

•综述•

胫骨高位截骨术后胫骨轴向旋转变化研究进展

薛鹏飞 侯凯 呼啸 张民

摘要 胫骨高位截骨术是一种治疗膝关节内侧间室骨关节炎的可靠手术方式。目前,关于胫骨高位截骨术的研究主要集中在冠状面力线,对于轴向的意外旋转变化的认知尚有不足。影响轴向旋转的因素众多,包括截骨因素,如撑开宽度、合页轴位置、截骨平面高低、间隙比、垂直截骨方向、双平面截骨角、水平截骨面倾斜度;膝关节周围软组织因素,如完整的胫腓骨结构、内侧副韧带、腘绳肌腱、后关节囊、合页完整性;以及钢板和螺钉的影响因素。轴向的旋转变化可对膝关节生物力学、骨愈合等方面产生一定影响。该文对胫骨高位截骨术后的轴向旋转变化情况、影响因素及临床意义的相关研究进展进行综述。

关键词 膝关节骨关节炎;胫骨高位截骨术;旋转对线;胫骨扭转角

DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2023.05.009

开放楔形胫骨高位截骨术(OWHTO)是一种成熟的手术技术,用于治疗伴有内翻畸形的膝关节内侧间室骨关节炎^[1-2],通过正确的患者选择和精确的手术技术,患者术后可获得良好的长期结果^[3-4]。OWHTO手术通过纠正冠状面力线不良达到矫正畸形、缓解疼痛的目的^[5]。然而,截骨与撑开会使得胫骨近端成为相对不稳定的结构^[6],因而在矫正冠状面力线的同时,可能发生矢状面和轴面的变化^[7-9]。矢状面变化表现为胫骨平台后倾角增加^[7],这已被骨科医生所认识,并在术中有意控制胫骨后倾角的变化^[10]。尽管研究已发现胫骨轴向旋转变化对膝关节的生物力学环境有很大影响^[11-12],但学者们对OWHTO术后轴向旋转变化的认知仍十分有限,本文对内翻型膝关节骨关节炎患者行OWHTO术后胫骨轴向旋转的变化情况、影响因素及临床意义进行综述。

1 OWHTO术后胫骨轴向旋转变化情况

1965年,Coventry^[13]首次提到截骨术中出现的轴向旋转问题,其描述的手术方式中截骨线不穿透对侧皮质,这样的处理方式可以控制旋转。1999年,Magyar等^[14]在一项比较胫骨轴向旋转的临床试验中首次研究了截骨术中的旋转问题,他们认为,开放楔形截骨术较闭合楔形截骨术的胫骨轴向旋转变化更小。然而,当时使用的截骨术与目前普

遍使用的双平面截骨术差距较大,胫骨旋转的测量方法也相对不可靠。随着双平面OWHTO技术的不断成熟,之后的众多学者对OWHTO术后的轴向旋转变化情况进行了研究,但对于旋转的方向与量,却得出不同的结论。

一些学者进行了尸体研究和临床研究后认为,胫骨远端骨块相对于近端骨块发生外旋,外旋平均值为 $2.6^{\circ} \sim 2.9^{\circ}$ ^[9, 15-17]。另一些学者的研究得出胫骨远端内旋的结论,平均内旋角度为 $1.5^{\circ} \sim 4.4^{\circ}$ ^[8, 18-23]。还有一些学者的研究表明,术后胫骨轴向旋转变化与术前相比无显著差异^[24-25]。

2 OWHTO术后胫骨轴向旋转的影响因素

从生物力学角度看,截骨和撑开均会使胫骨近端成为不稳定的高度受力的结构,截骨处近端与远端骨块的轴向相对旋转是截骨与撑开时近端与远端骨块的受力在轴向作用的结果,其发生受胫骨近端三维结构中截骨相关因素和膝关节周围软组织等因素的影响。

2.1 胫骨近端三维结构中的截骨因素

截骨间隙撑开的角度或宽度:随着撑开间隙增加,冠状面下肢力线的矫正度数会增加,同时胫骨轴向旋转也可能随之出现变化。尸体研究、临床研究以及计算机模拟仿真研究的结果显示,随着外翻矫正度数增加,轴向旋转呈线性增加,矫正量越大,胫骨旋转变化的自由度就越大^[8, 17-18, 23, 26-28]。

