

胫骨后倾角的测量及与后交叉韧带生物力学关系的研究进展

肖娟,皮红林,余志勇,王翰宇,汪黎
(湖北中医药大学附属襄阳市中医医院,湖北 襄阳 441000)

【摘要】 胫骨后倾角(tibial posterior slope,TPS)最可靠最便捷的测量方式及与后交叉韧带(posterior cruciate ligament,PCL)的生物力学关系存在较大争议。使用 X 线测量时,推荐使用下肢全长侧位 X 线片 4 等份法,其具有高度的可重复性及在日常诊疗过程的普遍性,但仅仅适用于胫骨旋转在 15° 以内的患者,当旋转超过 30° 时,平台内侧轮廓不好辨认,不再适用;若仅仅用于日常诊疗评估,当胫骨旋转角在 15° 以内时,膝关节侧位 X 线片也具有一定的参考意义,但精准度不能满足要求较高的临床研究。CT 测量方法虽能纠正胫骨旋转,但利用在三维 CT 重建上放置拟合点来测量的方法只适用于无关节退变的膝关节,较多的骨赘会影响利用拟合点的方式来确定的胫骨平面与真实胫骨平台的符合度,具有一定的局限性。MRI 不仅可以纠正胫骨旋转,而且使用胫骨解剖轴作为参考轴可以最大程度减少骨赘的影响从而测量出 TPS,是一种较好的测量方式。TPS 与 PCL 的生物力学关系,在胫骨截骨术中增大的 TPS 通过胫骨前移位间接减轻 PCL 的张力或直接减轻对 PCL 的负荷都提示可对其产生保护机制;在保留交叉韧带的全膝关节置换术中,TPS 的大小会影响股骨的回旋机制,当患膝存在 PCL 损伤时,应避免对其进行松解以免加重损伤,可通过适当增加 TPS 的方式减轻其应力;最有益于保护 PCL 的 TPS 范围尚无统一结论,7°~10° 被较多学者推荐为最有益于保护 PCL 的范围,但仍需根据患者骨质状态、手术方式等差异进行进一步研究。

【关键词】 胫骨; 后交叉韧带; 生物力学现象; 综述

中图分类号:R684

DOI:10.12200/j.issn.1003-0034.2022.09.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Progress on measurement of tibial posterior slope and its biomechanical relationship with posterior cruciate ligament
XIAO Juan,PI Hong-lin,YU Zhi-yong,WANG Han-yu,and WANG Li. Xiangyang Hospital of Traditional Chinese Medicine
Affiliated to Hubei University of Traditional Chinese Medicine,Xiangyang 441000,Hubei,China

ABSTRACT The most reliable and convenient measurement method of tibial posterior slope (TPS) and its biomechanical relationship with posterior cruciate ligament (PCL) are still controversial. For X-ray measurement,it is recommended to use full-length lateral X-ray of the lower extremity in quatrours section,which has advantage of highly repeatable and common in the daily diagnosis and treatment process,but it is only applicable to patients with tibial rotation within 15°. When the rotation exceeds 30°,it is difficult to identify the inner contour of platform and is no applicable. If it is only used for daily diagnosis and treatment evaluation,when tibial rotation angle is less than 15°,lateral knee X-ray also has a certain reference significance,but the accuracy could not meet requirements of higher clinical research. For CT measurement method,it could correct tibial rotation,but using the fitting point to measure tibial posterior slope on three-dimensional CT reconstruction is only applicable to knee joint without degeneration,more osteophyte affects the way of using fitting point to determine the plane of tibia with real tibia platform conformity degree,have some limitations. For measurement of MRI,it could not only correct tibial rotation,but also minimize the effect of osteophytes by using tibial anatomical axis as the reference axis,which is a good measurement method. For the biomechanical relationship between tibial posterior slope and tibial posterior slope,increased tibial posterior slope indirectly alleviates tension of PCL through tibial anterior displacement or directly reduces load on posterior cruciate ligament in tibial osteotomies,suggesting a protective mechanism for tibial posterior slope;in total knee arthroplasty with cruciate ligament preserved,the size of tibial posterior slope will affect roll back mechanism of femur. When affected knee with PCL injury,it should be avoid to release then aggravate injury,and the stress could be alleviated by increasing tibial posterior slope appropriately. There has been no unified conclusion on the range of tibial posterior slope that is most beneficial to PCL. The natural tibial posterior slope is between 7 ° and 10°,which is considered to be the most beneficial to protection of PCL,but further studies are needed according to the differences in patients' bone status,surgical methods and so on.

