

· 综 述 ·

胫骨平台解剖变异与前交叉韧带损伤的关系[△]

马 杰, 马 骞, 王胜红, 耿 彬*

(兰州大学第二医院, 甘肃兰州 730030)

摘要: 前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤是膝关节损伤中最常见的韧带损伤, 预防 ACL 损伤和鉴别与 ACL 损伤相关的危险因素成为近年来的研究热点。研究表明膝关节解剖变异是非接触性 ACL 损伤的主要危险因素, 包括股骨和胫骨的解剖变异。先前的研究大多将重点放在股骨解剖变异上, 而对胫骨平台相关的解剖变异甚少涉及, 且大多数研究的目的和结论仅基于胫骨平台某一具体形态学参数, 以此来分析 MRI 或 X 线图像中胫骨平台解剖形态的差异。因此, 本文就胫骨平台的解剖变异与 ACL 损伤的关系进行综述, 为临床医师提供参考。

关键词: 前交叉韧带损伤, 胫骨平台, 解剖变异, 危险因素, MRI, X 线

中图分类号: R687 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2022) 22-2063-05

Relationship between anatomical variation of tibial plateau and ACL injury // MA Jie, MA Qian, WANG Sheng-hong, GENG Bin. Second Hospital, Lanzhou University, Lanzhou 730030, China

Abstract: Anterior cruciate ligament (ACL) is the most common involved ligament in knee injury. Prevention of ACL injury and identification of risk factors related to ACL injury have become research hotspots in recent years. Studies have shown that knee anatomical variations are the main risk factors for non-contact ACL injury, including anatomical variations of femur and tibia. Previous studies have mostly focused on the anatomical differences of the femur, while the anatomical variations related to the tibial plateau are rarely involved. The result and conclusion of most studies are based on some specific morphological parameters of the tibial plateau measured on MRI or X-ray images. Therefore, this article reviews the relationship between anatomical variations of tibial plateau and ACL injury to provide a reference for clinicians.

Key words: ACL injury, tibial plateau, anatomical variation, risk factors, MRI, X-ray

胫骨平台是一个复杂的非对称的三维结构, 股胫关节面的接触方式系三维接触, 在每个维度上都包含某些独立的特征^[1]。每种特征对股胫关节间的移动、膝关节瞬时旋转中心的位置、锁膝机制, 尤其是 ACL 所受应力的生物力学等有直接影响^[2-6]。故胫骨平台的解剖形态在一定程度上决定了外力作用时关节内部 ACL 受力的特点。胫骨平台的解剖形态对 ACL 损伤的影响比较复杂, 不是单纯用某一形态学参数就能概括其特征, 因此在这方面的研究中多种测量参数指标被纳入进来。本文将所涉及到的形态学参数按照几何特性和数值特点归为 4 类, 分别是角度相关、长度相关、体积相关和相对比类形态学参数。

1 相关形态学参数研究及对比

1.1 角度相关形态学参数

冠状面胫骨倾斜角 (coronal tibial slope, CTS), 即胫骨纵轴垂线与胫骨平台内外侧最高点连线形成的夹角^[7]。多数研究表明 CTS 变化与 ACL 损伤没有明显的相关性, 而且研究结果与性别无关^[8-12]。

胫骨后倾角 (posterior tibial slope, PTS) 为胫骨纵轴垂线与胫骨平台的切线形成的夹角; 胫骨前斜角 (anterior tibial slope, ATS) 为胫骨纵轴垂线与经过前交叉韧带胫骨附着部位的直线形成的夹角^[9, 13]。胫骨后倾角在 MRI 上可分为外侧胫骨后倾角 (lateral posterior tibial slope, LTPS) 和内侧胫骨后倾角 (medial posterior tibial slope, MPTS), 在文献中也常常被称为内侧胫骨倾斜角 (medial tibial slope, MTS) 和外侧胫骨倾斜角 (lateral tibial slope, LTS)^[14]。也有研究者在

