 这样依赖紧实-拉削技术的全涂层直柄。另外,假体内翻或者外翻都可能导致选择较小的假体。总之,所有规划中只有一个假体是比预期偏大一号,表明选择较大假体是非常少见,这大大降低了术中因使用过大型号试模扩髓导致股骨骨折的风险。同样,如果比预期型号小于 2 个尺寸及以上的试模已经显示出更紧密的髓腔压配作用,则应该怀疑存在技术问题(例如开口位置不够偏后、偏外),仔细评估柄的位置通常会提示内翻,这在本研究的所有情况下都可以解决。

与 SARIALI 等^[29]报道相似,本研究所有白杯的大小都在一个尺寸内,完全匹配为 81.5%(44/54)。通过多因素研究发现,髋臼发育不良是影响 AIHIP 白杯准确性的独立因素,与 BMI 和性别无关。本研究结果显示,DDH 组完全匹配为 65.0%(13/20)明显低于非 DDH 组的 91.2%(3/34),差异有统计学意义($P=0.028$)。理论上,术前生物型白杯大小的确定是基于 2 个稳定性来确定的,一个是白杯与髋臼前壁、后壁和白顶 3 点紧密压配作用提供的初始稳定性,另一个是白杯表面与骨长入结合提供的远期稳定性。由于髋臼形态的发育不良,白底相对较浅,尤其是髋臼真实边缘有骨赘形成时,会严重影响术者对磨锉中心位置和前后壁骨量的判定。因此,为了使白杯表面有充足骨量覆盖,往往会选择偏大的白杯型号。且发育不良的髋臼由于外侧和前方覆盖不足,局部应力异常增加,导致髋臼骨硬化变得非常坚硬,术中磨锉时会发现这部分骨质渗血相对较少。为了进一步磨除硬化骨使骨面渗血均匀,以便生物杯与骨长入更坚固,也会倾向于选择大的白杯型号。因此,本研究 DDH 组中 7 个相差 1 个尺寸的患者中有 6 个是偏大的。这些因素均是 AIHIP 术前规划难以评估,需要结合术中判断。在术中可以通过充分的髋臼扩孔来估计杯子的正确位置和大小,并且取决于骨质量、个人主观感觉和经验。总之,完全匹配的尺寸(±0 号)很难实现,因为除假体的适当尺寸之外,主刀医生还必须考虑其他因素,如腿长和偏移量的恢复。因此,白杯大小在±1 号内是足够的。

传统的仰卧位 DAA 需要特殊的手术牵引床,这无疑增加了手术成本,而侧卧位 DAA 只需要普通的

手术床即可完成,术中助手通过内收、后伸和外旋患肢来充分显露股骨。且从侧卧位 PLA 到仰卧位 DAA 体位的改变让许多外科医生对髋臼和股骨的空间结构把握不准,这影响了假体置入的准确性。因此,与仰卧位比较,熟悉、丰富的侧卧位经验能够更易于暴露髋臼和股骨解剖结构,从而减少 DAA 学习曲线,降低并发症发生率。但正如之前的研究^[18,30],侧卧位 DAA 术中无法像仰卧位那样直接评估肢体长度的差异,这可能会造成肢体的不等长。本研究结果显示,双下肢长度差值为 (2.93 ± 1.77) mm(范围 $-5 \sim 8$ mm),其中 98.1%(53/54)的患者腿长差异在 6 mm 内。通常情况下,7 mm 是减少下肢不等长残余不适的合理阈值^[31-32]。HAO 等^[33]对 818 例 1 009 个髋关节接受初次 THA 的患者进行了回顾性调查,发现中国患者对 THA 后的满意率为 91.9%,其中疼痛、肌肉无力和下肢长度差值是影响行走不满意的主要因素。因此,腿长的恢复和偏心距的解剖重建是 THA 成功的重要参数。HU 等^[34]报道股骨偏心距增加 2.3~2.9 mm 导致外展肌力臂增加的同时,能够保持伸肌、内收肌和屈肌力臂减少不超过 5.0%,这对于恢复 THA 患者的正常髋部肌肉功能是至关重要的。KEVIN 等^[35]研究发现,与恢复(5 mm 内)或增加($> +5$ mm)股骨偏心距的患者比较,股骨偏心距减少超过 5 mm 的患者 WOMAC 评分更低。LITTLE 等^[36]认为股骨偏心距的重建应控制在 5 mm 以内,这样有利于减少聚乙烯内衬的磨损。其他研究者认为,6 mm 以内的股骨偏心距变化并不会改变行走步态^[37]。本研究与之前报道结果相似^[38],术后股骨偏心距的变化呈现近似高斯分布,88.9%(48/54)误差在 ± 3 mm 以内,96.3%(52/54)误差在 ± 5 mm 内,这表明股骨偏心距的重建有良好的准确性和可重复性。此外,在研究初次 THA 后髋关节参数恢复时,联合偏心距也是一个重要指标,因为还考虑了髋臼杯的位置。BIGGI 等^[39]研究认为,联合偏心距的恢复应在 ± 5 mm 内进行,这样能够获得更好的临床评分、臀肌力量和步态动力学。本研究结果显示,术后联合偏心距的规划精度为 (2.56 ± 1.98) mm。

