

# 关节内矢状面复位对胫骨平台骨折治疗的指导意义

张家凡<sup>1</sup>, 龙安华<sup>1</sup>, 韩大成<sup>1</sup>, 贾梓超<sup>2</sup>, 张亚奎<sup>1</sup>

(1. 首都医科大学附属北京潞河医院, 北京 101149; 2. 应急管理部应急总医院, 北京 100020)

**【摘要】** 胫骨平台骨折是累及胫骨近端关节面的骨折,其损伤机制复杂、骨折形态不一,且多伴有不同程度的软组织损伤,诊断治疗难度大。近年来的研究热点集中于解决胫骨平台后侧柱的复位与固定,因为临床上发现胫骨平台骨折术后残留矢状面的复位不足或复位丢失导致膝关节功能障碍。胫骨平台后倾角是描述胫骨矢状面力线的重要参数。在自然状态下,胫骨平台后倾角 (posterior tibial slope, PTS) 发生改变累及前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL)、后交叉韧带 (posterior cruciate ligament, PCL) 等膝关节周围软组织,影响膝关节稳定性。在全膝关节置换 (total knee arthroplasty, TKA) 中,选择合适的 PTS 能有效增加假体存留率,提高屈伸膝效能,有利于膝关节稳定。在创伤骨科领域,纠正矢状面畸形同样重要,需遵循“逆损伤机制”原则。定量评价胫骨平台骨折术后的矢状面复位情况,探讨矢状面复位对术后远期效果及并发症的影响,目前认识尚浅,有待进一步的临床和生物力学研究。

**【关键词】** 胫骨平台骨折; 矢状面畸形; 胫骨平台后倾角; 前交叉韧带; 生物力学  
中图分类号: R683.42

**DOI:** 10.12200/j.issn.1003-0034.20240268

## Guiding significance of intra-articular sagittal reduction in the treatment of tibial plateau fractures

ZHANG Jia-fan<sup>1</sup>, LONG An-hua<sup>1</sup>, HAN Da-cheng<sup>1</sup>, JIA Zi-chao<sup>2</sup>, ZHANG Ya-kui<sup>1</sup> (1. Beijing Luhe Hospital, Capital Medical University, Beijing 101149, China; 2. Emergency General Hospital, Beijing 100020, China)

**ABSTRACT** Tibial plateau fracture is a fracture involving the proximal articular surface of the tibia, and its injury mechanism is complex, the fracture morphology is different, and it is often accompanied by different degrees of soft tissue injury, which is difficult to diagnose and treat. In recent years, the research hotspot has focused on solving the reduction and fixation of the posterior lateral column of the tibial plateau, because it has been clinically found that the residual sagittal plane after tibial plateau fracture is insufficient reduction or loss of reduction leads to knee joint dysfunction. The posterior inclination angle of the tibial plateau is an important parameter to describe the sagittal alignment of the tibia. In the natural state, the posterior tibial slope (PTS) is altered to involve the soft tissues around the knee joint such as anterior cruciate ligament (ACL) and posterior cruciate ligament (PCL), which affects the stability of the knee joint. In total knee arthroplasty (TKA), choosing the appropriate PTS can effectively increase the prosthesis survival rate, improve the flexion and extension knee efficacy, which is beneficial to knee joint stability. In the field of orthopedic trauma, correction of sagittal deformity is equally important, following the principle of "reverse mechanism of injury". Quantitative evaluation of postoperative sagittal realignment of tibial plateau fractures and investigation of the effect of sagittal realignment on long-term outcomes and complications are still poorly understood and require further clinical and biomechanical studies.

**KEYWORDS** Tibial plateau fracture; Sagittal deformity; Posterior tibial slope; Anterior cruciate ligament; Biomechanics

胫骨平台骨折是指骨折线累及胫骨近端关节面的骨折,为关节内骨折。目前对于胫骨平台骨折的诊断和治疗还存在诸多争议,近年来也有很多研究进展集中于胫骨平台骨折治疗。在胫骨平台骨折分型及损伤机制等方面研究进展的推动下,胫骨平台骨折治疗的最核心原则(恢复下肢力线)从过去单纯注

