

· 临床研究 ·

基于数字化分析全髋关节置换术后股骨偏心距及旋转中心与下肢不等长的相关性研究

李茂勇¹, 曹巍¹, 沙培鑫¹, 孙旭东¹, 黄仕元¹, 李宽新¹, 张衡^{1,2}

(1. 蚌埠医学院第一附属医院骨科组织移植 安徽省重点实验室 蚌埠医学院, 安徽 蚌埠 233004; 2. 东部战区总医院骨科, 江苏 南京 210000)

【摘要】 目的: 使用 CT 联合 Mimics 软件测量全髋关节置换术(total hip arthroplasty, THA)后股骨偏心距(femoral offset, FO)、旋转中心高度(rotation center height, RCH)与双下肢长度差(lower leg length discrepancy, LLD), 并探讨 THA 后 FO、RCH 与 LLD 的关系。方法: 回顾性分析 2020 年 10 月至 2022 年 6 月符合标准的 40 例行单侧 THA 的患者, 其中男 21 例, 女 19 例; 年龄 30~81(58.90±14.13)岁; 身体质量指数(body mass index, BMI)为 17.3~31.5(25.3±3.4) kg·m⁻²; 左侧 18 例, 右侧 22 例。诊断为股骨头坏死 30 例(Ficat IV 期), 髋关节骨性关节炎 2 例(Tönnis III 期), 发育性髋关节脱位合并终末期骨关节炎 2 例(Crowe III 期), 股骨颈骨折 6 例(Garden IV 期)。术前、术后拍摄骨盆 CT 三维重建, 经 Mimics 软件处理后建立三维重建模型, 在模型上对 FO、RCH、LLD 进行测量。结果: 术后双侧 FO 差值与 LLD 呈正相关性($r=0.744, P<0.001$); 将 FO 重建组与偏心距未重建组进行卡方检验得出: FO 重建组下肢等长率高于 FO 未重建组($\chi^2=6.320, P=0.012$)。术后双侧 RCH 差值与 LLD 呈负相关性($r=-0.877, P<0.001$); 双侧 FO 差值及双侧 RCH 差值与术后 LLD 之间存在线性关系, 且满足线性回归方程: 术后 LLD=0.038x-0.099y+0.257(x 为术后双侧 FO 差值; y 为术后双侧 RCH 差值; 单位为 cm), $F=77.993, R^2=0.808, P=0.009$ 。结论: THA 术后 LLD 随着 FO 的增大而增大, 随着 RCH 增大而减小; 重建 FO 更易获得下肢等长效果。THA 术后双侧 FO 差值及双侧 RCH 差值与 LLD 之间存在线性关系, 回归方程可为判断 LLD 提供一种理论参考。

【关键词】 全髋关节置换术; 股骨偏心距; 旋转中心高度; 下肢不等长; 三维重建

中图分类号: R683.3

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20230313

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Correlation between femoral offset, rotation center and leg length discrepancy after total hip arthroplasty based on digital analysis**

Li Mao-yong¹, CAO Wei¹, SHA Pei-xin¹, SUN Xu-dong¹, HUANG Shi-yuan¹, LI Kuan-xin¹, ZHANG Heng^{1,2} (1. Orthopaedic tissue Transplantation in the First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu Medical College, Bengbu 233004, Anhui, China; 2. Department of Orthopaedics, Eastern Theater General Hospital, Nanjing 210000, Jiangsu, China)

ABSTRACT **Objective** CT scans combined with Mimics software were used to measure femoral offset (FO), rotation center height (RCH) and lower leg length discrepancy (LLD) following total hip arthroplasty (THA), and the relationship between FO, RCH and LLD after THA is discussed. **Methods** Retrospective analysis was performed on 40 patients with unilateral THA who met standard cases from October 2020 to June 2022. There were 21 males and 19 females, 18 patients on the left side and 22 patients on the right side, aged range from 30 to 81 years old, with an average age of (58.90 ± 14.13) years old, BMI ranged from 17.3 to 31.5 kg·m⁻² with an average of (25.3 ± 3.4) kg·m⁻². There were 30 cases of femoral head necrosis (Ficat type IV), 2 cases of hip osteoarthritis (Tönnis type III), 2 cases of developmental hip dislocation combined with end-stage osteoarthritis (Crowe type III), and 6 cases of femoral neck fracture (Garden type IV). Three-dimensional CT reconstruction of pelvis was taken preoperative and postoperative, and three-dimensional reconstruction model was established after processing by Mimics software. FO, RCH and LLD were measured on the model. The criteria for FO reconstruction were as follows: postoperative bilateral FO difference less than 5 mm; the standard for equal length of both lower limbs was as follows: postoperative LLD difference less than 5 mm. **Results** Bilateral FO difference was positively correlated with LLD ($r=0.744, P<0.001$). Chi-square test was performed between the FO reconstructed group and the non-reconstructed eccentricity group; The results showed that the isometric ratio of lower limbs in the FO reconstructed group was significantly higher than that in the FO reconstructed group ($\chi^2=6.320, P=0.012$). The bilateral RCH difference was significantly negatively correlated with LLD ($r=-0.877, P<0.001$).