AIHIP 系统优势在于其是一个基于 CT 数据进行深度学习的自动规划软件,操作简单,只需数分钟即可得出结果。在传统意义上,知道如何使用 3D 专业规划软件并不能转化为成功的术前规划,因为术前计划的一个必要步骤是对骨盆和股骨解剖标志的提取,这对操作人员需要专门的培训,且学习曲线较长,学习过程中容易造成人为的误差偏倚,尤其是对像髋臼巨大缺损复杂的病例。

本研究也有局限性:第一,本研究均由同一名高年资医师完成,对其他年资医师,是否具有同等效果,

尚不得知。因此应进行多中心试验,以便研究不同年资医生是否能达到相同效果。第二,目前仅对一种柄和臼杯进行研究,还应研究其他长柄及短柄的设计研究,观察柄的形态是否会影响其准确性和可重复性。第三,术中调整可能是术前模板和术后影像学测量之间偏差的原因,这说明 AIHIP 在捕捉软组织张力或骨质量方面的局限性。最后,使用平片评估下肢长度差值、联合偏心距和股骨偏心距可能是不准确性,尽管 X 线片一直被用作骨盆生物力学参数测量的“金标准”。

AIHIP 三维系统在 DAA THA 术前规划中有着较高的准确性,其能够为术者提供参考,从而降低术中股骨骨折、穿孔和术后下肢长度差值、肌肉无力等并发症的发生。另外,DDH 影响着 AIHIP 系统髋臼侧的准确性,这需要 AIHIP 通过深度学习不断改进。

参考文献

- [1] LEARMONTH I D, YOUNG C, RORABECK C. The operation of the century: total hip replacement[J]. *Lancet*, 2007, 370(9597): 1508-1519.
- [2] HOJER KARLSEN A P, GEISLER A, PETERSEN P L, et al. Postoperative pain treatment after total hip arthroplasty: a systematic review[J]. *Pain*, 2015, 156(1): 8-30.
- [3] PATEL N N, SHAH J A, ERENS G A. Current trends in clinical practice for the direct anterior approach total hip arthroplasty[J]. *J Arthroplasty*, 2019, 34(9): 1987-1993.
- [4] ABDEL M P, BERRY D J. Current practice trends in primary hip and knee arthroplasties among members of the American association of hip and knee surgeons: a Long-Term update[J]. *J Arthroplasty*, 2019, 34(Suppl 7): S24-S27.
- [5] WOOLSON S T. A survey of Hip Society surgeons concerning the direct anterior approach total hip arthroplasty [J]. *Bone Joint J*, 2020, 10(1): 57-61.
- [6] LEE G C, MARCONI D. Complications following direct anterior hip procedures: costs to both patients and surgeons[J]. *J Arthroplasty*, 2015, 30(1): 98-101.
- [7] JEWETT B A, COLLIS D K. High complication rate with anterior total hip arthroplasties on a fracture table[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2011, 469(2): 503-507.
- [8] RIVERA F, LEONARDI F, EVANGELISTA A, et al. Risk of stem undersizing with direct anterior approach for total hip arthroplasty[J]. *Hip Int*, 2016, 26(3): 249-253.
- [9] ALDINGER P R, JUNG A W, PRITSCH M, et al. Un cemented grit-blasted straight tapered Titanium stems in patients younger than fifty-five years of age. Fifteen to twenty-year results[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2009, 91(6): 1432-1439.
- [10] MAHMOOD S S, SEBASTIAN S M, CRNALIC S, et al. Association between changes in global femoral offset after total hip arthroplasty and function, quality of life, and

