

•综述•

全膝关节置换术中股骨假体旋转力线定位方法研究进展

刘坤 刘元东 樊宗庆 符东林

摘要 在全膝关节置换术中,股骨假体在股骨轴向位上的旋转力线直接影响膝关节的运动学状态,是手术成功的关键。定位股骨假体旋转有多种方法,但各有优势和不足。传统的测量截骨技术和间隙平衡技术仍为主要定位方法,兼顾多个骨性解剖标志以及测量截骨技术和间隙平衡技术联合定位成为新的定位理念,避免了单一定位方法的局限性。一些新技术如计算机辅助导航技术、机器人技术、3D 打印技术等已开始应用但尚未普及。

关键词 全膝关节置换;股骨假体;旋转力线

DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2024.02.008

骨关节炎(OA)是常见关节疾病,主要累及膝关节,随着人口老龄化加剧,其发病率不断增加^[1]。全膝关节置换术(TKA)是治疗晚期膝关节炎(KOA)的最佳方法^[2]。正常下肢力线的恢复、软组织平衡及假体精确定位是TKA成功的关键。而股骨假体在股骨轴向位的旋转力线定位不良可导致膝前疼痛、膝关节纤维化、髌骨脱位或半脱位等并发症^[3],影响TKA后的功能恢复。

定位股骨假体旋转力线的传统方法主要为测量截骨技术和间隙平衡技术,近年来计算机辅助导航技术、3D打印个性化截骨技术、机器人技术等应用逐渐增多,并取得一定研究进展。然而,何种定位方式对股骨假体旋转定位更准确,具有更好的临床结果,仍未达成共识^[4]。本文对股骨假体旋转对线方法进行综述,以为临床医生提供参考,促进TKA股骨假体旋转力线定位方法的优化和应用。

1 测量截骨技术

测量截骨技术是在手术中依据股骨远端的骨性解剖标志来定位股骨假体旋转,这些解剖标志主要包括股骨上髁轴、股骨后髁轴和前后轴。

1.1 股骨上髁轴

股骨上髁轴为连接股骨内外侧上髁的连线,依据参考点的不同可分为解剖上髁轴和外科上髁

轴,股骨内外侧上髁最凸点的连线为解剖上髁轴,而股骨外上髁最凸点与内上髁沟的连线为外科上髁轴。

解剖学及生物力学研究表明,外科上髁轴是最接近膝关节屈伸运动的生理轴线,被认为是确定股骨假体旋转力线的金标准^[5]。虽然外科上髁轴理论上为良好的参考轴线,但在晚期KOA患者中,股骨的骨性结构会发生变化,再加上软组织覆盖,术中很难准确识别定位。Kinzel等^[6]在手术中参考外科上髁轴定位股骨假体旋转,术后CT检查结果表明,股骨假体旋转的误差范围为外旋6°至内旋11°,仅75%的旋转误差在3°以内。他们认为,术中参考外科上髁轴确定股骨假体旋转并不可靠。

解剖上髁轴可能不是最佳定位方法。解剖上髁轴与外科上髁轴具有明显差异。Park等^[7]测量两者之间的角度为 $7.0^{\circ} \pm 1.6^{\circ}$ 。宋兵华等^[8]测量国人股骨解剖上髁轴与外科上髁轴之间的角度为 $3.45^{\circ} \pm 0.68^{\circ}$ 。解剖上髁轴与外科上髁轴的差异较恒定且术中相对易于识别,当外科上髁轴不易识别时,可使用解剖上髁轴评估股骨假体旋转情况。

1.2 股骨后髁轴

股骨后髁轴为股骨远端内外侧后髁最低点的连线,术中易于识别,是相对可靠的参考轴线,被广泛应用于各类膝关节置换器械中。

术者们通常参考后髁轴外旋3°定位股骨假体旋转力线。早期在尸体标本中的测量结果表明,外科上髁轴相对于后髁轴约外旋3°(后髁角),因此相对于后髁轴外旋3°截骨,股骨假体旋转力线