重纠正内外翻畸形转变为冠状面与矢状面力线同样重要。胫骨平台后倾角 (posterior tibial slope, PTS) 是用于描述膝关节胫骨平台矢状位形态, PTS 角度大小代表胫骨平台的陡峭或平缓程度,是膝关节手术如全膝关节置换 (total knee arthroplasty, TKA)、前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 和 (或) 后交叉韧带 (posterior cruciate ligament, PCL) 重建术、胫骨高位截骨术的重要依据,也是定量描述胫骨平台矢状面力线的重要参数。如何利用 PTS 评价胫骨平

通信作者: 张亚奎 E-mail: zhangyakui@vip.sina.com

Corresponding author: ZHANG Ya-kui E-mail: zhangyakui@vip.sina.com

台骨折矢状面复位情况及复位丢失情况,以及矢状面畸形与胫骨平台骨折术后功能恢复的关系是将来研究的方向。为了厘清胫骨平台骨折矢状面复位或畸形在骨折手术治疗中的指导作用,本文尝试对此问题进行综述。

## 1 胫骨平台骨折治疗进展

### 1.1 损伤机制及术后风险

胫骨平台骨折是指骨折线累及胫骨近端关节面的骨折,约占全身骨折的 1.66%,占膝关节骨折的 26.1%,近年来发病率呈上升趋势<sup>[1]</sup>。此类骨折是系轴向应力、侧方应力或两者混合作用所致,表现为冠状面上的内外翻畸形和矢状面上的屈伸畸形。胫骨平台骨折诊断治疗较为复杂,治疗不当可能出现骨筋膜室综合征、感染、骨不连、关节畸形、膝关节不稳定、创伤性关节炎、关节僵硬等诸多并发症。SNOEKER 等<sup>[2]</sup>对青壮年不同类型膝关节损伤后发生膝关节骨性关节炎的风险进行队列研究,发现膝关节损伤尤其是关节内骨折是风险最高的危险因素,发生膝关节骨性关节炎的风险增加了近 6 倍。ASSINK 等<sup>[3]</sup>对 477 例胫骨平台骨折患者进行术后随访,发现 14% 患者最终因创伤性关节炎接受了 TKA 手术,术前骨折移位程度与术后下肢力线恢复情况(冠状面和矢状位)是预测关节炎及 TKA 的危险因素。

### 1.2 矢状面下肢力线的认识

胫骨平台骨折手术治疗的原则为优先恢复下肢力线,然后恢复平台宽度及关节面平整<sup>[4]</sup>。下肢力线包括冠状面力线和矢状面力线,医师往往重视纠正内、外翻畸形,即恢复冠状面力线,但对矢状面上的骨折移位却不太重视,也缺乏复位原则。胫骨平台骨折的经典分型为 Schatzker 分型,该分型基于 X 线,根据骨折在内外侧平台的位置和形态分型。罗从风等<sup>[5]</sup>提出基于 CT 的三柱骨折分型,分为内侧柱、外侧柱和后侧柱,强调了对后柱损伤及复位固定。STREUBEL 等<sup>[6]</sup>测量胫骨平台双髁骨折在矢状面的移位程度,发现外侧平台在矢状面上移位为 $-17^{\circ}\sim 37^{\circ}$ ,内侧平台则为 $-16^{\circ}\sim 31^{\circ}$ 。进入到胫骨平台骨折的三维时代,逐渐对骨折后在矢状面移位类型引起重视,一些特殊类型骨折如过伸或过屈位胫骨平台骨折成为研究的热点类型。过伸型胫骨平台骨折是在膝关节过伸位时受到轴向力的同时伴或不伴内外翻暴力造成的,其影像学特征为:(1)胫骨关节面正常后斜坡丢失引起的矢状面畸形。(2)后方骨皮质牵张性损伤。(3)前方骨质压缩。(4)冠状面内翻畸形常见<sup>[7]</sup>。GONZALEZ 等<sup>[8]</sup>在此基础上,扩展到了过伸外翻和单纯过伸损伤,包含了所有由过伸机制导致的胫骨平台骨折。过屈型胫骨平台骨折为膝关节在过