- abductor muscle strength[J]. *Acta Orthop*, 2016, 87(1): 36-41.
- [11] GONZALEZ DELLA VALLE A, COMBA F, TAVERAS N, et al. The utility and precision of analogue and digital preoperative planning for total hip arthroplasty[J]. *Int Orthop*, 2008, 32(3): 289-294.
- [12] CIDAMBI K R, BARNETT S L, MALLETT P R, et al. Impact of femoral stem design on failure after anterior approach total hip arthroplasty[J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(3): 800-804.
- [13] SARIALI E, CATONNE Y, PASCAL-MOUSSELLARD H. Three-dimensional planning-guided total hip arthroplasty through a minimally invasive direct anterior approach. Clinical outcomes at five years' follow-up[J]. *Int Orthop*, 2017, 41(4): 699-705.
- [14] TAMAKI T, JONISHI K, MIURA Y, et al. Cementless Tapered-Wedge stem length affects the risk of periprosthetic femoral fractures in direct anterior total hip arthroplasty[J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(3): 805-809.
- [15] WU D, LIU X Y, ZHANG Y L, et al. Research and application of artificial intelligence based three-dimensional preoperative planning system for total hip arthroplasty [J]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*, 2020, 34(9): 1077-1084.
- [16] HU F, SHANG X F, ZHANG X Z, et al. Direct anterior approach in lateral position achieves superior cup orientation in total hip arthroplasty: a radiological comparative study of two consecutive series[J]. *Int Orthop*, 2020, 44(3): 453-459.
- [17] SUN G J, YIN Y, YE Y J, et al. Risk factors for femoral fracture in lateral decubitus direct anterior approach total hip arthroplasty using conventional stems; a retrospective analysis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1): 98-103.
- [18] CHEN M, LUO Z L, JI X F, et al. Direct anterior approach for total hip arthroplasty in the lateral decubitus position; our experiences and early results[J]. *J Arthroplasty*, 2017, 32(1): 131-138.
- [19] PENG H M, FENG B, CHEN X, et al. Usefulness of a simple preoperative planning technique using plain x-rays for direct anterior approach for total hip arthroplasty[J]. *Orthop Surg*, 2021, 13(1): 145-152.
- [20] SHOFOLUWE A I, NAVEEN N B, INABATHULA A, et al. Internet promotion of direct anterior approach total hip arthroplasty by members of the American association of hip and knee surgeons [J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(1): 167-170.
- [21] HASSANI H, CHERIX S, EK E T, et al. Comparisons of preoperative three-dimensional planning and surgical Reconstruction in primary cementless total hip arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2014, 29(6): 1273-1277.
- [22] INOUE D, KABATA T, MAEDA T, et al. Value of computed tomography-based three-dimensional surgical preoperative planning software in total hip arthroplasty with developmental dysplasia of the hip [J]. *J Orthop Sci*, 2015, 20(2): 340-346.
- [23] OGAWA T K H, TAKAO M, SAKAI T K H, et al. Factors related to disagreement in implant size between preoperative CT-based planning and the actual implants used intraoperatively for total hip arthroplasty[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2018, 13(4): 551-562.
- [24] KNAFO Y, HOUFANI F, ZAHARIA B, et al. Value of 3D preoperative planning for primary total hip arthroplasty based on biplanar weightbearing radiographs[J]. *Biomed Res Int*, 2019, 2019(1): 1932191.
- [25] BULLER L T, MCLAWHORN A S, MARATT J D, et al. Eos imaging is accurate and reproducible for preoperative total hip arthroplasty templating[J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36(3): 1143-1148.
- [26] BRENNEIS M, BRAUN S, VAN DRONGELEN S, et al. Accuracy of preoperative templating in total hip arthroplasty with special focus on stem morphology: a randomized comparison between common digital and three-dimensional planning using biplanar radiographs[J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36(3): 1149-1155.
- [27] WAKO Y, NAKAMURA J, MIURA M, et al. Interobserver and intraobserver reliability of Three-Dimensional preoperative planning software in total hip arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(2): 601-607.
- [28] SCHIFFNER E, LATZ D, JUNGBLUTH P, et al. Is computerised 3D templating more accurate than 2D templating to predict size of components in primary total hip arthroplasty? [J]. *Hip Int*, 2019, 29(3): 270-275.
- [29] SARIALI E, MAUPRIVEZ R, KHIAMI F, et al. Accuracy of the preoperative planning for cementless total hip arthroplasty. A randomised comparison between three-dimensional computerised planning and conventional templating[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2012, 98(2): 151-158.
- [30] MELMAN W P R, MOLLEN B P, KOLLEN B J, et al. First experiences with the direct anterior approach in lateral decubitus position; learning curve and 1 year complication rate[J]. *Hip Int*, 2015, 25(3): 251-257.
- [31] FUJITA K J, KABATA T, KAJINO Y, et al. Optimizing leg length correction in total hip arthroplasty[J]. *Int Orthop*, 2020, 44(3): 437-443.
- [32] ADAMS C T, O'LEARY R E, GHEEWALA R A, et al. Evolving patient perception of limb length discrepancy following total hip arthroplasty[J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36(7S): S374-S379.
- [33] TANG H, DU H, TANG Q H, et al. Chinese patients' satisfaction with total hip arthroplasty: what is important and dissatisfactory? [J]. *J Arthroplasty*, 2014, 29(12): 2245-2250.