作者单位:236001, 安徽医科大学附属阜阳人民医院(阜阳市人民医院)骨科

通信作者:符东林 E-mail: fdl8732@163.com

大致平行于外科上髌轴。Jang 等^[9]的研究共重建 2 128 例股骨三维模型,测量结果表明,与其他参考轴线相比,参考后髌轴定位股骨假体旋转力线与外科上髌轴的偏差最小,他们认为后髌轴是定位股骨假体旋转的良好标志。

不过,该技术也有明显缺点。股骨的解剖结构具有个体、种族、性别等差异^[10],相对于后髌轴外旋 3° 定位股骨假体旋转是来源于测量数据的平均值,存在一定误差。Koh 等^[10]测量朝鲜地区 1 522 例终末期 KOA 患者的后髌角,结果为 $2.2^{\circ} \pm 1.0^{\circ}$,且男、女有明显差异。徐福稳等^[11]测量我国多个民族 KOA 患者人群的后髌角,结果表明不同种族患者后髌角存在差异,他们建议应联合多种方法校正股骨假体旋转。此外,股骨远端存在畸形时以及膝关节翻修术中,很难依靠后髌轴来定位股骨假体旋转。

1.3 Whiteside 线

Whiteside 线即前后轴,为股骨轴向位股骨滑车沟前方与后方髌间窝最深点的连线。目前研究普遍认为,Whiteside 线垂直于外科上髌轴。由于 Whiteside 线的定位基于股骨远端的非负重区域,不易受软骨厚度变化影响,因此是相对可靠的参考轴线。

Vanin 等^[12]在手术中测量 Whiteside 线定位的股骨假体旋转力线与外科上髌轴的偏差,结果显示观察者内及观察者间均具有良好可重复性,他们建议将 Whiteside 线作为首要参考。然而,当股骨滑车发育不良或伴严重髌股关节炎时,股骨滑车前方最深点可能不易识别,会影响 Whiteside 线的定位^[13]。雷凯等^[14]在重建的股骨三维模型中进行测量,发现 Whiteside 线定位的股骨假体旋转力线变化范围为 $0.19^{\circ} \sim 12.10^{\circ}$,认为受解剖变异及关节疾病进展的影响,Whiteside 线有时并不可靠。此外,一些情况下定位 Whiteside 线前需要清除股骨髌间窝内的骨赘,这可能使髌间窝形态发生变化,影响定位准确性。

1.4 其他参考轴线

近年来,其他替代参考轴线也相继被提出。Sulcus 线(即滑车沟线)为连接沿股骨滑车沟最深点多个点的曲线,同时将这些点拟合最佳的直线为滑车沟直线。相比于其他参考轴线,Sulcus 线依据滑车沟内多个标记点进行定位,以此确定股骨假体旋转可以减少误差^[15]。近期 Talbot 等^[16]的研

究表明,参考 Sulcus 线定位股骨假体旋转的误差及异常值比例均较低,认为 Sulcus 线具有解剖学和几何学优势。

也有一些学者提出,采用多种参考轴线组合来定位股骨假体旋转力线可以减少单一参考轴线变异的影响,提高定位准确性。Paternostre 等^[17]的研究认为,结合后髌轴与 Whiteside 线能较可靠地定位股骨假体旋转。范霖等^[18]的研究中,在使用测量截骨技术时首先参考后髌轴定位股骨假体旋转,再参考 Whiteside 线与外科上髌轴进行调整,结果表明术后股骨假体旋转误差较小。Jang 等^[9]的研究则提出,首先参考后髌轴外旋 3° 定位股骨假体旋转,该方法简单快速,然后采用 Whiteside 线或 Sulcus 线进行校准,因其受膝关节内外翻畸形及性别、种族的影响较小,最后采用解剖上髌轴作为最终校准,通过参考 3 种轴线来减少个体变异的影响。

虽然测量截骨技术操作相对简单,学习曲线短,但由于股骨远端解剖存在个体变异以及解剖标志点定位受经验的影响,仅依靠单一参考轴线定位,股骨假体旋转不良的发生率较高。因此,在进行股骨假体旋转定位时应兼顾多个参考轴线,以避免出现明显误差。