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2022.22.10

△基金项目: 兰州大学第二医院“萃英学子科研培育”计划项目 (编号: CYXZ2021-11)

作者简介: 马杰, 本科在读, (电话)15352116704, (电子信箱)majie2018@lzu.edu.cn

* 通信作者: 耿彬, (电话)18394531090, (电子信箱)cxxxf@foxmail.com

X线片中直接测量这一角度,因为X线成像时的密度叠加特性,此时不区分LTPS和MTPS,直接称其为PTS^[15]。

绝大多数研究显示病例组和对照组MTS差异与ACL损伤没有明显的相关性^[10, 16-22]。但有荟萃分析表明MTS增加使ACL损伤易感性增强,只是这种相关性没有LTS显著^[12, 23]。在不同年龄、不同职业和不同性别等组成的研究对象中LTS对ACL损伤的影响表现不尽一致。有研究表明LTS增加是非接触性ACL损伤的高危因素^[24]。Beynon^[8]的研究结论是女性LTS每增加1°,非接触性ACL损伤的风险就会增加21.7%,而在男性中则没有这种关联。Blanke^[10]的一项以高山滑雪运动员在休闲期间非接触性ACL损伤危险因素的研究显示,LTS和MTS与ACL撕裂风险无关。ATS参数的研究文献罕见,Alentorn-Geli^[25]的研究结果认为在男性中ATS降低是ACL损伤的一项危险因素。而Su等^[15]在对ACL完整组与ACL损伤组进行多变量logistic回归分析后,经年龄、性别和BMI调整后的模型中,显示ATS与ACL损伤无关。

1.2 长度相关形态学参数

内侧胫骨平台深度(medial tibial plateau depth, MTPD)为内侧胫骨平台前后最高点连线 and 与其相平行的胫骨平台切线之间的距离^[26]。MTPD是最常被研究的形态学参数之一^[14]。但有较多研究未发现MTPD与ACL损伤之间的联系^[10, 27]。Hashemi等^[11]最早将较浅的MTPD在全性别中确定为ACL损伤的一项危险因素。在男性比例较大的研究中没有发现此种关联,因此有学者将Hashemi的研究结果归因为其研究对象中女性比例较高^[19]。Khan等^[19]的研究也证实较浅的MTPD是女性发生ACL损伤的一项危险因素。这些研究提示男性和女性的ACL损伤危险因素可能不尽相同。外侧胫骨平台深度研究文献未见。

胫骨平台前后长度(tibial plateau anteroposterior length, TPAP)为胫骨平台前后最长距离,分为内侧胫骨平台长度(medial tibial plateau length, MTPL)和外侧胫骨平台长度(lateral tibial plateau length, LTPL)^[28]。在侧位X线片上测量时不分内外侧而直接称其为TPAP^[29]。不论在MRI还是X线片中,大多研究都显示TPAP的减小是ACL损伤的一项危险因素^[11, 27, 30, 31]。这种差异被Vasta等^[29]证明不论在男性还是女性中都是增加ACL损伤的一个危险因素。但Bisson等^[28]的研究结果显示只在男性中存在这种关联。

胫骨髁间嵴长度(tibial spine length)、胫骨髁间嵴宽度(tibial spine width)、胫骨髁间嵴高度(tibial spine height)和髁间隆起宽度(eminence width, EW)分别是MRI矢状面上髁间嵴层面前后最大距离、冠状面上内侧胫骨平台最低点至髁间嵴最高点在胫骨平台表面相平行的线上投影之间的距离、髁间嵴最高点至内侧胫骨平台最低点的垂直距离和内外侧髁间嵴最高点在胫骨平台表面相平行的线上投影之间的距离^[31, 32]。胫骨髁间嵴宽度(tibial spine width)、胫骨髁间嵴高度(tibial spine height)的测量区分内外侧。EW也可以在X线片上进行测量^[33]。前3种参数相关文献少见。Sturnick等^[31]对髁间嵴相关参数做了专门的研究,其研究结果表明不论在男性还是女性中,内侧和外侧胫骨髁间嵴长度(tibial spine length)、胫骨髁间嵴宽度(tibial spine width)和胫骨髁间嵴高度(tibial spine height)都与ACL发生损伤的风险无关。EW常用来估计ACL直径大小。一项为期4年的以美国某军校学员为研究对象的前瞻性队列研究结果显示,EW的值在ACL损伤组和对照组之间存在显著差异,在女性中这种差异更加明显^[34]。