KEYWORDS Tibia; Posterior cruciate ligament; Biomechanical phenomena; Review

后交叉韧带 (posterior cruciate ligament, PCL) 是维持膝关节稳定的重要结构之一, 在防止胫骨后移的过程中承受了 85%~100% 的力^[1]。若 PCL 断裂, 膝关节将失去以 PCL 为轴的旋转作用。胫骨后倾角 (tibial posterior slope, TPS) 是膝关节矢状位形态的重要结构。TPS 的大小严重影响下肢矢状位力线的位置, 从而影响膝关节的稳定性, 导致胫骨截骨^[2]、交叉韧带重建^[3]等。TPS 的大小不仅可以导致原发的 PCL 损伤, 而且还会导致 PCL 重建术后, PCL 的再度撕裂。然而, 目前关于 TPS 与 PCL 的生物力学关系尚无统一概述, 对于 TPS 最可靠最便捷的测量方法仍存在争议, 导致 TPS 测量的结果差异较大。因此, 本文在这两方面对 TPS 做一论述, 旨在 TPS 准确测量的基础上进一步明确两者的生物力学关系。

1 胫骨后倾角的测量方法

1.1 X 线测量

X 线片是常规的测量方法, 胫骨的旋转会影响 TPS 的大小。但由于很难获得标准的膝关节侧位片即膝关节 0° 旋转时的侧位片, 因此使用 X 线片常规测量方法的准确性比不上可以在重建或三维成像中消除旋转误差的 CT 和 MRI。但由于其拍摄方法具有高度的可重复性及在日常诊疗过程的普遍性, 较多学者仍倾向于使用 X 线来测量。在操作过程中将胫骨平台内外侧旋转严格控制在 15° 以内, X 线片上平台内侧轮廓清晰可见, 对 TPS 的测量结果无过多影响^[4]; 当旋转>30° 时, 平台内侧轮廓不好辨认, 具体可通过腓骨和胫骨干重叠情况来判断旋转角, 当内旋>15° 时, 腓骨与胫骨干重叠, 当外旋>15° 时其间距加大, 也可根据股骨内外髁重叠情况或胫腓联合重叠及分离情况辨别, 利用此类方法可以初步判断出旋转的范围, 从而最大限度地减少测量误差。

笔者推荐使用 Akamatsu 等^[5]的测量方法。下肢全长侧位 X 线片拍摄方法为患者站立位, 双下肢完全伸直, 拍摄时角度取股骨内外侧髁重合。利用全长 X 线使用的方法将胫骨均分为 4 等份, 将近端第 1 等份和第 3 等份的中点连线定义为胫骨轴, 外侧平台最前端和最后端连线与胫骨轴垂线的夹角即为外侧 TPS (图 1a)。膝关节侧位片方法为在前后骨皮质中取距离胫骨近端 7 cm 和 12 cm 的 2 个点, 将它们的中点连线定义为胫骨轴 (图 1b)。其余按照下肢全长侧位 X 线片的方法测量出内外侧 TPS。

临床研究中, 多位学者已经证实 X 线片可以替代 CT 或 MRI 的观点^[5]。即使使用日常拍摄短的膝关节侧位 X 线片 (只包含胫骨平台下 16 cm) 仍能与