屈位时受到轴向力的同时伴或不伴内外翻暴力造成的,反映为矢状面上的过屈损伤。过屈性损伤影像学特征为胫骨后侧柱的骨折或塌陷伴有前方牵张性损伤,同样为矢状面畸形特点。

随着胫骨平台骨折的临床特点及损伤机制的研究,逐渐从单纯关注冠状面畸形转向同时重视胫骨平台在冠状面与矢状面上的损伤和移位。冠状面上的力线恢复即纠正胫骨平台内外翻,矢状面上则为恢复平台正常的后倾坡度。

## 2 胫骨平台后倾角的临床意义

### 2.1 PTS 定义及测量

随着对胫骨平台三维结构的深入理解,矢状面畸形越来越受到重视,通常用胫骨平台后倾角来描述矢状面畸形程度。PTS 定义为胫骨骨干长轴垂直线与胫骨平台后斜坡切线之间的夹角,可细分为内侧平台后倾角(m-PTS)和外侧平台后倾角(l-PTS),是评价胫骨平台矢状面力线的重要参数。PTS 在个体间差异较大,张树栋等<sup>[9]</sup>测量 25 具国人尸体标本,得到 X 线髓内定位 PTS 为 $(11.55\pm 3.60)^{\circ}$ 。郝岩等<sup>[10]</sup>测量了 160 例北京地区健康成人膝关节解剖参数,m-PTS 为 $(10.53\pm 2.01)^{\circ}$ ,l-PTS 为 $(10.34\pm 2.23)^{\circ}$ 。

### 2.2 PTS 在交叉韧带中的生物力学意义

从解剖上看,由于胫骨斜坡的存在,股胫关节应力传导,会在胫骨平面产生向前的剪切力,使胫骨相对股骨发生前移(anterior tibial translation, ATT)。PTS 会影响膝关节前后方向的稳定性,主要表现为胫骨前移。SHELburnE 等<sup>[11]</sup>在计算机模型中,发现胫骨剪切力、ACL 张力和胫骨前移三者与 PTS 呈线性关系,而且在站立位状态下,PTS 增加 $5^{\circ}$ 时,相应的 ATT 增加 2 mm。胫骨前移进而引起 ACL 所受应力增加,导致 ACL 损伤或功能丧失。大量研究表明 PTS 是 ACL 和(或)PCL 断裂的危险因素,HIRANAKA 等<sup>[12]</sup>将 ACL 损伤侧与健侧膝关节相比,发现 PTS 较大的患者倾向于通过前倾膝关节,使膝关节屈曲角较高,推测这种行为可能会降低胫骨剪切力,与 ACL 损伤相关。KUMAR PANIGRAHI 等<sup>[13]</sup>将 100 例 ACL 损伤患者与 100 例 ACL 正常者进行比较,测量发现 ACL 损伤患者的 m-PTS 和 l-PTS 均高于健康者,后者有统计学意义,认为 PTS 是 ACL 损伤的独立危险因素。

PTS 不仅影响 ACL 损伤情况,也与 ACL 重建术后效果密切相关。SAMUELSEN 等<sup>[14]</sup>对 10 例新鲜冷冻的男性膝关节进行了胫骨高位截骨术,发现 PTS 的增加会引起 ACL 重建术后移植物应力的线性增加。尼加提·阿不力米提等<sup>[15]</sup>在临床中发现 ACL 初次重建术失败患者多合并 PTS 异常增大,减小 PTS

的截骨能有效改善膝关节稳定性。另有学者对 ACL 重建术后患者进行了回顾性分析,将  $PTS \geq 17^\circ$  和  $ATT \geq 6 \text{ mm}$  确定为原发性 ACL 重建术失败的预测危险因素<sup>[16]</sup>。也有研究表明 m-PTS 和 l-PTS 不对称时,股骨和胫骨发生相对旋转移位,尤其在 m-PTS 较小而 l-PTS 较大时,可引起股骨外旋和胫骨内旋<sup>[17]</sup>,也会造成 ACL 所受应力增加,进而损伤 ACL。有关 PTS 与 PCL 损伤研究上,LI 等<sup>[18]</sup>分析比较了 46 例 PCL 损伤者和 46 例正常者,发现 m-PTS 减少以及 l-PTS/m-PTS 比值增加,是原发性 PCL 损伤的风险因素。WINKLER 等<sup>[19]</sup>对 PCL 重建术后患者进行了回顾性队列研究,发现 PCL 重建术后失败患者的 PTS 显著低于未失败者,并且 PTS 每降低  $1^\circ$ ,失败概率则增加 1.3 倍,认为 PTS 过小是 PCL 重建失败的危险因素。CONYER 等<sup>[20]</sup>纳入了 37 例 PCL 重建术后的膝关节,并进行后抽屉试验,得出阳性者平均 PTS 为  $6.2^\circ$ ,阴性者则为  $8.3^\circ$ ,尽管没有达到统计学意义,但仍提示了增加后倾斜率对限制胫骨相对后移有益。由此可见,PTS 发生改变累及 ACL、PCL 等膝关节周围软组织,影响膝关节稳定性,对预测交叉韧带损伤及再损伤风险具有一定积极意义。