通讯作者: 张衡 E-mail: bygkzhangheng@163.com

Corresponding author: ZHANG Heng E-mail: bygkzhangheng@163.com

There is a linear relationship between bilateral FO difference and bilateral RCH difference and postoperative LLD, and the linear regression equation is satisfied: $\text{postoperative LLD} = 0.038x - 0.099y + 0.257$ (x : postoperative bilateral FO difference, y : postoperative bilateral RCH difference; Unit: cm), $F = 77.993$, $R^2 = 0.808$, $P = 0.009$. **Conclusion** After THA, LLD increased with the increase of FO and decreased with the increase of RCH. The effect of lower limb isometric length can be obtained more easily by reconstruction of FO. There is a linear relationship between the bilateral FO difference and the bilateral RCH difference after THA and LLD, and the regression equation can provide a theoretical reference for judging LLD.

KEYWORDS Total hip arthroplasty; Femoral offset; Rotation center height; Leg length discrepancy; 3D reconstruction

目前,人工全髋置换术(total hip arthroplasty, THA)已经普遍应用于临床中治疗各种终末期髋关节疾病,缓解疼痛,改善功能等^[1-2]。下肢不等长(leg length discrepancy, LLD)为 THA 术后的并发症之一, KAYANI 等^[3]指出首次 THA 术后 LLD 的发生率 1%~30%。严重的 LLD 可造成步态异常、腰背部疼痛、髋关节脱位、坐骨神经痛、髋关节松动及早期翻修等问题^[4]。虽然随着手术技术的成熟,LLD 的发生率较前有所改善,但临床中仍然存在^[5-7]。目前,THA 应用三维 CT 联合 Mimics 软件的数字化测量技术文献中报道较少,本研究分析 40 例首次接受单侧 THA 患者,建立三维重建模型,定位并测量患者股骨偏心距(femoral offset, FO)、旋转中心高度(rotation center height, RCH)及 LLD 等相关参数,分析 FO 和 RCH 与 LLD 之间的相关性。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:(1)股骨头坏死(Ficat 分期Ⅳ期^[8])。 (2)髋骨关节炎的非髋部骨折(Tönnis 3 期^[9])。 (3)股骨颈骨折(Garden III-IV 型^[10])。 (4)发育性髋关节脱位继发髋骨关节炎(Crowe I-IV 型)等。 (5)单侧 THA 病例,健侧正常,行初次 THA,无结构性脊柱侧弯或骨盆倾斜,有完整的影像学资料。排除标准:(1)年龄<18 岁的先天性髋关节发育不良(developmental dysplasia of hip, DDH)患者。 (2)股骨近端及髋臼既往有骨折或手术史导致局部解剖异常者。 (3)骨盆及双下肢存在畸形及发育异常者。 (4)累及髋关节的骨肿瘤。 (5)不能配合研究和随访的患者。

1.2 一般资料

纳入 2020 年 10 月至 2022 年 6 月符合标准 40 例行单侧 THA 的患者,手术均为同一治疗者施行,其中男 21 例,女 19 例;年龄 30~81 (58.90±14.13)岁;身体质量指数(body mass index, BMI)为 17.3~31.5 (25.3±3.4) kg·m⁻²;其中股骨头坏死 30 例(左侧 16 例,右侧 14 例),髋关节骨性关节炎 2 例(左侧 1 例,右侧 1 例),DDH 2 例(右侧 2 例),股骨颈骨折 6 例(左侧 1 例,右侧 5 例)。手术前后拍摄骨盆三维 CT。并用 Mimics 软件(Materialise's interactive medical image control system, 比利时 Materialise