CT 和 MRI 显示良好的相似性, 但相比较短的膝关节侧位 X 线片, 下肢全长侧位 X 线片已被证实具有更高的精准度。推荐使用下肢全长侧位片 4 等分法行 TPS 测量, 采用站立位拍摄更符合膝关节生物力学状态且较易获得标准侧位片。若患者不能站立, 日常拍摄中较为常见的胫骨全长侧位片对其仍具有较高的替代性 (图 1a), 同时用图 1a 所示的测量方法, 为使用 X 线这一影像学测量的最好方法, 可以最大限度利用胫骨干解剖轴作为参考轴以减少误差。胫骨干解剖轴对比胫骨前侧骨皮质、胫骨后侧骨皮质、腓骨干解剖轴来说最不易受患者性别、年龄、体重、膝关节退变等影响。但两种方法具有较大的局限性, 只适用于胫骨旋转角度在 15° 以内的患者。

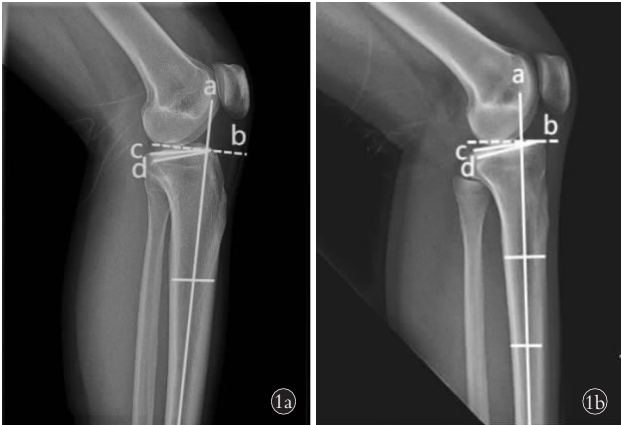


图 1 X 线片测量 **1a.** 下肢侧位 X 线片 a 为胫骨全长第 1、3 等份前后骨皮质中点连线, b 为 a 的垂线, c 为外侧胫骨平台最前端、最后端连线, 同理 d 为内侧, c、d 与 b 之夹角即为外侧、内侧胫骨后倾角 **1b.** 膝关节侧位 X 线片 a 为距离胫骨近端 7、12 cm 骨皮质中点连线 (若膝关节侧位片胫骨平台下仅有 10 cm, 取其下 5、10 cm 两点), b、c、d 同 1a, 同法测出内外侧胫骨后倾角

Fig.1 X-ray measurement **1a.** Lateral X-ray of full lower extremity length a refers to midpoint line of anterior and posterior cortex of the first and the third equal segments of full length of tibia, b refers to the vertical line of a, c refers to the line between anterior and posterior edges of lateral tibial plateau; similarly, d refers to the medial side, and angle between c, b and d, refers to the lateral, medial tibial posterior slope **1b.** Lateral X-ray of knee joint^[7] a refers to the midpoint line of bone cortex away 7 and 12 cm from proximal tibia (if there is only 10 cm under tibia platform on lateral X-ray of knee joint, take the two places that is 5 and 10 cm away from it), b, c and d are the same meaning as that in picture 1a, and the internal and external tibial posterior slope could be measured by the same method

1.2 CT 测量

三维 CT 可同时提供冠状位、矢状位、水平位的形态完成三维线的确定和各平面的角度测量。笔者

推荐 Pangaud 等^[6]使用三维 CT 重建的方法。胫骨轴定义为膝关节中心和踝关节中心的连线，测量外侧 TPS 时，在胫骨平台外侧表面拟合 15~20 个点，并由这些点构成一个平面，此平面与矢状面的交线确定为矢状轴，矢状轴与胫骨轴的夹角减去 90°即为外侧 TPS(图 2)。