合页轴的位置:合页轴定义为水平截骨部位上、下两个平面交汇形成的一条线^[20],轴位图中

基金项目:山西省留学回国人员科技活动择优资助项目(202100008)

作者单位:030000 山西太原,山西医科大学第二医院骨科

通信作者:张民 E-mail:zhangminty126@126.com

合页轴与 AP 轴 (Akagi's 线) 之间的夹角定义为合页轴角。Lee 等^[20]的临床研究以及张海龙等^[28]的计算机模拟研究得出相似结论, 即合页轴角越大, 位置越靠后外侧, 胫骨远端内旋的增加程度越大。然而, Jörgens 等^[29]对 13 个人类胫骨数字模型的研究却得出不同结论, 他们认为合页轴的位置对胫骨扭转几乎没有影响。

截骨平面的高低: Song 等^[22]根据水平截骨的末端 (即合页点) 与腓骨头的位置关系将研究对象分为高平面组 (水平截骨末端位于腓骨头尖端上方) 和低平面组 (水平截骨末端位于腓骨头尖端下方)。他们发现, 高平面组胫骨扭转角由术前的 29.6° 减小为术后的 27.4° , 而低平面组则由术前的 29.3° 减小为术后的 25.7° , 低平面组胫骨扭转角减小程度更大。他们认为, 截骨平面末端高于腓骨头尖端会显著降低胫骨远端的内旋。

间隙比: 间隙比定义为侧位的前后间隙距离比^[20]。Jacobi 等^[8]对 11 具尸体行 OWHTO 手术, 他们将撑开器分别置于截骨间隙的前方和后方, 测量轴向旋转的变化, 结果显示, 将撑开器置于后方时胫骨远端内旋更明显。Lee 等^[20]对 21 例 (23 膝) 接受导航 OWHTO 手术的患者进行研究, 得出相似结论, 即间隙比与胫骨远端内旋的增加呈负相关。

垂直截骨方向角: 垂直截骨方向角定义为轴位上垂直截骨线与胫骨平台后缘之间的夹角^[27]。Kim 等^[27]对行 OWHTO 的患者 (42 膝) 进行回顾性研究, 依据术后胫骨远端外旋程度将患者分为外旋 $\leq 3^{\circ}$ 组和外旋 $> 3^{\circ}$ 组。他们发现, 胫骨远端外旋 $> 3^{\circ}$ 的患者有更大的垂直截骨方向角, 表明垂直截骨方向由前内向后外可能是导致胫骨外旋的原因。

双平面截骨角: 双平面截骨角定义为矢状面上垂直截骨线与水平截骨线之间的夹角^[17]。Sasaki 等^[17]的研究显示, 双平面截骨角与胫骨远端旋转显著相关。随着双平面截骨角减小, 胫骨远端内旋的角度也会变小, 当双平面截骨角为 90° 时不会发生旋转。他们认为, 通过调整双平面截骨角可对胫骨远端的内旋程度进行调整, 最佳双平面截骨角应维持在 $100^{\circ} \sim 110^{\circ}$ 。

水平截骨面倾斜度: Chang 等^[30]使用计算机模拟的胫骨平台三维模型比较水平截骨不同倾斜度对胫骨旋转的影响, 他们认为, 楔形截骨倾斜

是影响水平旋转的因素之一, 应适当减小倾斜度, 以降低合页断裂的风险。Jörgens 等^[29]使用 13 个人类胫骨数字模型模拟不同截骨面倾斜方向对胫骨旋转的影响。他们发现, 倾斜度每增加 5° 胫骨旋转增加 1° 。

2.2 膝关节周围的软组织因素

完整胫腓骨结构的张力: Baumgarten 等^[31]使用 8 例具有完整胫腓骨结构的尸体进行研究, 比较截断腓骨的冠状面胫骨截骨术与保留腓骨的单平面胫骨高位截骨术对胫骨旋转的影响。他们发现, 冠状面胫骨截骨术引起的胫骨轴向旋转变化较小, 其可能的原因为, 完整腓骨作为支撑物能抵抗撑开角度的改变, 因而在撑开过程中, 胫腓骨结构中的张力增加, 胫骨围绕完整腓骨旋转来释放张力。