公司)建立三维重建模型,分别测量 FO、RCH、LLD 等相关参数,统计并分析其关系。本研究已获得蚌埠医学院第一附属医院医学研究伦理委员会的批准(批准号:2023YJS038)。

1.3 手术方法

本研究患者单侧 THA 由同一治疗者完成手术,均采用后外侧入路。麻醉成功后,患者取侧卧位,体位架固定。常规碘伏消毒手术野皮肤,铺无菌巾单,依次切开皮肤、皮下组织、阔筋膜,显露大转子,于大转子后方分离臀大肌、臀中肌,显露并切断外旋肌群,暴露小转子及关节囊,切开后侧关节囊。屈曲内旋髋关节暴露股骨头,使股骨头脱位,清除股骨头基底纤维组织,在小转子上方处锯断股骨颈,取出股骨头,清理髋臼周围增生骨质、纤维组织等。按外展 40°~45°,前倾 10°~15°逐级挫磨髋臼,达髋臼白底,并见软骨下骨广泛渗血,测试髋臼试模大小、方向良好后以外翻 40°~45°、前倾 10°~15°安装髋臼假体,打入 2 枚螺钉固定,放置内衬。显露股骨颈截面,用开口器凿出中心骨质,用髓腔挫按前倾 10°~15°逐级扩髓,冲洗吸净髓腔骨屑,安装试模并复位,活动髋关节屈曲、外展、外旋不受限,内旋 45°,松紧度合适后取出试模,以前倾 10°~15°放置股骨柄假体,再安装股骨头假体,复位髋关节,行 Shuck 试验、Drop-kick 试验等,髋关节活动度正常,稳定性好,放置引流并逐级关闭切口。

1.4 CT 拍摄及三维重建模型

CT 影像的获取:患者平卧在 CT 检查床上,双下肢伸直,64 排螺旋 CT 机(GE 公司,美国)轴向扫描。扫描参数:电压 120 kV,电流 350 mA,层厚 0.625 mm,矩阵 512×512,扫描范围包括髂嵴最上端至股骨峡部,连续扫描后取得患者初步 CT 影像。并以 Dicom 格式存储并导入 Mimics 21.0 软件,通过软件对 CT 图像进行编辑选择、删减赘余、图像拟合、分割提取等处理,最终得到初步三维重建模型。见图 1。

1.5 数据测量方法

在 Mimics 21.0 软件中重建出患者骨盆三维模型后,分别测量 FO、RCH、LLD 等相关参数。

1.5.1 股骨偏心距 以股骨头顶部为球面拟合球形,并获得球心坐标及半径。获取球心即为股骨头

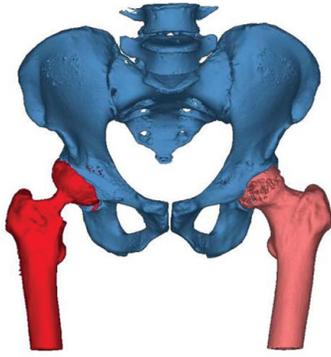


图 1 CT 图像导入 Mimics 21.0, 经处理后得到骨盆重建模型
Fig.1 CT images were imported into Mimics21.0, and the reconstructed pelvic model was obtained after processing

旋转中心(图 2)。从横断位股骨近端髓腔中每个层面拟合一个圆, 并获得圆心坐标, 层面选择在髓腔峡部到小转子中点上方 20 mm 处, 然后诸多圆心拟合形成一条线, 即为股骨干轴线(图 3)。

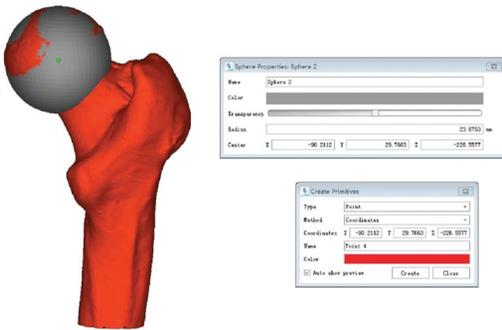


图 2 拟合球心法确定股骨头旋转中心位置
Fig.2 Fitting spherocentric method to determine the position of femoral head rotation center