利用在三维 CT 重建上放置拟合点的方法可以准确地测量出 TPS，但只适用于无关节退变的膝关节，膝关节退变的患者有不同程度的硬化骨及骨赘形成，甚至伴有关节间隙狭窄或内外翻畸形及关节面的塌陷，这些因素势必会影响利用拟合点的方式来确定胫骨平面与真实胫骨平台的符合度，具有较大的局限性。Amirtharaj 等^[7]在基于 CT 的 3D 模型上测量了 TPS，也证实了笔者这一观点。同时拟合面的确定需要借助专业的分析软件，操作相对比较复杂也是该测量方法的局限性。

1.3 MRI 测量

MRI 对软组织有较好的分辨率，可同时显示内外侧骨性倾斜角和软组织倾斜角，在需要鉴别时加以区分，也可像 CT 一样纠正胫骨旋转。笔者推荐 Hashemi 等^[8]的测量方法。首先，确定穿过胫股关节的横切面，并显示胫骨平台的背侧。在横切面中取内外侧最宽部做水平线，取通过此水平线的矢状位片测量后倾角。第 2 步，在矢状面中找到一个平面，清楚地显示胫骨的方向。在胫骨干的前部和后部皮质中分别取相隔 4~5 cm 的 2 个点(点位于所在骨皮质中心)，且上部或下部的 2 个点连线呈水平位。取同一水平位 2 点连线的中点，做 2 个中点连接并延长构建骨干轴。将骨干轴平移至所取内外侧矢状位片中，内外侧前后峰点的连线与骨干轴垂线的夹角即为 TPS(图 3)。

使用 MRI 进行测量时，可在研究者需要将骨

性倾斜角和软组织倾斜角进行区分，使测量更加精准，且此方法所选用的参考轴为胫骨干解剖轴，相对于其他参考轴，可以最大程度避免因胫骨前后骨皮质边缘骨赘的影响，是一种较好的测量方式。但需要注意在确定参考轴时避开胫骨结节的影响，胫骨结节会使参考轴近端前倾而造成测量误差。MRI 与 X 线片相比，其胫腓骨扫描范围相对有限(一般为胫骨平台下 5 cm)，当前研究对于有限的胫骨范围确定的参考轴是否会对测量造成影响尚无统一论。

若只需要单侧 TPS 来评估膝关节的生物力学状态时，内侧 TPS 更具代表性。内侧胫骨平台相对外侧胫骨平台承担更多负荷，且更为倾斜，同时其还具有更加平坦的几何结构使测量更加方便的优点。固当只需要测量一侧 TPS 时，相比对内侧平台的呈现会受旋转影响的 X 线测量方法而言，此方法应被推荐为首选方式。

1.4 TPS 测量方法的局限性

对于具有严重的膝关节退变，如存在大量骨赘、关节面塌陷、变形、关节脱位的患者，以上回顾分析的几种方法均不能准确测量出其 TPS；术中的 TPS 测量，如髓内定位法和髓外定位法仍需要进一步完善研究。

2 TPS 与 PCL 的生物力学关系

过小的 TPS 是原发性 PCL 断裂或 PCL 重建术等手术失败的重要原因^[9]。目前研究已经明确增大的 TPS 会通过前移休息位的胫骨从而改变膝关节力学和前交叉韧带负荷，使其损伤的风险增加。那么增大的 TPS 限制了胫骨后移，会减少 PCL 的负荷，使 PCL 损伤的风险减小吗？

