

胫骨平台骨折术后后倾角对膝关节功能的影响

吴兴净,陶周善,程文静

(皖南医学院弋矶山医院骨科,芜湖 241000)

摘要 目的 探讨胫骨平台骨折术后后倾角的变化以及其与膝关节功能的关系。方法 收集 83 例行胫骨平台骨折手术的病例,测出患者健侧、术后患侧及最后一次随访患侧胫骨平台后倾角(PTS),评价并记录 Lysholm、HSS 及 Rasmussen 等三种系统的膝关节评分数据,根据术后 PTS 角度将患者分为 PTS < 9° 组和 PTS ≥ 9° 组。将两组三种膝关节功能评分均数行统计学分析,同时也将术后与最后随访 PTS 均数进行统计学处理。计算最后随访与健侧 PTS 的差值,将差值与最后一次随访膝关节功能数据进行相关性分析。结果 两组患者一般情况方面未见明显差异。PTS < 9° 组膝关节 Lysholm、HSS、Rasmussen 评分数据均明显高于 PTS ≥ 9° 组($P < 0.05$)。两组患者术后 PTS 与最后一次随访 PTS 相比,差异有统计学意义($P < 0.05$)。最后一次随访与健侧 PTS 之间的差值(b)与 Lysholm、HSS 及 Rasmussen 膝关节评分数据均具有相关性($P < 0.05$)。结论 术后康复锻炼导致 PTS 角度发生改变。PTS < 9° 组患者膝关节功能好于术后 PTS ≥ 9° 组患者,最后一次随访 PTS 与健侧 PTS 的差值与膝关节功能有相关性。因此手术中尽可能恢复平台骨折的解剖对位或控制术后 PTS < 9°。

关键词 胫骨平台后倾角;胫骨平台骨折;术后;骨折塌陷;膝关节功能评分;相关性

中图分类号 R 683.42

文献标志码 A **文章编号** 1000-1492(2024)09-1659-05

doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2024.09.023

胫骨平台骨折是临床上常见的骨折^[1]。其骨质丰富,抗损伤能力差。它通常由暴力导致,骨折后容易造成关节面塌陷^[2]。临床上常需手术治疗。手术复位及固定较难,尤其平台后柱移位骨折。若治疗不当,术后致残率极高。胫骨平台骨折治疗主要是恢复关节面的解剖复位,重建关节的稳定性。对于复杂粉碎性胫骨平台骨折,手术很难达到解剖复位,尤其是骨质疏松和粉碎性骨折患者。术后过早下地负重,骨折块将可能发生塌陷,后期影响平台关节面的修复,导致膝关节功能受限。

胫骨平台后倾角 (posterior tibial slope, PTS) 是膝关节重要的解剖结构,其大小直接影响到下肢矢状位上力线^[3]。在临床上,PTS 已被作为判定膝关节置换假体位置好坏的重要指标之一。然而其在胫骨平台骨折方面的影响鲜有报道。该研究回顾性分析胫骨平台骨折术后后倾角变化对膝关节功能的影响,从而为胫骨平台骨折治疗和预后功能康复提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究对象 患者纳入标准:① 年龄 ≥ 18 岁;② 新鲜且是闭合骨折;③ 临床分型属于 Schatzker IV、V、VI 患者;④ 术前无血管、神经损伤等临床症状的患者;⑤ 皮肤等软组织条件允许手术的患者;⑥ 必须是切开复位手术患者。排除标准:① 开放性骨折,多发骨折患者;② 术前有重要神经、血管损伤以及肌无力患者;③ 病理性骨折患者;④ 下肢关节炎及精神疾病者;⑤ 辅助检查资料不全者;⑥ 随访时间小于 1 年者。

收集 2019 年 12 月 - 2022 年 12 月在皖南医学院弋矶山医院骨科行胫骨平台骨折切开复位内固定手术治疗的 83 例患者。其中男 38 例,女 45 例;年龄 28 ~ 70(47.62 ± 5.71)岁。受伤原因:高处跌落 41 例,车祸伤 34 例,其他 8 例。患者入院后给予脱水消肿治疗 4 ~ 7 d,待软组织肿胀消退,皮肤创面愈合后给予手术。所有患者手术后随访时间都不少于 1 年。该研究取得皖南医学院弋矶山医院医学伦理委员会批准(批准号:2023097),并获得患者允许且签知情同意书。