内侧副韧带: Kendoff 等^[16]对 8 具尸体的 13 例下肢标本行导航下 OWHTO 手术, 并评估下肢旋转情况。他们发现, 10 例标本出现胫骨远端相对于近端的外旋, 3 例出现胫骨远端相对于近端的内旋。他们认为, 胫骨远端出现内旋的原因可能为软组织 (尤其是内侧副韧带) 挛缩造成。

腓绳肌腱: Hinterwimmer 等^[19]的研究显示, 术后轴向旋转变化与腓绳肌是否存在有关。他们发现, 半腱肌和股薄肌肌腱缺失的患者术后胫骨远端内旋较小。他们认为, 腓绳肌腱对远端骨块的牵拉是造成胫骨远端骨块内旋的一个因素。

后关节囊情况: Jacobi 等^[8]的尸体研究发现, 晚期关节炎标本的胫骨扭转变化较小, 标本中伴有平均 5° 的屈曲挛缩。他们认为, 与早期关节炎相比, 晚期关节炎患者的后关节囊更硬, 这增加了膝关节后内侧关节囊松解不足的风险, 而后方软组织挛缩可能是导致胫骨旋转减少的原因。

2.3 其他因素

合页完整性: Jacobi 等^[8]进行尸体研究, 他们首先使用外固定器将合页保护起来, 行双平面截骨后进行测量, 随后去除外固定器, 破坏合页后再次进行测量。他们发现, 胫骨远端旋转变化与合页是否骨折无关。然而, Kawai 等^[21]的研究结果与此不同。他们对 15 个膝关节实施 OWHTO, 在 1 例出现合页骨折的患者中发现明显的胫骨外旋, 他们认为, 不规则旋转可能由外侧合页骨折引起。

钢板及螺钉固定: Sasaki 等^[17]的研究认为, 行 OWHTO 手术时, 在钢板固定以及置入螺钉的过程中, 横向与上行截骨间隙会张开, 从而导致

胫骨轴向旋转的变化。

3 OWHTO 术后胫骨轴向旋转变化的临床意义

3.1 与膝前痛的关系

Kim 等^[9]对外侧闭合楔形胫骨高位截骨术 (CWHTO) 与内侧 OWHTO 手术进行比较研究, 其中 28 例患者行 CWHTO, 25 例患者行 OWHTO, 测量其手术后的胫骨轴向旋转变化。他们发现, 行 OWHTO 的患者出现术后胫骨近端骨块外旋, 胫骨结节-滑车间沟距离增加。在术后平均随访 62.2 个月时发现, 行 OWHTO 的患者爬楼梯时 VAS 评分高于行 CWHTO 的患者。他们认为, 轴向的旋转变化可使胫骨结节发生侧移, 这是造成患者术后膝前痛的重要原因之一。

3.2 对胫股关节及踝关节接触应力的影响

Yazdi 等^[32]评估了 OWHTO 手术后胫骨轴向旋转对膝关节接触压力的影响, 结果显示, 胫骨远端外旋 15° 会降低膝关节内侧间室的接触压力。而另一项研究结果与此不同。Suero 等^[33]评估 OWHTO 术后轴向旋转对膝关节及踝关节的接触压力影响, 他们对 7 具尸体标本进行双平面 OWHTO, 结果显示, 胫骨远端外旋 15° 会抵消胫骨高位截骨术对内侧间室的卸载负荷作用, 同时会使踝关节的接触压力及胫距关节的接触面积均显著减少。

3.3 对截骨间隙愈合的影响

Kawai 等^[21]的对行 OWHTO 手术的患者 (15 膝) 进行研究, 他们发现, 在 1 例合页骨折患者中出现上行截骨间隙延迟填充的现象, 他们认为, 胫骨远端骨块外旋造成了上行截骨间隙的增宽, 从而导致截骨间隙延迟愈合。