2.1 胫骨截骨术中 TPS 与 PCL 的生物力学关系

PCL 具有限制胫骨后移，胫骨过伸，并有一定程度的限制小腿内旋、内收、外展的作用，在膝关节屈

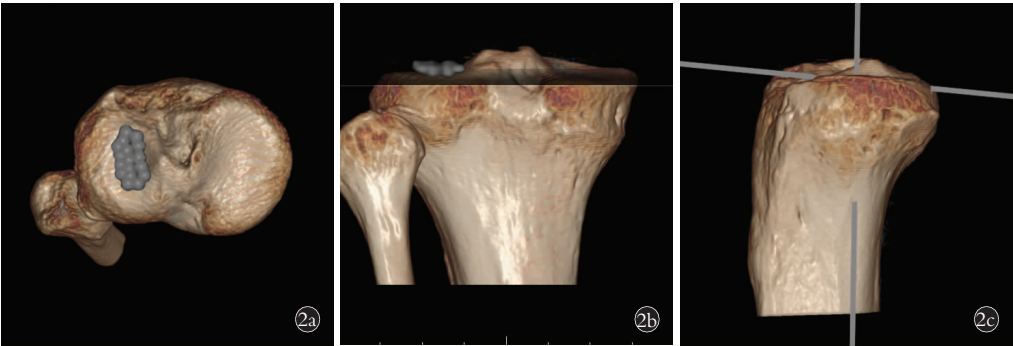


图 2 膝关节 CT 三维重建 2a. 轴位片显示在外侧胫骨平台放置 15~20 个拟合点 2b. 冠状位片显示绘制拟合点下缘构成的平面 2c. 矢状位片测量矢状轴与胫骨轴的夹角(减去 90°即为外侧胫骨后倾角)

Fig.2 CT 3D reconstruction of knee joint 2a. Axial view showed 15 to 20 fitting points were placed on lateral tibial plateau 2b. Coronal view showed plane formed by lower edge of fitting point 2c. Sagittal view angle between sagittal axis and tibial axis was measured (minus 90° is the lateral tibial posterior slope)

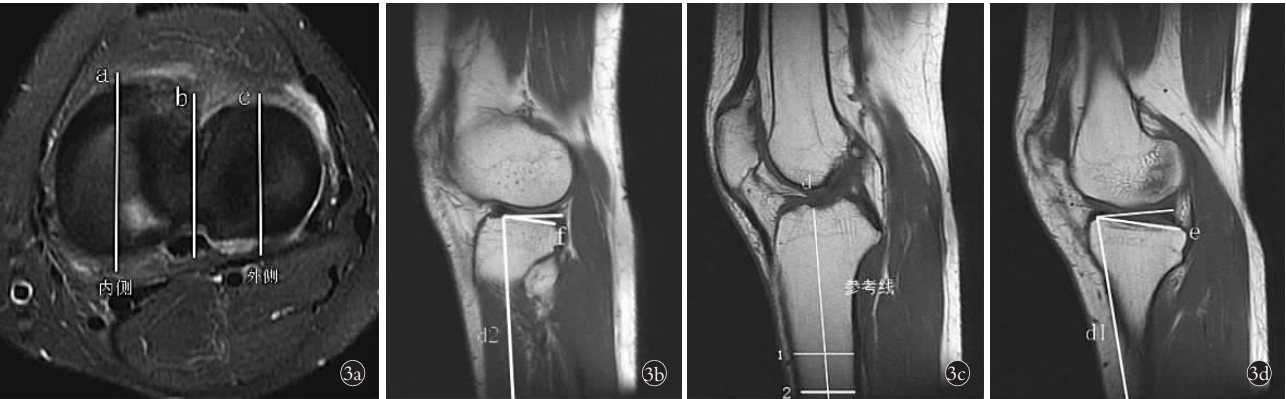


图 3 膝关节 MRI 3a. 轴位片显示膝关节 MRI 半月板层面, a 为测量内侧胫骨平台后倾角的矢状位片与此轴位片的交线, b 为骨干轴平面交线, c 为外侧 3b. 矢状位片显示线 1 线 2 为相距胫骨平台 4~5 cm 的 2 条平行线, 通过 2 条线中点的延长线 d 为骨干轴 3c. 矢状位片 d1 为线 d 平行线, 线 e 为胫骨平台两峰点连线, 其与 d1 垂线夹角即为内侧胫骨后倾角 3d. 矢状位片 d2 为线 d 平行线, f 为胫骨平台两峰点连线, 其与 d2 垂线夹角即为外侧胫骨后倾角