### 2.3 PTS 在 TKA 中的生物力学意义

研究发现,当 PTS 增大时,胫骨和股骨接触点后移,负重点后移至平台后方,可以减少胫骨假体前方压力,但相应的会增加胫骨假体后方的压力及假体后方磨损;反之,减少 PTS,负重区前移至平台前方。在 TKA 中,如果 PTS 过大,可能引起膝关节前后向不稳定,假体向前半脱位,增加衬垫在后方的剪切应力,加速了衬垫磨损<sup>[21]</sup>;若 PTS 过小,则会引起作用于胫骨前方的压力过大,使假体下沉风险增高<sup>[22]</sup>。同时,假体的 PTS 改变还会影响膝关节的活动范围,BELLEMANS 等<sup>[23]</sup>发现 PTS 每增加  $1^\circ$ ,膝关节屈曲平均增加  $1.7^\circ$ 。WITTENBERG 等<sup>[24]</sup>归纳后认为,在 TKA 术后,已明确 PTS 与膝关节的运动范围以及伸膝结构的功能呈线性相关,建议范围在  $0^\circ \sim 10^\circ$  为宜。KANG 等<sup>[25]</sup>认为适当的胫骨假体后倾可使膝关节受到的应力均匀分布,从而提高假体的留存率。可见,PTS 的作用是双向的,既不能过大也不能过小,否则会增加假体的磨损,影响术后的远期效果。

对于保留交叉韧带的 TKA,是近几年研究的热点。OGAWA 等<sup>[26]</sup>对此类手术进行临床评估,发现 PTS 增加的患者有着更好的美国膝关节协会评分(Knee Society score, KSS)、忘记关节评分(forgotten joint score, FJS-12),术后满意度高,推测可能与屈曲时关节间隙负荷减少有关。KLEMT 等<sup>[27]</sup>测量了 30 例单侧十字韧带保留的 TKA 患者,研究认为,在

负重坐立以及单腿深弓步状态下,PTS 对 ACL 的应力影响显著。对于保留交叉韧带的 TKA 患者,PTS 不仅与患者术后功能、满意度相关,同样与交叉韧带应力关联,应予以重视。

### 3 矢状面畸形对胫骨平台骨折治疗的指导作用

PTS 影响自然状态下膝关节周围韧带张力、膝关节前后方向稳定性、胫骨平台压力分布及其屈伸运动范围。在 TKA 中,选择合适的后倾角度能增加假体存留率,提高屈伸膝效能,有利于膝关节稳定。在创伤骨科领域,胫骨平台骨折可能导致 PTS 发生改变,即关节内矢状面畸形,同样会对治疗结局带来深远影响。考虑到膝关节解剖特点以及 PTS 对周围软组织的生物力学效应,进行恰当的矢状面复位,达到维持膝关节稳定性,预防术后远期并发症,尤其在降低创伤性关节炎、避免后期 TKA 可能具有一定的意义。