1.2 治疗方法 患者入院后给予下肢护具或跟骨牵引固定、患肢抬高,冰敷和脱水消肿治疗。逐步完善术前相关检查。皮肤肿胀消退、皱褶出现后方给

2024-07-11 接收

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:82002322);2021 年度芜湖市科技计划项目(编号:2021yf62)

作者简介:吴兴净,男,副教授,副主任医师,硕士生导师,通信作者, E-mail:wuxingjing.123@163.com

予手术。椎管内麻醉或全麻,患者仰卧于手术台上,将患肢屈曲垫高,电动止血带充气止血。为预防感染术中应用抗生素静脉滴注。手术开始,根据影像学结果选择后内侧切口或内外侧联合切口。以内外侧联合切口为例:外旋膝关节,患侧膝关节内侧取纵向切口,切开皮肤、皮下脂肪等软组织、止血。显露“鹅足”肌腱附着点并保护,显露内侧平台骨折端,复位内侧平台骨折,骨缺损处必要时植入自体骨。克氏针固定。接着内旋患侧膝关节,在膝关节外侧取纵向弧形切口,显露平台外侧骨折端,掀开外侧骨折块,将平台塌陷的骨块复位,使关节面恢复平整,自体骨或人工自体骨植入骨缺损处,克氏针钻入临时固定复位后的骨折块。透视见骨折块复位良好,关节面平整。然后平台内、外侧的骨折块分别给予T型钢板和“排筏”钢板固定。活动患肢见骨折块固定稳固、关节灵活。透视见骨折复位满意、关节面平整。盐水冲洗切口,止血,由内至外依次缝合切口,包扎。松止血带。术后给予抗炎、止痛等治疗。3 d后根据患者情况活动膝关节,6周后患肢部分负重。复查X线片显示骨折愈合,方考虑患肢完全负重。

1.3 观察方法 本研究采用胫骨中上段解剖轴的垂线和胫骨平台前后缘的连线之间的夹角视为PTS(图1)。患者患侧PTS采用DR侧位片,因健侧不常规拍摄DR片,因此采用CT断层扫描,选用内侧平台矢状位像进行PTS测量。患者测量并记录健侧、术后复查患侧及最后回访患侧PTS数据。分别采用Lysholm、HSS、Rasmussen等膝关节功能评分标准对患侧术后膝关节功能进行评价,记录评分数据。统计患侧膝关节最后随访与健侧PTS数值之间差值b。本研究根据术后PTS测量结果,以及参照Gwinner et al^[4]以PTS = 9°作为临界值研究后又韧带的结果,将所有患者分为两组,即PTS < 9°组和PTS ≥ 9°组。

1.4 统计学处理 采用SPSS 19.0软件进行统计学处理。计数资料的分析采用χ²检验。对计量资料采用柯尔莫可洛夫-斯米洛夫检验(Kolmogorov-

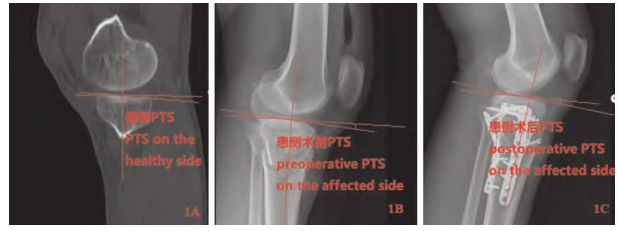


图1 PTS的测量

Fig. 1 Measurement of PTS

A: Healthy PTS; B: Preoperative PTS on the affected side; C: Post-operative PTS on the affected side

Smirnov test, K-S test)进行正态性分布检验。符合正态性分布的变量用 $\bar{x} \pm s$ 表示。计量资料的比较采用t检验,最后随访与健侧PTS角度的差值b采用Spearman检验进行验证和膝关节术后功能评分的相关性, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者术前一般资料比较 对本研究的所有患者计量资料的数据进行K-S正态性检验,除患侧膝关节最后随访与健侧PTS数值之间差值b不符合正态性分布($P < 0.05$)外,其余计量资料数据均满足正态性检验($P > 0.05$)。术前两组患者的一般资料比较未见明显差异(表1)。