- 20.
- [8] SEKHAR D S, BISWAS R N, SARDAR T P, et al. An insight to the internal quality control of blood components separated using the latest whole blood collection and processing systems; experience from a tertiary care hospital blood transfusion service in Eastern India[J]. *Asian J Transfus Sci*, 2022, 16(2):194-200.
- [9] 梁若鸽, 梁燕丽, 邓金莲, 等. 全自动全血成分分离机白膜法在制备浓缩血小板中的应用效果[J]. *中国当代医药*, 2021, 28(36):186-189.
- [10] 中国国家标准化管理委员会. 献血者健康检查要求: GB 18467-2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011:2-6.
- [11] 中国国家标准化管理委员会. 全血及成分血质量要求: GB18469-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012:2-9.
- [12] LU F Q, KANG W, PENG Y, et al. Characterization of blood components separated from donated whole blood after an overnight holding at room temperature with the buffy coat method[J]. *Transfusion(Paris)*, 2011, 51(10): 2199-2207.
- [13] 洪纓. 浓缩血小板的制备工艺及输注安全性[J]. *中国输血杂志*, 2018, 31(9):1086-1090.
- [14] 陈小光. 不同离心条件、血液规格对手工制备浓缩血小板的影响分析[J]. *中国医药科学*, 2020, 10(4):287-290.
- [15] 李娇, 李晓丰, 李剑平. 异体浓缩血小板治疗慢性难愈性创面的影响因素[J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(13): 2114-2119.
- [16] 中国医学装备协会. 去白细胞混合浓缩血小板的制备和质量控制: ME 11-2020 [S]. 北京: 中国医学装备协会, 2020:11-15.
- [17] DENG X Y, WU X M, ZHAO Y, et al. Improved BC method of Compomat G4 for expression of BCs twice from whole blood in top and top bags[J]. *Int J Hematol*, 2011, 93(5):660-663.
- [18] 张雪松, 谭菲, 王惟. 自动法和手工法制备去白细胞悬浮红细胞和血浆的比较[J]. *医疗卫生装备*, 2017, 38(4): 113-116.
- [19] BONTEKOE I J, MEER V D, MAST G, et al. Separation of centrifuged whole blood and pooled buffy coats using the new CompoMat G5: 3 years experience[J]. *Vox Sang*, 2014, 107(2):140-147.
- [20] 王承琳, 王丽鸽, 崔靖怡, 等. 制备浓缩血小板分离白膜层的分离机参数优化[J]. *临床血液学杂志*, 2025, 38(4): 283-286.
- [21] 杜红梅, 何天辉, 陈超华, 等. 增加血浆含量对血小板保存质量的影响[J]. *中国输血杂志*, 2017, 30(2):132-134.
- [22] MITRA S. Protein adsorption on biomaterial surfaces; subsequent conformational and biological consequences-a review [J]. *J Surf Sci Technol*, 2020, 32(2):221-216.
- [23] SPIJKER H T, GRAAFF P W, BUSSCHER H J, et al. On the influence of flow conditions and wettability on blood material interactions [J]. *Biomaterials*, 2003, 24(26):4717-4727.
- [24] BOEHM R D, SKOOG S A, DIAZ-DIESTRA D M, et al. Influence of Titanium nanoscale surface roughness on fibrinogen and albumin protein adsorption kinetics and platelet responses[J]. *J Biomed Mater Res A*, 2023, 112(3):373-389.
- [25] KIEFFER N, PHILLIPS D R. Platelet membrane glycoproteins: functions in cellular interactions[J]. *Annu Rev Cell Biol*, 1990, 16(2):329-357.
- [26] NONCKREMAN C J, SANDRINE F, ROUXHET P G, et al. Competitive adsorption of fibrinogen and albumin and blood platelet adhesion on surfaces modified with nanoparticles and/or PEO[J]. *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, 2010, 77(2):139-149.
- [27] 李津, 吴宪彬, 康美艳, 等. 不同尺寸白膜袋制备浓缩血小板的质量分析及其影响因素[J]. *实用临床医学: 江西*, 2022, 23(4):77-79.
- [28] 肖达玲, 杨坤, 韦家寿, 等. 调整优化采血联袋后制备浓缩血小板的质量分析[J]. *中国输血杂志*, 2021, 34(5):535-537.
- [29] 罗曼华, 康美艳, 李津, 等. 改良白膜层离心装罐方法提高浓缩血小板质量的效果观察[J]. *中国输血杂志*, 2023, 36(2):193-195.
- [30] 王承琳, 王丽鸽, 崔靖怡, 等. 浓缩血小板离心参数与装罐方法的标准化研究[J]. *中国输血杂志*, 2020, 33(9):972-974.