4 小结

实施 OWHTO 手术时, 在矫正冠状面的同时, 轴面也可能发生旋转变化, 其变化的大小与方向受胫骨近端三维结构中截骨因素、膝关节周围软组织因素等影响, 这种轴向旋转变化可改变髌股关节、胫股关节以及踝关节的接触应力, 同时也可能产生截骨间隙延迟愈合等问题。OWHTO 术后发生胫骨扭转的影响因素众多, 且部分因素尚存争议, 因此有必要开展进一步研究。临床实践中, 医生应该注意到 OWHTO 手术中轴向发生的旋转变化, 掌握影响旋转变化的各种因素, 同时可以利用手术导向器与计算机辅助导航行个性化截骨, 减少相关的旋转不良发生。

参考文献

- [1] Taylor S, Getgood A. Genu valgum correction and biplanar osteotomies[J]. Clin Sports Med, 2022, 41(1): 47-63.
- [2] Peng H, Ou A, Huang X, et al. Osteotomy around the knee: the surgical treatment of osteoarthritis[J]. Orthop Surg, 2021, 13(5): 1465-1473.
- [3] Zaffagnini S, Dal Fabbro G, Belvedere C, et al. Custom-made devices represent a promising tool to increase correction accuracy of high tibial osteotomy: a systematic review of the literature and presentation of pilot cases with a new 3D-printed system[J]. J Clin Med, 2022, 11(19): 5717.
- [4] Guarino A, Farinelli L, Iacono V, et al. Long-term survival and predictors of failure of opening wedge high tibial osteotomy[J]. Orthop Surg, 2023, 15(4): 1002-1007.
- [5] Miltenberg B, Puzzitiello RN, Ruelos VCB, et al. Incidence of complications and revision surgery after high tibial osteotomy: a systematic review[J]. Am J Sports Med, 2023, [Epub ahead of print].
- [6] Pape D, Lorbach O, Schmitz C, et al. Effect of a biplanar osteotomy on primary stability following high tibial osteotomy: a biomechanical cadaver study[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2010, 18(2): 204-211.
- [7] El-Azab H, Halawa A, Anetzberger H, et al. The effect of closed- and open-wedge high tibial osteotomy on tibial slope: a retrospective radiological review of 120 cases[J]. J Bone Joint Surg Br, 2008, 90(9): 1193-1197.
- [8] Jacobi M, Villa V, Reischl N, et al. Factors influencing posterior tibial slope and tibial rotation in opening wedge high tibial osteotomy[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2015, 23(9): 2762-2768.
- [9] Kim JI, Kim BH, Han HS, et al. Rotational changes in the tibia after high tibial valgus osteotomy: a comparative study of lateral closing versus medial opening wedge osteotomy[J]. Am J Sports Med, 2020, 48(14): 3549-3556.
- [10] Kawashima F, Takagi H. Evaluation of postoperative orientation of the knee and ankle joint after open wedge high tibial osteotomy[J]. Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol, 2022, 29: 9-14.
- [11] Clemens B, Armin K, Felix G, et al. Knee kinematics are variously influenced by different correction angles in high tibial osteotomy (HTO)[J]. Int Orthop, 2022, 46(10): 2245-2250.
- [12] Liu X, Chen Z, Gao Y, et al. High tibial osteotomy: review of techniques and biomechanics[J]. J Healthc Eng, 2019, 2019: 8363128.
- [13] Coventry MB. Osteotomy of the upper portion of the tibia for degenerative arthritis of the knee. A preliminary report[J]. J Bone Joint Surg Am, 1965, 47: 984-990.
- [14] Magyar G, Toksvig-Larsen S, Lindstrand A. Changes in osseous correction after proximal tibial osteotomy: radiostereometry of closed- and open-wedge osteotomy in 33 patients[J]. Acta Orthop Scand, 1999, 70(5): 473-477.
- [15] Gaasbeek RD, Welsing RT, Verdonschot N, et al. Accuracy and initial stability of open- and closed-wedge high tibial osteotomy: a cadaveric RSA study[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2005, 13(8): 689-694.
- [16] Kendoff D, Lo D, Goleski P, et al. Open wedge tibial osteotomies