2.2 两组患者术后膝关节功能分值比较 所有患者术中均顺利,术后切口皮肤未见感染和坏死,膝关节术后均未出现僵硬。患侧膝关节功能评分方面,PTS < 9°组最后随访膝关节在Lysholm、HSS、Rasmussen等方面数据均明显高于PTS ≥ 9°组($P < 0.05$)(表2)。

2.3 两组患者术后PTS变化和相关性分析 两组患者术后PTS分别与组内最后一次随访PTS相比,差异有统计学意义($P < 0.05$)(表3)。最后一次随访PTS与健侧PTS之间的差值(b)经K-S检验呈非正态分布,将差值b和膝关节功能分值进行Spearman相关性检验,发现差值(b)与Lysholm具有相关性

表1 两组患者术前一般资料比较($\bar{x} \pm s$)

Tab. 1 Comparison of preoperative general information between two groups of patients($\bar{x} \pm s$)

Group	Number of cases	Age (year)	Gender(n)		Course of disease (d)
			Male	Female	
PTS < 9°	47	48.39 ± 5.48	22	25	5.12 ± 0.72
PTS ≥ 9°	36	47.63 ± 7.58	16	20	5.08 ± 0.63
Statistical value(t/χ^2)		0.164	0.013	0.238	
P value		0.661	0.615	0.167	

表2 两组患者术后膝关节功能分值比较($\bar{x} \pm s$)Tab.2 Comparison of postoperative knee joint function scores between two groups of patients($\bar{x} \pm s$)

Category	PTS < 9° group (n = 47)	PTS ≥ 9° group (n = 36)	Independent samples t-test	
			t value	P value
Lysholm	79.63 ± 5.71	72.29 ± 4.32	2.574	0.019
HSS	82.73 ± 6.93	73.55 ± 5.11	2.438	0.023
Rasmussen	22.85 ± 2.37	20.17 ± 1.71	2.110	0.037

表3 术后PTS变化比较

Tab.3 Comparison of postoperative PTS changes

Group	n	Postoperative PTS ($\bar{x} \pm s$)	Last follow-up PTS ($\bar{x} \pm s$)	Paired t-test	
				t value	P value
PTS < 9°	47	8.37° ± 3.34°	8.97° ± 3.17°	4.627	0
PTS ≥ 9°	36	9.31° ± 2.18°	9.89° ± 1.97°	4.661	0

($r = 0.423, P = 0.037$), 差值(b)与HSS($r = 0.537, P = 0.013$)及Rasmussen($r = 0.479, P = 0.021$)两种膝关节评分也具有相关关系($P < 0.05$)。

3 讨论

胫骨平台骨折大多是建筑工人作业时高处坠落,或车祸等强暴力造成的关节内骨折^[1]。通常出现骨折块劈裂或塌陷。胫骨平台骨折治疗原则是恢复平台关节面的平整,下肢正常解剖关系及正常力线。若治疗不当,将严重影响膝关节功能的预后,出现膝关节疼痛、僵硬、行走困难等后遗症。尤其对于涉及胫骨平台后髁骨折。胫骨平台后侧被小腿后侧肌肉覆盖。伴有丰富的血管和神经,软组织肥厚,手术损伤大,骨折端显露困难。而常用的前外侧入路和内侧入路能够处理大部分平台骨折,但对于平台后侧骨折处理却较为困难。因此导致平台后髁骨折术后复位不良,胫骨平台矢状位上倾斜程度发生改变,对膝关节的功能造成极大影响。

PTS表示胫骨平台矢状位上倾斜程度,关系到术后膝关节的稳定。PTS过大,纵向挤压作用于膝关节时,胫骨前移,膝关节前十字韧带所受应力增加,前叉韧带损伤风险增大^[5-6]。PTS过小,膝关节后十字韧带松弛,稳定性差,加重膝关节软骨的磨损,导致半月板损伤和膝关节骨关节炎的风险增加^[7]。膝关节置换手术将PTS的角度视为衡量手术效果的标准之一。相关研究^[8]显示PTS > 7°或 < 0°是膝关节置换手术失败的重要原因,截骨后PTS角度正常者术后膝关节功能恢复明显优于PTS异常截骨患者。Gwinner et al^[4]以9°作为临界值,将膝关节后十字韧带损伤患者分为PTS异常组和正常组,观察发现异常组患者随PTS变小,术后膝关节