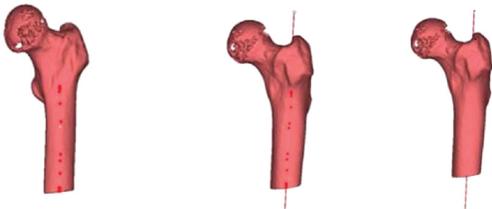
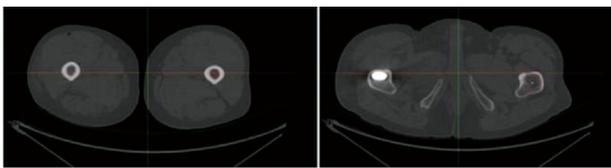


图 3 股骨干轴线在模型中的定位
Fig.3 Positioning of the femoral shaft axis in the model

已知股骨头旋转中心坐标和股骨干轴线的位置, 通过股骨头旋转中心和股骨干轴线建立三维空间坐标系, 并将股骨头旋转中心及股骨干轴线平移至坐标轴上, 再通过坐标运算得出 FO(图 4)。

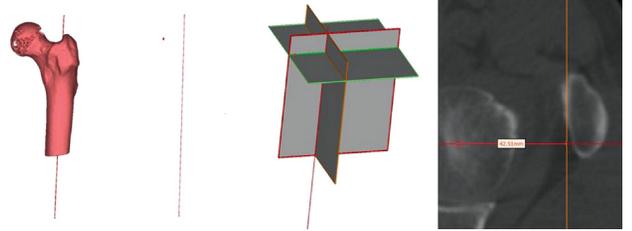


图 4 FO 在模型中的测量方式
Fig.4 FO measured in the model

1.5.2 旋转中心高度 RCH 是指髋关节旋转中心到双侧泪滴最低点连线的垂直距离。以髋臼窝的月状面为球面拟合成球形, 并获得球心坐标及半径。获取球心即为髋关节旋转中心(图 5)。

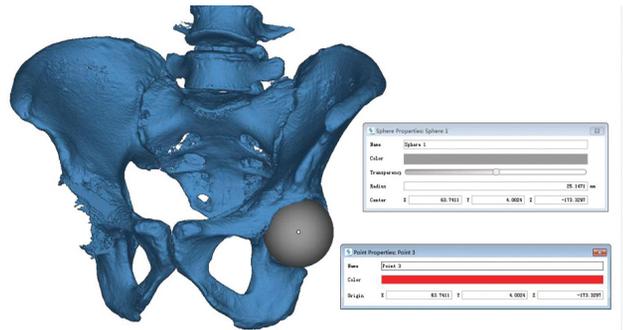


图 5 拟合球心法确定髋臼旋转中心的位置
Fig.5 Fitting spherocentric method to determine the position of the acetabulum rotation center

从冠状位中标记双侧泪滴最低点位置, 获取坐标, 并以这两点坐标做直线, 即双侧泪滴下缘连线(图 6)。已知髋关节旋转中心坐标和双侧泪滴下缘连线的位置, 通过髋关节旋转中心和双侧泪滴下缘连线建立三维空间坐标系, 并将髋关节旋转中心及双侧泪滴下缘连线平移至坐标轴上, 再通过坐标运算得出 RCH(图 7)。

1.5.3 双下肢长度差 将 CT 图像矢状面从中立位平移至小转子平面, 平移过程中, 第 1 个出现部分小转子图像即为小转子顶点(图 8), 标记该顶点, 并获取该顶点坐标。已知双侧泪滴下缘连线及小转子顶点, 建立三维空间坐标系, 将双侧泪滴下缘连线及小转子顶点平移至坐标轴上, 再通过坐标运算得出距离(图 9)。同理测量出对侧小转子顶点到双侧泪滴下缘连线距离, 患侧距离与健侧距离之差即为 LLD。

1.6 统计学处理

使用 SPSS25.0 软件进行统计学分析。年龄、BMI 等定量资料数据使用均数±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。将 FO、RCH 分为等长组 $LLD \leq 5 \text{ mm}$, 不等长组 $LLD > 5 \text{ mm}$ 组, 组间比较采用 χ^2 检验。再将 FO、RCH 分别