#### 3.1 在创伤骨科领域对矢状面畸形的认识

对于胫骨平台骨折中出现的矢状面畸形,在分型以及临床层面的研究,逐渐引起了学者的重视。罗从凤等<sup>[5]</sup>强调了发生在矢状位上的后柱骨折,对 Schatzker 分型及矢状面畸形做了补充,突出了后柱诊断及治疗的重要意义。生物力学研究也证实胫骨平台后内侧骨折移位造成 PTS 增大,骨块  $>20 \text{ mm}$  者必须进行有效复位与固定<sup>[28]</sup>。一项多中心研究发现合并胫骨平台后柱骨折患者,术后运动能力恢复更差,主要原因是疼痛、活动范围受限及膝关节不稳定<sup>[29]</sup>。近年来热门的后方正中手术入路、后外侧手术入路、外侧 Frosch 入路等都是为了在后方对矢状面骨折移位进行直视下复位和固定。吕天润等<sup>[4]</sup>对过伸型胫骨平台骨折进行解剖复位有效固定,术后半年 PTS 仅减小  $0.2^\circ$ ,膝关节功能恢复良好,强调了纠正矢状面畸形并维持复位治疗的关键。ERDIL 等<sup>[30]</sup>研究了 126 例胫骨平台骨折患者,术后 PTS 与健侧无明显差异,测量双膝关节的稳定性没有差异,认为矢状面的力线对膝关节稳定起着重要作用,强调纠正矢状面畸形的重要性。

#### 3.2 矢状面畸形对胫骨平台骨折治疗的指导

关于如何解决矢状面畸形的问题,需遵循“逆损伤机制”原则,具体方法为,在过伸型胫骨平台骨折中,矢状位要实现前方支撑、后方抗牵张,过屈型胫骨平台骨折则为后方支撑、前方抗牵张。在 PTS 复位目标上,考虑不同个体间 PTS 差异较大,不论是关节置换还是创伤修复,均倾向于重建患者本来的生理性后倾坡度<sup>[24]</sup>。在胫骨平台骨折中,ERDIL 等<sup>[30]</sup>认为解剖复位 PTS 能最大程度恢复膝关节稳定性。考虑 m-PTS 和 l-PTS 平均差值在  $(-0.43 \pm 3.7)^\circ$ ,差异较

小,可以忽略不计<sup>[31]</sup>。因此恢复后倾坡度时,对 Schatzker I-IV 型,仅累及平台一侧的骨折,可参照相应的内侧或外侧平台后倾角进行解剖复位。针对胫骨双平台骨折,多伴有矢状面畸形,复位时缺乏参考标准。建议参照健侧胫骨平台 PTS 角度,尽可能恢复到原始角度<sup>[32]</sup>。复位后的 PTS 存在丢失风险,如何维持术后 PTS,同样要引起重视。考虑到患者术后功能锻炼、负重活动,特别是重度骨质疏松患者,复位后的关节面会出现不同程度的塌陷,引起 PTS 变化,对膝关节稳定性和功能可能会带来影响。杨成<sup>[32]</sup>对胫骨平台骨折术后患者进行了 1 年的随访,发现随着康复训练以及骨折端塑形改变 PTS 会逐渐增大,该研究队列中 PTS 变化较小,对膝关节的影响也可能较小。FAKOOR 等<sup>[33]</sup>对 Schatzker IV-V 型胫骨平台骨折手术中刻意过度复位纠正矢状面畸形,术后即刻 PTS 明显大于健侧,在术后 6 个月时 PTS 有所减小,但仍高于健侧。考虑骨折断端在愈合修复过程中的变化,往往骨折粉碎部位在愈合过程中会有塌陷,故是否需在术中根据骨折类型过度复位尚无定论,仍需进一步研究。

胫骨平台骨折是膝关节内骨折,通过对损伤机制及治疗方式的研究,逐渐认识到在纠正下肢力线时需要同时考虑冠状面和矢状面方向,尤其是通过前后方向复位固定,恢复 PTS 是保障膝关节功能恢复的重要因素。在手术中复位骨折时要在侧位影像中注意观察 PTS 的角度,过屈型骨折在后方支撑固定,过伸型骨折在前方支撑固定。关于术中与术后 PTS 变化的研究较少,矢状面复位对术后远期效果及并发症的认识尚浅,尤其缺乏力学机制的研究。建议在临床研究的同时进行生物力学研究,对临床结论加以验证和补充。相信通过对矢状面复位的研究,能够为治疗胫骨平台骨折提供一定的指导意义。