Fig.3 Magnetic resonance imaging scans of knee joint 3a. MRI on axial view showed meniscus level of knee joint, a referred to intersection line between sagittal radiograph measuring medial tibial posterior slope and this axial radiograph, b was intersection line of tibial axis, c was lateral intersection 3b. MRI on coronal view showed line 1 and 2 were two parallel lines 4 to 5 cm away from tibial plateau, and extension line d through midpoint of two lines was tibia shaft 3c. MRI on coronal view showed d1 was parallel line of d, and e was connection between two peak points of tibial plateau. Angle between vertical line of d1 and e was medial tibial posterior slope 3d. MRI on coronal view showed d2 was parallel line of d, f was the connection between two peak points of tibial plateau, and angle between vertical line of d2 and f was lateral tibial posterior slope

曲时最紧张。当胫骨后移增加时, PCL 在胫骨髁间嵴后方和股骨内上髁外侧面的起止点被拉长, 从而增加了 PCL 的张力, 逐步使 PCL 松弛断裂。有研究^[10]认为胫骨坡度不直接影响 PCL 的负荷, 但是增加的 TPS 会导致胫骨前位移的增加, 从而减少 PCL 的张力。在已有 PCL 损伤的膝关节中, 通过截骨术增加 TPS 可使 PCL 损伤的膝关节向前移位, 从而部分减少与 PCL 损伤相关的胫骨后移位, 以应对来自胫骨后侧和轴向的压缩负荷。Agneskirchner 等^[11]也支持这一理论, 他们发现在胫骨高位截骨术中, 内侧腔室的股股接触压力向前移动。

但也有研究^[12]显示胫骨坡度会直接影响 PCL 的负荷, 在下蹲的过程中, 其原本的胫股运动机制会使影响更加显著。当 TPS 从 1° 增加到 10° 的过程中, 通过模拟胫骨截骨, TPS 每增加 1°, PCL 的负荷减少 6 N, 当 TPS 过小时, 膝关节在反复的屈曲旋转运动中的长期牵拉作用或膝关节遭受后抽屉方向或轴向负荷的外伤时, PCL 撕裂或完全断裂的风险增加^[12]。总之, 无论通过哪种机制, 在胫骨截骨术中验证增加前位移从而对其形成保护机制还是在计算机模拟中得出直接减轻 PCL 的负荷, 都证实增大的 TPS 会对 PCL 产生保护作用, 但至于最佳范围, 目前尚无明确报道, 所有的研究均在研究者设定的范围内开展。

2.2 TPS 与全膝关节置换术中保留的 PCL 的生物力学关系

在保留 PCL 的全膝关节置换术中, 获得适当的

PCL 张力对于维持膝关节稳定性起着关键作用^[13-16]。胫股运动学分析显示由于股骨生理性回旋机制, 当 TPS 增加时, 股骨髁会下移, 同时内侧比外侧更明显。胫骨内侧 PCL 张力的降低主要是由于胫骨内侧相对于股骨的前移位导致, 在 TPS 增加时, 股骨髁由于回旋机制会下移使股骨髁产生一个后移位, 从而缩短了 PCL 起点与止点的距离; 而胫骨外侧较内侧虽然产生了较小的前移位, 但胫骨外侧外旋较内侧更大, 外旋时 PCL 的胫骨附着体更接近 PCL 的股骨附着体, 从而也减少 PCL 的张力。部分学者对此理论提供了数据支持, 他们发现随着 TPS 的增大(0°、3°、5°), PCL 撕裂伤的程度和损伤的数量在下降^[13], 或从 10° 降至 5°, PCL 张力显著增加^[15]。在保留 PCL 的全膝关节置换术中, TPS 的大小应由韧带状态、髁后软骨磨损位置等相关因素确定, 因此, 若此时患者原本存在 PCL 的损伤, 应避免对其进行松解加重损伤, 可通过适当增加 TPS 的方式减轻其应力, 对减少全膝关节置换术中保留的 PCL 损伤具有明确的指导意义。