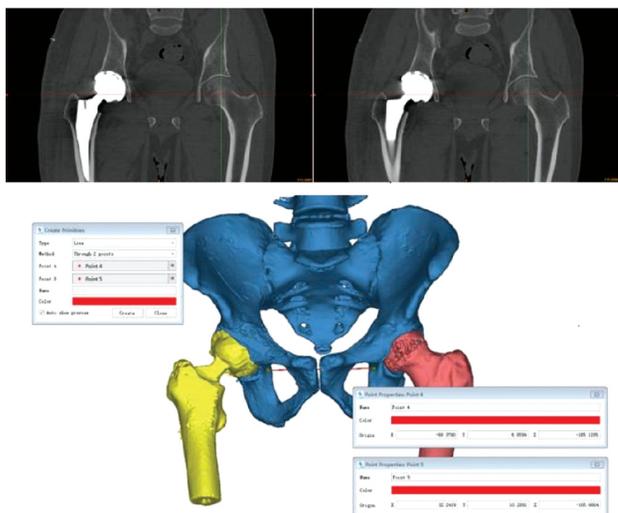


图 6 泪滴下缘连线在模型中的定位
Fig.6 Location of lower tear drop line in the model

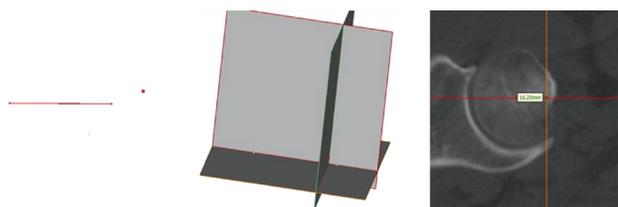


图 7 旋转中心高度在模型中的测量方式
Fig.7 The height of the center of rotation is measured in the model

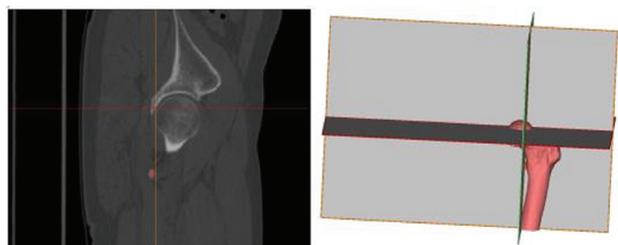


图 8 小转子顶点在模型中的定位
Fig.8 Positioning of the petrochanter apex in the model

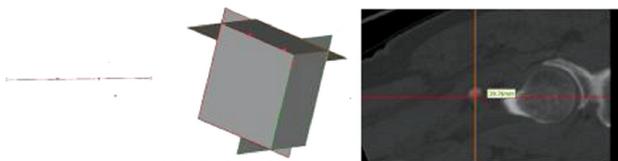


图 9 LLD 在模型中的测量方式
Fig.9 LLD measurements in the model

与 LLD 进行相关性分析,FO、RCH 与 LLD 进行线性回归分析, $R^2>0.3$ 。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 FO 与 LLD 的关系

将术后双侧 FO 差值与 LLD 进行 Pearson 相关

性分析后得出：术后双侧 FO 差值与 LLD 呈显著正相关 ($r=0.744, P<0.001$)。术后 LLD 分为等长组 ($LLD \leq 5 \text{ mm}$) 及不等长组 ($LLD > 5 \text{ mm}$)，将 FO 是否重建^[12-13]与下肢是否等长进行卡方检验得出：FO 重建组下肢等长 12 例，不等长 7 例；FO 未重建组等长 5 例，不等长 16 例，两组比较差异有统计学意义 ($\chi^2=6.320, P=0.012$)。

2.2 RCH 与 LLD 的关系

将术后双侧 RCH 差值与 LLD 进行 Pearson 相关性分析后得出：术后双侧 RCH 差值与 LLD 呈显著负相关 ($r=-0.877, P<0.001$)。

2.3 FO、RCH 与 LLD 存在线性关系

将术后双侧 FO 差值与术后双侧 RCH 差值与术后 LLD 进行线性回归统计分析得出线性回归方程：术后 $LLD=0.038x-0.099y+0.257$ ，其中 x 为术后双侧 FO 差值， y 为术后双侧 RCH 差值， $F=77.993, R^2=0.808, P=0.009$ ，单位为 cm 。见图 10、表 1。