**利益冲突:**不存在利益冲突。

#### 参考文献

- [1] 张英泽. 临床创伤骨科流行病学[M]. 第 2 版. 北京:人民卫生出版社,2014.  
ZHANG Y Z. Clinical Epidemiology of Orthopedic Trauma[M]. 2nd ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2014. Chinese.
- [2] SNOEKER B, TURKIEWICZ A, MAGNUSSON K, et al. Risk of knee osteoarthritis after different types of knee injuries in young adults: a population-based cohort study[J]. Br J Sports Med, 2020, 54(12): 725-730.
- [3] ASSINK N, MOUMNI M E, KRAEIMA J, et al. Radiographic predictors of conversion to total knee arthroplasty after tibial plateau fracture surgery: results in a large multicenter cohort[J]. J Bone Joint Surg Am, 2023, 105(16): 1237-1245.
- [4] 吕天润, 洪顾麒, 陈群, 等. 过伸型胫骨平台骨折的临床治疗[J]. 创伤外科杂志, 2019, 21(4): 252-256.  
LYU T R, HONG G Q, CHEN Q, et al. Surgical treatment of hyper-
- extension tibial plateau fracture[J]. J Trauma Surg, 2019, 21(4): 252-256. Chinese.
- [5] 罗从风, 胡承方, 高洪, 等. 基于 CT 的胫骨平台骨折的三柱分型[J]. 中华创伤骨科杂志, 2009, 11(3): 201-205.  
LUO C F, HU C F, GAO H, et al. Three-Column Classification for tibial plateau fractures[J]. Chin J Orthop Trauma, 2009, 11(3): 201-205. Chinese.
- [6] STREUBEL P N, GLASGOW D, WONG A, et al. Sagittal plane deformity in bicondylar tibial plateau fractures[J]. J Orthop Trauma, 2011, 25(9): 560-565.
- [7] FIROOZABADI R, SCHNEIDKRAUT J, BEINGESSNER D, et al. Hyperextension Varus bicondylar tibial plateau fracture pattern: diagnosis and treatment strategies[J]. J Orthop Trauma, 2016, 30(5): e152-e157.
- [8] GONZALEZ L J, LOTT A, KONDA S, et al. The hyperextension tibial plateau fracture pattern: a predictor of poor outcome[J]. J Orthop Trauma, 2017, 31(11): e369-e374.
- [9] 张树栋, 曲广运, 张光辉, 等. 胫骨后倾角解剖与放射学测量评价[J]. 中华骨科杂志, 2000, 20(4): 210-211.  
ZHANG S D, QU G Y, ZHANG G H, et al. Evaluation of posterior slope of tibial plateau in Chinese[J]. Chin J Orthop, 2000, 20(4): 210-211. Chinese.
- [10] 郝岩, 张树明, 周密, 等. 北京地区健康成人膝关节测量及其临床意义[J]. 实用骨科杂志, 2017, 23(4): 323-327.  
HAO Y, ZHANG S M, ZHOU M, et al. Measurement and clinical value of the knee joint in normal people in Beijing[J]. J Pract Orthop, 2017, 23(4): 323-327. Chinese.
- [11] SHELBURNE K B, KIM H J, STERETT W I, et al. Effect of posterior tibial slope on knee biomechanics during functional activity[J]. J Orthop Res, 2011, 29(2): 223-231.
- [12] HIRANAKA Y, MURATSU H, TSUBOSAKA M, et al. Influence of posterior tibial slope on sagittal knee alignment with comparing contralateral knees of anterior cruciate ligament injured patients to healthy knees[J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 14071.
- [13] KUMAR PANIGRAHI T, DAS A, MOHANTY T, et al. Study of relationship of posterior tibial slope in anterior cruciate ligament injury[J]. J Orthop, 2020, 21: 487-490.
- [14] SAMUELSEN B T, AMAN Z S, KENNEDY M I, et al. Posterior medial Meniscus root tears potentiate the effect of increased tibial slope on anterior cruciate ligament graft forces[J]. Am J Sports Med, 2020, 48(2): 334-340.
- [15] 尼加提·阿不力米提, 李纲, 孙学斌, 等. 胫骨去后倾化截骨在合并后倾角异常增大患者前交叉韧带翻修术中的临床应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2022, 36(1): 52-57.  
NIJIATI ABULIMITI, LI G, SUN X B, et al. Clinical application of slope-reducing tibial osteotomy and anterior cruciate ligament revision in patients with abnormally increased posterior tibial slope[J]. Chin J Reparative Reconstr Surg, 2022, 36(1): 52-57. Chinese.
- [16] NI Q K, SONG G Y, ZHANG Z J, et al. Steep posterior tibial slope and excessive anterior tibial translation are predictive risk factors of primary anterior cruciate ligament reconstruction failure: a case-control study with prospectively collected data[J]. Am J Sports Med, 2020, 48(12): 2954-2961.
- [17] SONG G Y, ZHANG H, ZHANG J, et al. Greater static anterior tibial subluxation of the lateral compartment after an acute anterior