3 总结及展望

原发的 PCL 损伤、PCL 重建术后和保留交叉韧带的全膝关节置换术后韧带的再损伤与 TPS 关系密切, 同时确定了平坦的 TPS 是 PCL 重建或保留 PCL 的全膝关节置换术 PCL 再断裂的重要原因之一。TPS 存在一个最佳的微妙区, 以避免 PCL 遭受不良作用力的伤害。但至于微妙区的范围, 至今尚无研究

得出结论。膝关节为人体最复杂的复合关节,因其固有的解剖结构的限制,TPS 过大或过小,都会对前交叉韧带等结构造成损伤,或严重影响关节的活动度,因此,研究者均在自己认可的 TPS 范围内进行研究,或从 $1^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ^[17],或从 $7^{\circ}\sim 15.3^{\circ}$ ^[10]等,研究者均已证实他们的研究范围内,增大的 TPS 会对 PCL 产生保护作用,但因其研究范围的不同,研究对象(临床病例、尸体上、计算机模拟等)的差异,目前尚无法确定最佳的 TPS 范围。但已有研究证实,TPS 在 $7^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 之间,众多外科医生根据在手术中应尽可能保持患者原有的解剖结构的理念,将其推荐为最有益于保护交叉韧带的范围^[18]。然而 $7^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的范围是否可使利益最大化,仍需要在临床实践中根据韧带的损伤情况、髌骨的磨损状况等评估每个膝关节的特殊性,参考推荐范围决定出最佳值。

目前有学者提出内侧 TPS 增大是 PCL 胫骨止点撕脱骨折的危险因素^[9],这一结论与本文结论并不矛盾,因其研究对象不同,PCL 断裂发生在韧带部位,而 PCL 胫骨止点撕脱骨折发生在韧带胫骨止点的骨组织,是当后向暴力足够大,以至于可以抵消因 TPS 增大所起到的保护作用时,较大的 TPS 影响了 PCL 胫骨止点的骨应力,从而导致其撕脱骨折,因此,当患者有骨质疏松症等影响骨应力的因素时,建议的 TPS 范围是否会影响骨应力并更易导致骨质疏松患者止点撕脱骨折仍需深入研究。具体到 PCL 重建术后,进行了单束或双束重建,已有 PCL 损伤的膝关节或先天性结构异常的患者,TPS 的建议数值应有所不同,然而目前文献中尚无这方面研究。上述研究数据虽在一定程度支持了 $7^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 为最有益于保护 PCL 的范围,但对国人是否仍为最佳范围尚不明确。因地域和生活习惯差异,不同地区人群的 TPS 亦有差异,因此,针对国人的相关性研究仍需深入。