胫骨平台曲率半径(tibial plateau radius of curvature, TPr)为矢状面上叠加在胫骨髁上1个圆的半径,该圆由特定方法来确定,使其恰好与胫骨髁重合^[30]。TPr相关参数目前只见于Wahl等^[30]发表的文章,该参数的测量被规定在膝关节矢状位MRI某一特定的层面,研究表明较小的外侧TPr是ACL损伤的危险因素之一。

1.3 体积相关形态学参数

胫骨髁间嵴体积(tibial spine volume),可分为内侧胫骨髁间嵴体积(medial spine volume, MedVol)外侧胫骨髁间嵴体积(lateral spine volume, LatVol)。在胫骨平台形态学研究中这类参数相关的研究罕见。胫骨髁间嵴体积的测量需要通过计算机将胫骨平台MRI数据在三维坐标系中重建来进行,Sturnick等^[31]的研究表明在男性中较小的MedVol增加了ACL损伤的风险,而在女性中则没有这种关联。该研究还发现与男性研究对象相比,女性研究对象MedVol较小而且MedVol对胫骨相对股骨前移、内旋和向内移位的限制更小。据此推测胫骨髁间嵴几何形状可能是所有女性的一个固有风险因素。

1.4 相对比类形态学参数

髁间嵴宽度指数(eminence width index, EWI)即髁间嵴宽度(eminence width, EW)/胫骨宽度(tibial width, TW),Xiao等^[33]和Uhorchak等^[32]的研究表

明, EWI 在 ACL 受损膝关节中与 ACL 正常膝关节存在明显的差异, 胫骨平台较小的 EWI 增加了 ACL 损伤的风险。

1.5 多重危险因素的联合可能增加 ACL 损伤的危险性

有研究认为 PTS 增加合并较浅的 MTPD 是 ACL 损伤的主要危险因素之一^[11], 这类研究提示多种形态学危险因素的联合出现可能会提高非接触性 ACL 损伤的概率。也有研究者将非形态学危险因素与形态学危险因素联合研究来探讨它们在 ACL 损伤中的作用, 如 Bojicic 等^[35]联合研究了 cBMI 和 LPTS 与 ACL 损伤的关系, 结果显示 BMI 平均值每增加 1 个单位同时合并 PTS 增加 1°, ACL 撕裂的概率增加 15%。

2 解剖形态差异与 ACL 损伤之间的可能机制

2.1 角度和长度参数的变化

Hohmann 等^[36]指出, 较大的 PTS 降低前交叉韧带主动肌群牵张反射的产生时长, 从而增加电机械反射延时出现的概率, 导致前交叉韧带保护肌群反应减慢, 增大前交叉韧带损伤风险。Herman 等^[37]还证实较大的 PTS 无论在胫骨处于静止状态还是动态时都可能导致胫骨过度前移, 从而增大前交叉韧带负荷。

也有研究者从多因素的角度对一些解剖形态的改变导致 ACL 损伤的机制作出推断。例如前述 PTS 增加合并较浅的 MTPD 会增加 ACL 损伤风险的研究, 该项研究称 PTS 增加合并较浅的 MTPD 时胫骨容易发生过度前移, 如果向前的力量超过 ACL 的最大承受能力, 将导致 ACL 的断裂^[11]。

未见研究阐述其他角度和和长度相关参数作用机制。

2.2 体积参数的变化

Sturnick 等^[31]在对髌间嵴体积的研究中认为内侧髌间嵴的楔形隆起形状在限制胫骨相对股骨内移时发挥一定的作用。MedVol 的减小降低了胫骨相对股骨内旋和向内移动时的阻力, 使 ACL 负荷增大, 从而增加 ACL 损伤的风险。