- influence on axial rotation and tibial slope[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2008, 16(10): 904-910.
- [17] Sasaki T, Akamatsu Y, Kobayashi H, et al. Rotational changes in the distal tibial fragment relative to the proximal tibial fragment at the osteotomy site after open-wedge high-tibial osteotomy[J]. *Biomed Res Int*, 2021, 2021: 6357109.
- [18] Jang KM, Lee JH, Park HJ, et al. Unintended rotational changes of the distal tibia after biplane medial open-wedge high tibial osteotomy[J]. *J Arthroplasty*, 2016, 31(1): 59-63.
- [19] Hinterwimmer S, Feucht MJ, Paul J, et al. Analysis of the effects of high tibial osteotomy on tibial rotation[J]. *Int Orthop*, 2016, 40(9): 1849-1854.
- [20] Lee BH, Ha CW, Moon SW, et al. Three-dimensional relationships between secondary changes and selective osteotomy parameters for biplane medial open-wedge high tibial osteotomy[J]. *Knee*, 2017, 24(2): 362-371.
- [21] Kawai R, Tsukahara T, Kawashima I, et al. Tibial rotational alignment after opening-wedge and closing-wedge high tibial osteotomy[J]. *Nagoya J Med Sci*, 2019, 81(4): 621-628.
- [22] Song IS, Kwon J. Analysis of changes in tibial torsion angle on open-wedge high tibial osteotomy depending on the osteotomy level[J]. *Knee Surg Relat Res*, 2022, 34(1): 17.
- [23] Pragadeeshwaran J, Paul S, Moge NM, et al. Changes in sagittal and axial plane alignment in medial opening wedge high tibial osteotomy: a prospective observational study[J]. *Musculoskelet Surg*, 2023, 107(1): 115-121.
- [24] 王兴山, 黄野, 柳剑, 等. 开放楔形胫骨高位截骨术后胫骨平台后倾和胫骨扭转改变的影像学分析 [J]. *中华外科杂志*, 2020, 58(6): 435-440.
- [25] Kambara S, Nakayama H, Kanto R, et al. Three dimensional CT analysis of the change in rotational alignment in double level osteotomy after double level osteotomy performed for varus osteoarthritic knees[J]. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol*, 2021, 25: 16-21.
- [26] Kuwashima U, Takeuchi R, Ishikawa H, et al. Comparison of torsional changes in the tibia following a lateral closed or medial open wedge high tibial osteotomy[J]. *Knee*, 2019, 26(2): 374-381.
- [27] Kim JH, Kim HY, Lee DH. Opening gap width influences distal tibial rotation below the osteotomy site following open wedge high tibial osteotomy[J]. *PLoS One*, 2020, 15(1): e0227969.
- [28] 张海龙, 姜春岩, 洪雷, 等. 内侧撑开胫骨高位截骨术中骨性合页与胫骨轴向旋转改变的三维 CT 模型研究 [J]. *中国运动医学杂志*, 2019, 38(8): 639-642.
- [29] Jörgens M, Keppler AM, Degen N, et al. Reliability of 3D planning and simulations of medial open wedge high tibial osteotomies[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2022, 30(2): 10225536221101699.
- [30] Chang SS, Lin SC, Chan YS, et al. How do lateral hinge and distraction affect three-dimensional rotation in open wedge high tibial osteotomy?[J]. *J Orthop Sci*, 2021, 26(6): 1056-1063.
- [31] Baumgarten KM, Meyers KN, Fealy S, et al. The coronal plane high tibial osteotomy. Part II: a comparison of axial rotation with the opening wedge high tibial osteotomy[J]. *HSS J*, 2007, 3(2): 155-158.
- [32] Yazdi H, Mallakzadeh M, Sadat Farshidfar S, et al. The effect of tibial rotation on knee medial and lateral compartment contact pressure[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(1): 79-83.
- [33] Suero EM, Hawi N, Westphal R, et al. The effect of distal tibial rotation during high tibial osteotomy on the contact pressures in the knee and ankle joints[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25(1): 299-305.

(收稿时间 : 2023-06-07)

(本文编辑 : 杨晓娟)