参考文献

- [1] Hooper PR, Silko C, Malcolm TL, et al. Management of posterior cruciate ligament tibial avulsion injuries: a systematic review [J]. Am J Sports Med, 2018, 46(3): 734-742.
- [2] Ozel O, Yucel B, Mutlu S, et al. Changes in posterior tibial slope angle in patients undergoing open-wedge high tibial osteotomy for varus gonarthrosis [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2017, 25(1): 314-318.
- [3] Salmon L J, Heath E, Akrawi H, et al. 20-year outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autograft: the catastrophic effect of age and posterior tibial slope [J]. Am J Sports Med, 2018, 46(3): 531-543.
- [4] Ahmad R, Patel A, Mandalia V, et al. Posterior tibial slope: effect on, and interaction with, knee kinematics [J]. JBJS Rev, 2016, 4(4): e31-e36.
- [5] Akamatsu Y, Sotozawa M, Kobayashi H, et al. Usefulness of long tibial axis to measure medial tibial slope for opening wedge high tibial osteotomy [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016, 24(11): 3661-3667.
- [6] Pangaud C, Laumonerie P, Dagheaux L, et al. Measurement of the posterior tibial slope depends on ethnicity, sex, and lower limb alignment: a computed tomography analysis of 378 healthy participants [J]. Orthop J Sports Med, 2020, 8(1): 1810942682.
- [7] Amirtharaj MJ, Hardy BM, Kent RR, et al. Automated, accurate, and three-dimensional method for calculating sagittal slope of the tibial plateau [J]. J Biomech, 2018, 79: 212-217.
- [8] Hashemi J, Chandrashekar N, Gill B, et al. The geometry of the tibial plateau and its influence on the biomechanics of the tibiofemoral joint [J]. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(12): 2724-2734.
- [9] Bernhardtson AS, Aman ZS, DePhillipo NN, et al. Tibial slope and its effect on graft force in posterior cruciate ligament reconstructions [J]. Am J Sports Med, 2019, 47(5): 1168-1174.
- [10] Giffin JR, Stabile KJ, Zantop T, et al. Importance of tibial slope for stability of the posterior cruciate ligament deficient knee [J]. Am J Sports Med, 2007, 35(9): 1443-1449.
- [11] Agneskirchner JD, Hurschler C, Stukenborg-Colsman C, et al. Effect of high tibial flexion osteotomy on cartilage pressure and joint kinematics: a biomechanical study in human cadaveric knees. Winner of the AGA-DonJoy Award 2004 [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2004, 124(9): 575-584.
- [12] Bernhardtson AS, DePhillipo NN, Daney BT, et al. Posterior tibial slope and risk of posterior cruciate ligament injury [J]. Am J Sports Med, 2019, 47(2): 312-317.
- [13] Cabuk H, Imren Y, Tekin AC, et al. High varus angle and lower posterior tibial slope associated with PCL injury in cruciate retaining total knee arthroplasty: an MRI study [J]. J Knee Surg, 2018, 31(3): 277-283.
- [14] Sessa P, Fioravanti G, Giannicola G, et al. The risk of sacrificing the PCL in cruciate retaining total knee arthroplasty and the relationship to the sagittal inclination of the tibial plateau [J]. Knee, 2015, 22(1): 51-55.
- [15] Siebel T, Kafer W. In vitro investigation of posterior cruciate ligament strain following total knee arthroplasty [J]. Z Orthop Ihre Grenzgeb, 2006, 144(2): 164-171.
- [16] Kang KT, Koh YG, Son J, et al. A computational simulation study to determine the biomechanical influence of posterior condylar offset and tibial slope in cruciate retaining total knee arthroplasty [J]. Bone Joint Res, 2018, 7(1): 69-78.
- [17] Shelburne KB, Kim HJ, Sterett WI, et al. Effect of posterior tibial slope on knee biomechanics during functional activity [J]. J Orthop Res, 2011, 29(2): 223-231.
- [18] Weber P, Woiczinski M, Steinbrück A, et al. Increase in the tibial slope in unicondylar knee replacement: analysis of the effect on the kinematics and ligaments in a weight-bearing finite element model [J]. Biomed Res Int, 2018, 2018: 8743604.
- [19] 范宁, 藏磊, 郑永辰, 等. 髌间窝形态及胫骨平台倾斜角与后十字韧带胫骨止点撕脱骨折的相关性 [J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(17): 1197-1205.

FAN N, ZANG L, ZHENG YC, et al. The correlation between posterior cruciate ligament avulsion fracture and intercondylar notch and tibial slope [J]. Zhonghua Gu Ke Za Zhi, 2020, 40(17): 1197-1205. Chinese.

(收稿日期: 2021-07-12 本文编辑: 李宜)