2.3 相对比类参数的变化

EWI 是 EW 相对 TW 的长度, 相关机制未见。按照其定义, EWI 可以间接反映 MedVol 大小^[32], 故其对 ACL 损伤的影响机制可能与 MedVol 类似。

3 临床应用探索与展望

3.1 ACL 损伤高危人群的识别

对于某种风险因素, 若依照统计学结果中形态学参数变化制定某一评判水准, 探索使膝关节 ACL 损伤的风险评估相对量化的方法, 让 ACL 损伤风险评估应用于运动医学领域预防咨询和高危患者识别中, 是值得期待的方向。

Dare 等^[16]在其对儿童和青少年的研究中发现当 LTS 的临界值设为 >4° 时, 对预测 ACL 损伤具有 76% 的敏感性和 75% 的特异性, 且 LTS 对预测 ACL 损伤的发生没有性别差异的影响。同时, 将上述提到的多重危险因素的联合即多种形态学相关的危险因素或者形态学危险因素联合非形态学危险因素应用于高危人群的识别以提高识别 ACL 损伤风险的特异度也是有意义的方向。此外, Vasta 等^[29]的研究发现联合 TPAP 和其他 4 项股骨形态学参数时, ROC 曲线下面积等于 0.967, 表明具有较高的识别准确度。

3.2 高危人群预防咨询及个体化运动建议

非接触性 ACL 损伤的发生率呈逐年上升的趋势^[14]。非接触性前交叉韧带损伤主要发生在体育活动过程中, 若能以某种形态学指标作为参考, 为个体化的预防作出指导也是这类研究的价值之一。滑雪运动中滑雪板前端受阻时膝关节外翻旋转、足球运动中移位防守以及奔跑中踢球和篮球运动中侧跳转身以及单腿落地是 ACL 损伤最经典的原因^[38]。高危人群避免参与这些运动是最直接的预防手段。

当前对此类实际应用的研究少之又少, 但在健康运动意识日益提高的情况下和精准医疗为导向的医学模式下, 以此类研究为基础的临床实践将会逐渐受到重视。

3.3 ACL 重建手术可行性和预后判断

ACL 损伤造成的膝关节失稳状态会加速膝关节各种病变的恶化进程, 尽早的检查和治疗是防止继发性损害的关键, 损伤后 ACL 重建术是重要的治疗手段之一。

以膝关节形态学参数的变化作为切入点是探讨 ACL 重建手术可行性的方向之一。已有研究者建议将胫骨平台倾斜角作为衡量水准, 以此判断 ACL 重建手术的形态学可行性。Christensen 等^[39]比较了有移植物断裂和无移植物断裂的 ACL 重建病例发现, 无论移植物类型如何, LTS 都是早期移植物失败的风险因素 (早期 ACL 移植失败的患者平均 LTS=8.4°, 对照组 LTS=6.5°; 斜率每增加 2°、4° 和 6° 分别导致移植失败的 OR 值为 1.6、2.4 和 3.8)。Grassi 等^[40]将 LPTS 确定为 ACL 重建失败最准确的解剖学预测

因子之一, 并认为 MRI 上 $>7.4^\circ$ 的任何角度都是高风险的 (敏感性 88%, 特异性 84%)。Arun 等^[41] 在对 30 例接受胫骨高位截骨术 (high tibial osteotomy, HTO) 和 ACL 重建患者的回顾性研究中指出, PTS 降低 5° 可以导致更好的功能评分和改善患者的预后。国内一项研究也表明 HTO 可显著改善交叉韧带重建治疗晚期前交叉韧带损伤的临床效果^[42]。而进一步的研究也证明 PTS 矫正联合 ACL 翻修术对膝关节稳定和 ACL 移植物状态有非常积极的作用^[43]。因此, 这类研究还对完善 ACL 重建术、降低术后再损伤风险有重要意义。