2 间隙平衡技术

间隙平衡技术在定位股骨假体旋转力线时不依赖股骨远端解剖标志,而是首先保证术中膝关节内外侧软组织张力的平衡,然后平行于胫骨近端截骨面完成股骨远端旋转截骨^[4]。

理论上,间隙平衡技术不受股骨远端解剖变异的影响,可以通过器械本身确定股骨假体旋转力线。此外,股骨后髌截骨完成后得到矩形且平衡的屈曲间隙,可减少两侧软组织的松解概率,减少了两侧软组织损伤^[19]。范霖等^[18]的研究表明,间隙平衡技术定位的股骨假体旋转力线与外科上髌轴更加吻合,且术后早期膝关节功能更好。

不过运用这种技术中,当第一步胫骨截骨不准确或其他因素导致的张力撑开装置不可靠时,可能导致后续股骨假体旋转不良。同时,晚期 KOA 患者常伴有关节内侧副韧带挛缩畸形,根据两侧软组织张力定位股骨假体旋转可能导致股骨假体过度外旋^[20]。近期 Moon 等^[21]的荟萃分析研究表明,采用间隙平衡技术定位的股骨假体旋转误差大于采用测量截骨技术定位。

3 测量截骨技术联合间隙平衡技术

考虑到测量截骨技术和间隙平衡技术均存在一定不足,有学者提出将两种技术结合起来定位股骨假体旋转^[22]。即在完成胫骨近端、股骨远端截骨后,使用装置撑开屈曲间隙,股骨假体的旋转角度由间隙平衡技术或解剖标志初步确定,再参考另一技术原理进行校准,确定最终旋转角度。

两种技术联合的主要目的与间隙平衡技术相同,均为得到矩形的屈曲间隙,但联合技术通过骨性解剖标志加以验证。陆斌等^[23]进行了两种技术联合定位的研究。他们首先参考后髌轴定位股骨假体旋转,平衡内外侧副韧带张力后,将截骨板进行适当旋转,平衡于胫骨近端截骨面,以获得平衡且矩形的屈曲间隙,结果显示术后股骨假体旋转误差较小。苗卫华等^[22]也进行了类似研究。他们在手术中首先相对后髌轴外旋 3° 初步定位股骨假体旋转,若屈曲间隙不平衡,则再调整截骨板旋转角度。该研究结果表明,这种方式更易获得良好的股骨假体旋转力线。樊宗庆等^[19]在手术中首先参考后髌轴初步定位股骨假体旋转,若有需要则再调整截骨板,结果表明这种定位方式股骨假体旋转误差更小,术后早期功能更好。

测量截骨技术联合间隙平衡技术兼顾了骨性解剖标志和膝关节内外侧软组织平衡,减少了假体位置不良发生风险,提高了股骨假体旋转力线的精准性。

4 计算机辅助导航技术

传统股骨假体旋转定位方法易受股骨远端解剖结构变异和膝关节退变等多种因素影响,而计算机辅助导航技术可以提供准确的解剖定位和可视化引导,有助于提高假体安放精准性,故逐渐被应用于 TKA 中。已有多项研究表明,计算机辅助导航技术可以提高股骨假体在矢状位和冠状位上力线的准确性,但能否提高股骨轴向位上力线的准确性仍有争议。有学者开展的研究表明,与常规 TKA 相比,采用计算导航技术辅助 TKA,术后股骨假体轴向位上的旋转误差更小^[24]。然而另一项研究显示,并未发现计算机辅助导航技术在股骨假体旋转定位上的优势^[25]。这可能与一些患者的外科上髌轴不易识别定位有关,定位时存在明显变异,导致股骨假体旋转存在一定偏差。此外,计算机辅助导航技术因费用较高、技术难度大、学习周期长等问题,尚未得到普及。