- cruciate ligament injury is associated with an increased posterior tibial slope[J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46(7): 1617-1623.
- [18] LI L Z, LI J, ZHOU P, et al. Decreased medial posterior tibial slope is associated with an increased risk of posterior cruciate ligament rupture[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2023, 31(7): 2966-2973.
- [19] WINKLER P W, WAGALA N N, CARROZZI S, et al. Low posterior tibial slope is associated with increased risk of PCL graft failure[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30(10): 3277-3286.
- [20] CONYER R T, ALLEN T G, REINHOLZ A K, et al. Effect of posterior tibial slope on outcomes after posterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Orthop J Sports Med*, 2024, 12(3): 23259671241236804.
- [21] BAI B, BAEZ J, TESTA N, et al. Effect of posterior cut angle on tibial component loading[J]. *J Arthroplasty*, 2000, 15(7): 916-920.
- [22] HOFMANN A A, BACHUS K N, WYATT R W. Effect of the tibial cut on subsidence following total knee arthroplasty[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1991, (269): 63-69.
- [23] BELLEMANS J, ROBIJNS F, DUERINCKX J, et al. The influence of tibial slope on maximal flexion after total knee arthroplasty[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2005, 13(3): 193-196.
- [24] WITTENBERG S, SENTUERK U, RENNEN L, et al. Importance of the tibial slope in knee arthroplasty[J]. *Orthopade*, 2020, 49(1): 10-17.
- [25] KANG K T, PARK J H, KOH Y G, et al. Biomechanical effects of posterior tibial slope on unicompartmental knee arthroplasty using finite element analysis[J]. *Biomed Mater Eng*, 2019, 30(2): 133-144.
- [26] OGAWA H, SENGOKU M, NAKAMURA Y, et al. Increase in the posterior tibial slope provides better joint awareness and patient satisfaction in cruciate-retaining total knee arthroplasty[J]. *J Knee Surg*, 2024, 37(4): 316-325.
- [27] KLEMT C, BOUNAJEM G, TIRUMALA V, et al. Posterior tibial slope increases anterior cruciate ligament stress in Bi-cruciate retaining total knee arthroplasty: in vivo kinematic analysis[J]. *J Knee Surg*, 2022, 35(7): 788-797.
- [28] CULLAR V G, MARTINEZ D, IMMERMANN I, et al. A biomechanical study of posteromedial tibial plateau fracture stability: do they all require fixation[J]. *J Orthop Trauma*, 2015, 29(7): 325-330.
- [29] QUINTENS L, VAN DEN BERG J, REUL M, et al. Poor sporting abilities after tibial plateau fractures involving the posterior column: how can we do better[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2021, 47(1): 201-209.
- [30] ERDIL M, YILDIZ F, KUYUCU E, et al. The effect of sagittal plane deformities after tibial plateau fractures to functions and instability of knee joint[J]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*, 2016, 83(1): 43-46.
- [31] HUDEK R, SCHMUTZ S, REGENFELDER F, et al. Novel measurement technique of the tibial slope on conventional MRI[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2009, 467(8): 2066-2072.
- [32] 杨成. 胫骨后倾角与胫骨平台骨折术后功能的相关性研究[D]. 太原: 山西医科大学, 2022.
- YANG C. Correlation between tibial kyphosis and postoperative function of tibial plateau fracture[D]. Taiyuan: Shanxi Medical University, 2022. Chinese.
- [33] FAKOOR M, HANAFI M G, MOHAMMADHOSEINI P, et al. Determination of posterior tibial slope changes after tibial plateau fracture fixation: a retrospective case series[J]. *Indian J Orthop*, 2023, 57(9): 1485-1489.

(收稿日期: 2024-06-30 本文编辑: 朱嘉)