(收稿日期:2025-08-21 修回日期:2025-11-23)

(上接第 388 页)

- [34] HU X J, ZHENG N, CHEN Y S, et al. Optimizing the femoral offset for restoring physiological hip muscle function in patients with total hip arthroplasty[J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2021, 9(1):645019.
- [35] CASSIDY K A, NOTICEWALA M S, MACAULAY W, et al. Effect of femoral offset on pain and function after total hip arthroplasty[J]. *J Arthroplasty*, 2012, 27(10): 1863-1869.
- [36] LITTLE N J, BUSCH C A, GALLAGHER J A, et al. Acetabular polyethylene wear and acetabular inclination and femoral offset[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2009, 467(11):2895-2900.
- [37] SARIALI E, KLOUCHE S, MOUTTET A, et al. The effect of femoral offset modification on gait after total hip arthroplasty[J]. *Acta Orthop*, 2014, 85(2):123-127.
- [38] DASTANE M, DORR L D, TARWALA R, et al. Hip offset in total hip arthroplasty: quantitative measurement with navigation[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2011, 469(2): 429-436.
- [39] BIGGI S, BIANCI L, TEDINO R, et al. Restoring global offset and lower limb length with a 3 offset option double-tapered stem[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21(1):646.

(收稿日期:2025-11-09 修回日期:2025-12-29)