5 3D 打印个性化截骨技术

近年来,采用 3D 打印技术设计患者个性化器械开始应用。术前,依据每个膝关节数据采用 3D 打印技术设计个性化截骨导板,术中采用个性化截骨导板辅助股骨假体旋转定位,这种方法可以提高截骨准确性和可靠性,使误差更小^[26]。Cucchi 等^[27]在一项随机对照研究中分别采用 3D 打印截骨导板辅助 TKA 与常规 TKA,结果表明采用 3D 打印辅助定位的 TKA 股骨假体误差更小。孙茂淋等^[28]的研究中,术前设计了个性化截骨导板,结果表明与传统 TKA 相比,这种方法的股骨假体旋转力线误差更小。不过应注意,采用 3D 打印技术设计个性化器械的过程较复杂,需要相应设备和软件支持,还会增加额外的医疗费用,目前该技术尚未广泛应用。

6 机器人手术

随着医疗技术不断进步,机器人辅助手术系统在 TKA 中的应用逐渐受到关注。传统 TKA 存在一定主观性和局限性,而机器人辅助手术系统通过结合先进的计算机视觉和机器人技术,提供了更准确、更个体化的手术方案。与传统手术相比,机器人辅助手术系统能够提高截骨和假体植入的精准性,从而获得更理想的下肢力线^[29]。邵宏翊等^[30]的一项多中心随机对照研究表明,相比于传统 TKA,机器人技术植入的股骨假体在轴向位上的偏差较小,传统 TKA 组股骨假体旋转力线的偏差中位数为 2.0°,而机器人手术组仅为 0.87°。

机器人辅助手术系统的应用仍存在一些局限性,如设备成本高、学习曲线长、手术时间长等。

7 结语

定位股骨假体旋转力线的方法中,计算机辅助导航技术、机器人技术及 3D 打印技术等受多种因素影响而尚未普及。传统技术中,兼顾多个骨性解剖标志及结合测量截骨技术和间隙平衡技术联合定位的方法可以提高股骨假体旋转力线的精准性,但联合定位的方法仍处于初级阶段,还需开展进一步的研究进行改良和优化,以真正实现个性化截骨和精准截骨。

参考文献

- [1] Mahmoudian A, Lohmander LS, Mobasheri A, et al. Early-stage symptomatic osteoarthritis of the knee : time for action[J]. Nat Rev Rheumatol, 2021, 17(10): 621-632.
- [2] Hoorntje A, Witjes S, Koenraadt K, et al. More severe preoperative