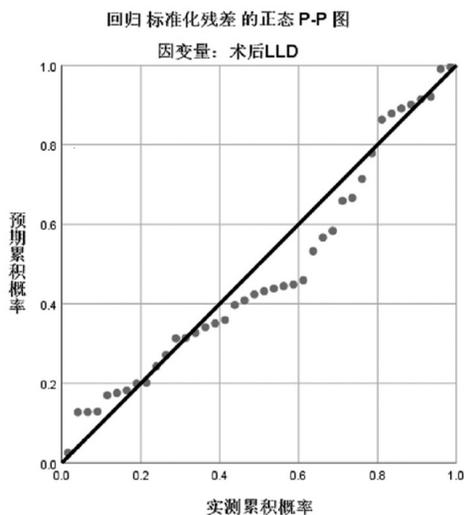


图 10 FO、RCH 与 LLD 的线性回归方程图
Fig.10 Linear regression equation diagram of FO, RCH and LLD

3 讨论

3.1 CT 联合数字骨科软件测量方式的优势

对于 FO、RCH 与 LLD 的测量，现在临床中广泛应用的是 X 线测量法。虽然临床中操作简单，但受摄片角度、患者体位等因素影响较大。CT 联合软件的数字化测量能很大程度上降低视图偏差和测量误差，测量结果的精确度较 X 线测量法更高^[14]。AUGUSTINE 等^[15]在一项对 100 具骨盆标本的研究中发现 CT 图像所测量的数值与真实的解剖学数据是近似的。张勇等^[16]在研究骨盆标本与其三维重建数字化模型的 14 个特征点得出三维重建数字化骨盆模型的特征测量距离的平均误差仅为 0.5 mm，角度

表 1 FO、RCH 与 LLD 的线性回归关系
Tab.1 Linear regression relationship between FO, RCH and LLD

项目	未标准化系数		标准化系数 β	t 值	P 值	VIF 值
	B 值	标准误				
常量	0.257	0.055		4.643	0.000	
术后双侧 FO 差值	0.038	0.014	0.271	2.754	0.009	1.084
术后双侧 RCH 差值	-0.099	0.014	-0.692	-7.017	0.000	1.084

注: $R^2=0.808$ $F=77.993$ $P=0.009$

平均误差约为 0.35° 。综上所述,数字化测量方式的可靠性较 X 线测量法更具有说服力,同时提升了结果的可信度。

3.2 CT 三维重建模型可实现精确定位解剖点及参数的测量

在 CT 三维重建模型上测量参数时,可建立三维空间坐标系,点与点、点与线之间的距离可以换算成坐标运算得出最终结果,因此,精确定位出点、线的空间位置是实现精确测量的前提。

FO 是股骨头旋转中心到股骨干轴线的距离^[17], RCH 是髋臼旋转中心到双侧泪滴下缘连线的距离^[18], LLD 是双侧泪滴下缘连线到小转子顶点的距离之差^[19]。股骨头旋转中心与髋臼旋转中心在模型上的定位目前被广泛接受的方法为拟合球心法^[20]。股骨干轴线在 CT 三维重建模型中的定位方法在文献中有多种报道, MERLE 等^[21]则选取股骨髓腔横断位的 3 个髓腔横截面中心点的连线作为股骨长轴。本研究选取层面在髓腔峡部到小转子中点上方 20 mm, 每个层面拟合圆获取圆心后拟合直线作为股骨干轴线,在 Merle 的基础上增加了切面层数,旨在降低误差。双侧泪滴下缘连线在 CT 三维重建模型上的定位在文献中暂无报道。泪滴影是 X 线的抽象解剖影像,髋臼泪滴由髋臼梨状窝前下部及髌骨四边面前部组成^[22],从 CT 冠状位可观察到泪滴的位置及形态,在切片厚度为 0.625 mm 时,有 7~10 个层面可以观察泪滴位置及形态,在每一层面上将泪滴的轮廓用曲线描绘出来,并把这些曲线同步到三维重建模型上,再将模型自上往下进行层切,当最后 1 个出现曲线标记即为泪滴下缘,并标记该点,确定位置及坐标。同理定位对侧泪滴下缘位置及坐标,两点连线即为双侧泪滴下缘连线。小转子顶点的定位较为简单,只需将 CT 图像的矢状位向小转子方向平移,当第 1 个出现部分小转子图像的的点标记为小转子顶点。以上定位出点、线的空间位置后,利用坐标运算得出所测量参数值。