后方松弛,稳定性差。PTS增加,导致前叉韧带在胫骨和股骨上止点距离增大,前叉韧带上的应力增加^[9]。胫骨平台骨折的手术治疗,PTS角度值也常常被作为术中复位参考指标之一。单纯关于PTS对胫骨平台骨折术后膝关节功能的影响目前还很少有研究。

Schatzker法和三柱法是胫骨平台骨折常用分型。根据X线片和CT影像,将平台划分为内侧柱、外侧柱和后侧柱。根据骨折损伤的严重程度分为Schatzker I~VI型。其中IV~VI型通常由高能外伤所致,并且IV~VI型累及后柱病例占比较高^[10]。后柱骨折块若复位不当将对膝关节的运动和功能康复造成不利影响^[10]。膝关节后侧入路治疗平台后柱骨折临床上也取得一定的疗效。因后侧软组织肥厚,显露困难,给复位和固定造成困难。患者若有骨质疏松和术后膝关节过早负重,都可出现后柱塌陷,PTS增大,膝关节功能变差。

目前PTS角度测量主要分为髓内和髓外两种方法。本研究中采用经典的髓内胫骨中上段解剖轴测量法,其具有操作方便,不受年龄、体质量、身高等条件限制,可靠性好的优点^[11]。膝关节负重时,内侧平台承受的应力远大于外侧平台^[3]。临床研究^[12]显示胫骨后倾角与内侧平台PTS角度相关性密切。故本研究选用测量内侧平台PTS角度进行统计学比较,这样可比性更强。PTS的改变是否对胫骨平台生物力线产生影响。研究^[13]表明,PTS角度增加5°时,胫骨就前移2 mm。膝关节功能也随之受到影响。临床上关于膝关节功能的目前评分很多。本研究采用常用的Lysholm、HSS及Rasmussen等三种评分系统^[14]。这样可以更加全面的对患者膝关节功能进行评价。本研究通过对83例胫骨平

台骨折患者的 PTS 角度的测量,将所有患者的最后随访 PTS 与术后 PTS 进行比较发现角度变化不大,但差异明显。为进一步探明 PTS 角度变化对膝关节功能产生的影响,根据 Gwinner et al^[4]以 PTS =9° 作为临界值研究后又韧带的结果和术后测量的 PTS 将患者分为两组。PTS <9° 组在 Lysholm、HSS 及 Rasmussen 三种不同膝关节功能评分系统方面分值明显高于 PTS ≥9° 组。表明 PTS 的变化影响着胫骨平台骨折术后膝关节功能恢复程度。通过 Spearman 检验发现,最后随访 PTS 与健侧 PTS 数据的差值和胫骨平台骨折术后膝关节功能评分具有相关性,表明这种差值越小,术后膝关节功能恢复越好。说明后侧平台骨折块复位越好,术后膝关节稳定性就更强。由此可见,术后 PTS ≥9°,患者伴随着术后膝关节的负重,PTS 角度更大,关节稳定更差,造成膝关节面受损,促使膝关节骨性关节炎的发生。骨性关节炎是造成膝关节功能障碍的重要原因之一。王亮等^[3]研究发现胫骨平台骨折术后后倾角 >7° 是影响其术后膝关节功能重要的危险因素之一。当然胫骨平台骨折术后功能可能受多种因素影响。今后也将通过 Logistic 回归进一步分析影响胫骨平台骨折术后疗效的危险因素,检验本研究 PTS 是否为影响其预后的独立危险因素。

此次研究纳入的患者样本量不大,并且没有对患者年龄、性别、体质量等因素进行分层验证,可能结果产生偏倚。本研究中 PTS 结果基本都采用影像学测量获得,拍摄角度也会导致结果误差。今后将加大研究样本量,尽量对多种影响因素采取分层研究。同一患者手术前后影像学复查采取相同角度拍摄,以便取得更精确的数值。

综上所述,胫骨平台骨折术后由于膝关节屈曲或负重锻炼,PTS 角度可能会加大。术后 PTS <9° 组患者随访时膝关节功能明显好于术后 PTS ≥9° 组。并且最后随访 PTS 与健侧 PTS 分值越接近,患者术后膝关节功能就越好。因此,手术中借助影像学尽量恢复平台骨折的解剖对位或控制术后 PTS 角度,使术后 PTS 角度尽可能控制在 9° 以内。

参考文献

[1] Li K, Zhang S, Qiu X, et al. Optimal surgical timing and approach for tibial plateau fracture[J]. *Technol Health Care*, 2022, 30(S1):545-51. doi:10.3233/THC-228050.