- Kellgren-Lawrence grades of knee osteoarthritis were partially associated with better postoperative patient-reported outcomes in TKA patients[J]. *J Knee Surg*, 2019, 32(3): 211-217.
- [3] de Valk EJ, Noorduyn JC, Mutsaerts EL. How to assess femoral and tibial component rotation after total knee arthroplasty with computed tomography: a systematic review[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(11): 3517-3528.
- [4] Li S, Luo X, Wang P, et al. Clinical outcomes of gap balancing vs measured resection in total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis involving 2259 subjects[J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(8): 2684-2693.
- [5] Franceschini V, Nodzo SR, Gonzalez Della Valle A. Femoral component rotation in total knee arthroplasty: a comparison between transepicondylar axis and posterior condylar line referencing[J]. *J Arthroplasty*, 2016, 31(12): 2917-2921.
- [6] Kinzel V, Ledger M, Shakespeare D. Can the epicondylar axis be defined accurately in total knee arthroplasty?[J]. *Knee*, 2005, 12(4): 293-296.
- [7] Park JY, Kwon HM, Cho BW, et al. Accuracy of 2D CT-based measurements of rotational alignment of the femoral component for total knee arthroplasty[J]. *Yonsei Med J*, 2021, 62(5): 439-445.
- [8] 宋兵华, 孙俊英, 倪增良, 等. 国人股骨远端旋转轴线的影像学研究及其临床意义[J]. *中国骨伤*, 2016, 29(1): 41-47.
- [9] Jang ES, Connors-Ehlert R, LiArno S, et al. Accuracy of reference axes for femoral component rotation in total knee arthroplasty: computed tomography-based study of 2,128 femora[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101(23): e125.
- [10] Koh YG, Nam JH, Chung HS, et al. Gender differences exist in rotational anatomy of the distal femur in osteoarthritic knees using MRI[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(9): 2990-2997.
- [11] 徐福稳, 曹力, 阿斯哈尔江·买买提依明, 等. 新疆多民族膝关节炎病人股骨后髁角的测量及其临床意义[J]. *骨科*, 2022, 13(3): 193-197.
- [12] Vanin N, Panzica M, Dikos G, et al. Rotational alignment in total knee arthroplasty: intraoperative inter- and intraobserver reliability of Whiteside's line[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2011, 131(11): 1477-1480.
- [13] Victor J, van Doninck D, Labey L, et al. A common reference frame for describing rotation of the distal femur: a CT-based kinematic study using cadavers[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2009, 91(5): 683-690.
- [14] 雷凯, 刘力铭, 范华全, 等. 全膝关节置换术中 3 种股骨旋转截骨参考轴线的准确度对比[J]. *第三军医大学学报*, 2021, 43(3): 261-266.
- [15] Piriou P, Peronne E, Ouanezar H. Rotational alignment of the femoral component using trochlear navigation during total knee arthroplasty: a dual-center study of 145 cases[J]. *J Arthroplasty*, 2013, 28(7): 1107-1111.
- [16] Talbot S, Dimitriou P, Radic R, et al. The sulcus line of the trochlear groove is more accurate than Whiteside's Line in determining femoral component rotation[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015, 23(11): 3306-3316.
- [17] Paternostre F, Schwab PE, Thienpont E. The combined Whiteside's and posterior condylar line as a reliable reference to describe axial distal femoral anatomy in patient-specific instrument planning[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(12): 3054-3059.
- [18] 范霖, 杨东, 刘凯缘, 等. 全膝关节置换术中间隙平衡截骨与测量截骨技术的对照研究[J]. *中华骨科杂志*, 2019, 39(15): 935-943.
- [19] 樊宗庆, 储成顶, 聂宇, 等. 全膝关节置换个性化联合间隙平衡[J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30(20): 1830-1835.
- [20] Lee JK, Lee S, Chun SH, et al. Rotational alignment of femoral component with different methods in total knee arthroplasty: a randomized, controlled trial[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2017, 18(1): 217.
- [21] Moon YW, Kim HJ, Ahn HS, et al. Comparison of soft tissue balancing, femoral component rotation, and joint line change between the gap balancing and measured resection techniques in primary total knee arthroplasty: a meta-analysis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(39): e5006.
- [22] 苗卫华, 王宏, 李康. 测量截骨联合间隙平衡全膝关节置换治疗膝关节炎[J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29(14): 1254-1258.
- [23] 陆斌, 杨卧龙, 高胜山, 等. 测量截骨联合间隙平衡技术在全膝关节置换股骨外旋截骨中的应用[J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(15): 2323-2328.
- [24] van der Linden-van der Zwaag HM, Bos J, van der Heide HJ, et al. A computed tomography based study on rotational alignment accuracy of the femoral component in total knee arthroplasty using computer-assisted orthopaedic surgery[J]. *Int Orthop*, 2011, 35(6): 845-850.
- [25] Czurdza T, Fennema P, Baumgartner M, et al. The association between component malalignment and post-operative pain following navigation-assisted total knee arthroplasty: results of a cohort/nested case-control study[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2010, 18(7): 863-869.
- [26] 曾泮, 李书振. 全膝关节置换中股骨假体的旋转定位[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(36): 5861-5867.
- [27] Cucchi D, Menon A, Aliprandi A, et al. Patient-specific instrumentation affects rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty: a prospective randomized controlled trial[J]. *Orthop Surg*, 2019, 11(1): 75-81.
- [28] 孙茂淋, 杨柳, 何锐, 等. 3D 打印导板改善人工全膝关节置换术中股骨旋转对线及髌骨轨迹的疗效研究[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2020, 34(3): 335-340.
- [29] Deckey DG, Rosenow CS, Verhey JT, et al. Robotic-assisted total knee arthroplasty improves accuracy and precision compared to conventional techniques[J]. *Bone Joint J*, 2021, 103B(6 Suppl A): 74-80.
- [30] 邵宏翔, 吴立东, 曹光磊, 等. 国产机器人辅助全膝关节置换术的精准性: 一项多中心随机对照临床研究[J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2023, 16(4): 310-316.

(收稿日期: 2023-10-03)

(本文编辑: 杨晓娟)