3.3 回归方程的应用与前景

在本次回顾性研究中,将 FO、RCH 联合起来,

共同分析其与 LLD 的相互关系,发现其间存在线性关系,并得出 FO、RCH 与 LLD 的线性回归方程:术后 $LLD=0.038x-0.099y+0.257$ 。从回归方程式不难看出,RCH 的影响系数较 FO 要大。想要获得满意的下肢长度差(方程式的值最小),需降低双侧 FO 差及双侧 RCH 差,或平衡 FO 与 RCH 的关系。比如 DDH 患者,患侧髋臼发育不良,使股骨头上移处于半脱位甚至完全脱位的状态,此时旋转中心上移,结合方程式,术中适当增加 FO 来抵消因 RCH 增大带来的下肢短缩。回归方程可应用于临床中对 LLD 的判断提供参考,同时也为平衡下肢长度提供理论依据。

此外,随着机器人技术的蓬勃发展与飞速兴起,已经运用到临床外科手术中,且取得了令人满意的效果。在 THA 术前规划中,将患者解剖影像信息导入机器人后,其内计算机系统自动将信息转换为骨盆三维模型图像,术者可更好地判断和评估一些复杂的解剖结构并利用计算机进行模拟各种手术操作等。FO、RCH 与 LLD 的线性回归方程也可应用于机器人辅助关节置换中,术前通过 CT 联合数字软件测量出健侧的 FO 和 RCH,经回归方程推演计算出最佳的患侧 FO 及 RCH,在机器人计算机中进行模拟手术操作,包括旋转中心的精确定位、模拟最适 FO 假体植入等,术中在机器人辅助下精准实行术前规划操作,从而有效地降低 LLD 发生的概率。虽然 FO、RCH 与 LLD 的线性回归方程在应用于机器人辅助关节置换技术仍处于摸索阶段,目前在临床尚无报道,但随着机器人技术普及与革新,回归方程的优化与完善等,在未来将会有更加广阔的应用前景。

综上所述,基于 CT 三维重建模型的测量,一方面不受患者体位及拍摄角度影响,另一方面在于重建模型后可分离各个模块,并从多方面、多角度单独研究其解剖结构及性质,且测量过程在三维空间下进行,摆脱了二维平行视差造成的测量误差,使测量结果更加精确可靠,是一种理想的测量方法。回归方程可为判断 LLD 提供一种参考,同时回归方程运用在机器人辅助关节置换具有广阔的前景。本研究的局限性在于样本量较少且为单中心研究,回归方程