[2] 邹吉龙,张 衍,刘 帅,等. 后正中入路排钉技术联合空心拉力螺钉治疗以后柱骨折为主的胫骨平台三柱骨折的疗效分析[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2021, 23(8):694-9. doi:10.3760/

ma.j.cn115530-20210204-00071.

[2] Zou J L, Zhang Y, Liu S, et al. Treatment of posterior-column dominating three-column tibial plateau fractures using raft-nailing and cannulated screwing via the posteromedian approach[J]. *Chin J Orthop Traum*, 2021, 23(8):694-9. doi:10.3760/cma.j.cn115530-20210204-00071.

[3] 王 亮,苏金平,于 鹏. 胫骨平台骨折术后膝关节功能的相关影响因素[J]. *临床骨科杂志*, 2024, 27(2):265-9. doi:10.3969/j.issn.1008-0287.2024.02.035.

[3] Wang L, Su J P, Yu P. Related influencing factors of knee joint function after tibial plateau fracture [J]. *J Clin Orthop*, 2024, 27(2):265-9. doi:10.3969/j.issn.1008-0287.2024.02.035.

[4] Gwinner C, Jung T M, Schatka I, et al. Posterior laxity increases over time after PCL reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27(2):389-96. doi:10.1007/s00167-018-5035-y.

[5] Bates N A, Mejia Jaramillo M C, Vargas M, et al. External loads associated with anterior cruciate ligament injuries increase the correlation between tibial slope and ligament strain during *in vitro* simulations of *in vivo* landings [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2019, 61:84-94. doi:10.1016/j.clinbiomech.2018.11.010.

[6] Bernhardson A S, Aman Z S, Dornan G J, et al. Tibial slope and its effect on force in anterior cruciate ligament grafts: Anterior cruciate ligament force increases linearly as posterior tibial slope increases[J]. *Am J Sports Med*, 2019, 47(2):296-302. doi:10.1177/0363546518820302.

[7] 蔡伟创,徐一宏,徐卫东. 膝关节后十字韧带重建术后后方松弛的原因与应对[J]. *中华骨科杂志*, 2023, 43(8):534-42. doi:10.3760/cma.j.cn121113-20220624-00358.

[7] Cai W C, Xu Y H, Xu W D. Causes analysis and coping strategies of posterior laxity after posterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Chin J Orthop*, 2023, 43(8):534-42. doi:10.3760/cma.j.cn121113-20220624-00358.

[8] 吴 浩,潘利平,刘 恒,等. 胫骨假体的不同后倾角度对内侧间室单髁置换术后膝关节功能的影响[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2021, 53(5):877-82. doi:10.19723/j.issn.1671-167X.2021.05.011.

[8] Wu H, Pan L P, Liu H, et al. Effect of posterior tibial slope on the short-term outcome in mobile-bearing unicompartmental knee arthroplasty[J]. *J Peking Univ(Health Sci)*, 2021, 53(5):877-82. doi:10.19723/j.issn.1671-167X.2021.05.011.

[9] 黄希萌,王信杰,毛子木,等. 胫骨平台后倾角与前交叉韧带灰度、体积和横截面积的相关性分析[J]. *中国微创外科杂志*, 2023, 29(3):192-6. doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2023.03.006.

[9] Huang X M, Wang X J, Mao Z M, et al. Correlation between posterior tibial slope and the gray scale, volume and cross-sectional area of anterior cruciate ligament [J]. *Chin J Minim Invasive Surg*, 2023, 29(3):192-6. doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2023.03.006.