中的影响因子系数受样本数量变化而出现波动变化,样本量越大,回归方程也相对更具有代表性及可靠性。可通过扩大样本来源,开展大样本、多中心的研究可克服其局限性。

参考文献

- [1] IWAKIRI K, OHTA Y, FUJII T, et al. Changes in patient-perceived leg length discrepancy following total hip arthroplasty[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2021, 31(7): 1355-1361.
- [2] 许硕贵. 髋关节置换相关问题探讨[J]. *中国骨伤*, 2020, 33(11): 991-994.
XU S G. Discussion on hip replacement[J]. *China J Orthop Traumatol*, 2020, 33(11): 991-994. Chinese.
- [3] KAYANI B, PIETRZAK J, DONALDSON M J, et al. Treatment of limb length discrepancy following total hip arthroplasty[J]. *Br J Hosp Med*, 2017, 78(11): 633-637.
- [4] WAIBEL F W A, BERNDT K, JENTZSCH T, et al. Symptomatic leg length discrepancy after total hip arthroplasty is associated with new onset of lower back pain[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2021, 107(1): 102761.
- [5] PETTIT M H, KANAVATHY S, MCARTHUR N, et al. Measurement techniques for leg length discrepancy in total hip arthroplasty: a systematic review of reliability and validity[J]. *J Arthroplasty*, 2022, 37(12): 2507-2516.e11.
- [6] KISHIMOTO Y, SUDA H, KISHI T, et al. A low-volume surgeon is an independent risk factor for leg length discrepancy after primary total hip arthroplasty: a case-control study[J]. *Int Orthop*, 2020, 44(3): 445-451.
- [7] 李俊成, 倪明, 冀全博, 等. 机器人辅助与传统方法行全髋关节置换术后下肢长度差异比较[J]. *中华骨科杂志*, 2021, 41(8): 480-487.
LI J C, NI M, JI Q B, et al. Leg length discrepancy after total hip arthroplasty: a comparison between robotic-assisted and conventional implantation[J]. *Chin J Orthop*, 2021, 41(8): 480-487. Chinese.
- [8] ERIVAN R, CAPUTO T, RIOUACH H, et al. Primary total hip replacement in Ficat-Arlet stage 3 and 4 osteonecrosis: a retrospective study at a minimum 12-year follow-up[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2020, 30(5): 845-850.
- [9] KE Y, ZHANG Q, MA Y Q, et al. Short-term outcomes of total hip arthroplasty in the treatment of Tönnis grade 3 hip osteoarthritis in patients with spondyloepiphyseal dysplasia[J]. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*, 2020, 53(1): 175-182.
- [10] BIESEMANS S. Segmental fractures of the neck of femur: fix or replace[J]. *Arthroplast Today*, 2021, 8: 247-252.
- [11] YANG Y H, ZUO J L, LIU T, et al. Morphological analysis of true acetabulum in hip dysplasia (crowe classes I-IV) via 3-D implantation simulation[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2017, 99(17): e92.
- [12] 邢雅昶, 杜银桥, 周勇刚, 等. Corail 高偏心距股骨头假体在单侧初次全髋关节置换中的应用[J]. *中国骨伤*, 2022, 35(7): 610-614.
- XING Y C, DU Y Q, ZHOU Y G, et al. Application of high offset Corail femoral stem prosthesis in unilateral primary total hip arthroplasty [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2022, 35(7): 610-614. Chinese.
- [13] SATO H, MAEZAWA K, GOMI M, et al. Effect of femoral offset and limb length discrepancy on hip joint muscle strength and gait trajectory after total hip arthroplasty [J]. *Gait Posture*, 2020, 77: 276-282.
- [14] SARIALI E, MUELLER M, KLOUCHE S. A higher reliability with a computed tomography scan-based three dimensional technique than with a two dimensional measurement for lower limb discrepancy in total hip arthroplasty planning[J]. *Int Orthop*, 2021, 45(12): 3129-3137.
- [15] AUGUSTINE A S, EWEN A M, WALLACE D T, et al. Variations in pelvic dimensions: an anatomical and computed tomography study[J]. *Clin Anat*, 2018, 31(7): 981-987.
- [16] 张勇, 张雁儒, 杨云峰, 等. 三维重建及 3D 打印技术在骨盆三维特征测量准确性研究[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2020, 38(6): 697-702, 708.
ZHANG Y, ZHANG Y R, YANG Y F, et al. Study on the accuracy of three dimensional reconstruction and three dimensional printing technique in the measurement of pelvic three dimensional features [J]. *Chin J Clin Anat*, 2020, 38(6): 697-702, 708. Chinese.
- [17] WONG J R Y, GIBSON M, AQUILINA J, et al. Pre-operative digital templating aids restoration of leg-length discrepancy and femoral offset in patients undergoing total hip arthroplasty for primary osteoarthritis[J]. *Cureus*, 2022, 14(3): e22766.
- [18] YI L H, LI R, ZHU Z Y, et al. Anatomical study based on 3D-CT image reconstruction of the hip rotation center and femoral offset in a Chinese population: preoperative implications in total hip arthroplasty[J]. *Surg Radiol Anat*, 2019, 41(1): 117-124.
- [19] GALLO M C, CHUNG B C, TUCKER D W, et al. Limb length discrepancy in total hip arthroplasty: is the lesser trochanter a reliable measure of leg length[J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36(10): 3593-3600.
- [20] CAO L L, WANG Y H, ZOU S P, et al. A novel positioner for accurately sitting the acetabular component: a retrospective comparative study[J]. *J Orthop Surg Res*, 2019, 14(1): 279.
- [21] MERLE C, WALDSTEIN W, PEGG E, et al. Femoral offset is underestimated on anteroposterior radiographs of the pelvis but accurately assessed on anteroposterior radiographs of the hip[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2012, 94(4): 477-482.
- [22] TUCKER N J, SCOTT B L, HEARE A, et al. The effect of pelvic ring rotation and tilt on the radiographic teardrop distance: an important consideration in the assessment of dynamic displacement on stress radiographs[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2023, 33(5): 1953-1957.

(收稿日期: 2023-08-15 本文编辑: 王玉蔓)