[10] 郭卫中,苏 郁,林 旺,等. 两种牵引开放复位内固定胫骨平

- 台三柱骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30(14): 1249 - 54. doi:10.3977/j. issn. 1005 - 8478. 2022. 14. 01.
- [10] Guo W Z, Su Y, Lin W, et al. Comparison of two tractions in open reduction and internal fixation for three-column tibial plateau fractures[J]. Orthop J China, 2022, 30(14): 1249 - 54. doi:10.3977/j. issn. 1005 - 8478. 2022. 14. 01.
- [11] 宁东方, 苏伟, 姚顺哈, 等. 膝关节骨关节炎患者胫骨平台后倾角不同测量方法的相关性研究[J]. 中国骨与关节杂志, 2019, 8(12): 938 - 43. doi:10.3969/j. issn. 2095 - 252X. 2019. 12. 010.
- [11] Ning D F, Su W, Yao S H, et al. Correlation between different measurement methods of tibial plateau obliquity in patients with knee osteoarthritis[J]. Chinese J Bone Joint, 2019, 8(12): 938 - 43. doi:10.3969/j. issn. 2095 - 252X. 2019. 12. 010.
- [12] Mori S, Akagi M, Moritake A, et al. The medial tibial plateau can be used as a direct anatomical reference for the posterior tibial slope in medial unicompartmental knee arthroplasty[J]. J Knee Surg, 2023, 36(5): 555 - 61. doi: 10.1055/s - 0041 - 1740384.
- [13] 张艺, 亓建洪. 胫骨平台后倾角与半月板损伤的相关性研究进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(8): 721 - 4. doi:10.3977/j. issn. 1005 - 8478. 2020. 08. 11.
- [13] Zhang Y, Qi J H. Research progress on the correlation between posterior tibial slope and meniscus injury [J]. Orthop J China, 2020, 28(8): 721 - 4. doi:10.3977/j. issn. 1005 - 8478. 2020. 08. 11.
- [14] 王耀宗, 张英. 悬垂体位撬拨法治治疗过伸型胫骨平台骨折[J]. 中华骨科杂志, 2019, 39(2): 83 - 9. doi:10.3760/cma. j. issn. 0253 - 2352. 2019. 02. 003.
- [14] Wang Y Z, Zhang Y. Treatment of the hyperextension tibial plateau fracture with suspend position and leverage reduction [J]. Chin J Orthop, 2019, 39(2): 83 - 9. doi:10.3760/cma. j. issn. 0253 - 2352. 2019. 02. 003.

Effect of posterior tibial slope on knee joint function after tibial plateau fracture surgery

Wu Xingjing, Tao Zhoushan, Cheng Wenjing

(Dept of Orthopedics, Yijishan Hospital, Wannan Medical College, Wuhu 241000)

Abstract Objective To explore the changes in posterior tibial slope after tibial plateau fracture surgery and its relationship with knee joint function. **Methods** The cases of 83 patients who underwent tibial plateau fracture surgery were collected. The posterior tibial slope (PTS) of the patient's unaffected side, the affected side after surgery and the affected side at the last follow-up were measured. The knee joint score data of Lysholm, HSS and Rasmussen were evaluated and recorded, and the patients were divided into PTS < 9° group and PTS ≥ 9° group according to the PTS angle after operation. The mean of three kinds of knee joint function scores in the two groups were statistically analyzed, and the mean of PTS after operation and final follow-up was also statistically processed. The difference of PTS between the last follow-up and the healthy side was calculated, and the correlation between the difference and the knee joint function data at the last follow-up was analyzed. **Results** There was no significant difference in general conditions between the two groups of patients. The Lysholm, HSS, and Rasmussen score data of knee joints in PTS < 9° group were significantly higher than those in the PTS ≥ 9° group ($P < 0.05$). There was a significant difference in postoperative PTS between the two groups of patients compared to the last follow-up PTS ($P < 0.05$). The difference between the last follow-up and the PTS of the unaffected side (b) was correlated with Lysholm, HSS and Rasmussen knee score data ($P < 0.05$). **Conclusion** Postoperative rehabilitation exercise leads to changes in the angle of PTS. The knee joint function of patients in PTS < 9° group is better than that of patients in group PTS ≥ 9° after surgery. The difference between the last follow-up PTS and the healthy side PTS is correlated with knee joint function. Therefore, it is necessary to try to restore the anatomical alignment of the plateau fracture during surgery or control postoperative PTS < 9°.

Key words posterior tibial slope; tibial plateau fracture; postoperative; fracture collapse; knee joint function score; correlation

Fund programs National Natural Science Foundation of China (No. 82002322); 2021 Scientific and Technological Project of Wuhu (No. 2021yf62)

Corresponding author Wu Xingjing, E-mail: wuxingjing.123@163.com