在预后研究方面, Kiapour 等^[44] 的研究结果证实了膝关节解剖对无后续移植物或对侧 ACL 损伤的患者 ACL 重建结果的重要性, CTS 和 PTS 的增加以及 MTPD 的减少会导致术后 7 年的不良结果。Salmon 等^[45] 的一项关于自体腘绳肌腱重建前交叉韧带术后 20 年疗效观察的研究显示, $PTS \geq 12^\circ$ 是术后再次发生 ACL 损伤的最强预测因子, 其负面影响在青少年中最为明显 (移植物存活率 22%)。这类研究提示合适的胫骨平台解剖形态可能是 ACL 重建的必要条件。

总之, 多种胫骨平台形态学参数变化与 ACL 损伤相关, 这种解剖差异能通过多种机制直接作用于 ACL 使其损伤或者使 ACL 的保护因素减弱而增加其损伤的风险。此类研究对 ACL 损伤的预防、识别、治疗和预后判断具有重要的临床价值, 以此类研究为基础的临床证据将会给高危人群和患者提供更加完善的预防手段和治疗方案, 带来更好的预后。

参考文献

- [1] Okazaki Y, Furumatsu T, Kodama Y, et al. Steep posterior slope and shallow concave shape of the medial tibial plateau are risk factors for medial meniscus posterior root tears [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 29 (1): 44-50.
- [2] Shultz SJ, Schmitz RJ. Tibial plateau geometry influences lower extremity biomechanics during landing [J]. *Am J Sports Med*, 2012, 40 (9): 2029-2036.
- [3] Beaulieu ML, Ashton-Miller JA, Wojtys EM. Loading mechanisms of the anterior cruciate ligament [J/OL]. *Sports Biomech*, 2022. Online ahead of print. doi: 10.1080/14763141.2021.1916578.
- [4] Wang D, Kent RN 3rd, Amirtharaj MJ, et al. Tibiofemoral kinematics during compressive loading of the acl-intact and acl-sectioned knee: roles of tibial slope, medial eminence volume, and anterior laxity [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2019, 101 (12): 1085-1092.
- [5] Lansdown D, Ma CB. The Influence of tibial and femoral bone morphology on knee kinematics in the anterior cruciate ligament injured knee [J]. *Clin Sports Med*, 2018, 37 (1): 127-136.
- [6] Nelitz M, Seitz AM, Bauer J, et al. Increasing posterior tibial slope does not raise anterior cruciate ligament strain but decreases tibial rotation ability [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2013, 28 (3): 285-290.
- [7] 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.
- [8] Beynon BD, Vacek PM, Sturmeck DR, et al. Geometric profile of the tibial plateau cartilage surface is associated with the risk of non-contact anterior cruciate ligament injury [J]. *J Orthop Res*, 2014, 32 (1): 61-68.
- [9] Kizilgoz V, Sivrioglu AK, Ulusoy GR, et al. Analysis of the risk factors for anterior cruciate ligament injury: an investigation of structural tendencies [J]. *Clin Imaging*, 2018, 50: 20-30.
- [10] Blanke F, Kiapour AM, Haenle M, et al. Risk of Noncontact anterior cruciate ligament injuries is not associated with slope and concavity of the tibial plateau in recreational alpine skiers: a magnetic resonance imaging-based case-control study of 121 patients [J]. *Am J Sports Med*, 2016, 44 (6): 1508-1514.
- [11] Hashemi J, Chandrashekar N, Mansouri H, et al. Shallow medial tibial plateau and steep medial and lateral tibial slopes: new risk factors for anterior cruciate ligament injuries [J]. *Am J Sports Med*, 2010, 38 (1): 54-62.
- [12] Wang YL, Yang T, Zeng C, et al. Association between tibial plateau slopes and anterior cruciate ligament injury: a meta-analysis [J]. *Arthroscopy*, 2017, 33 (6): 1248-1259.
- [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): 721-724.
- [14] Bayer S, Meredith SJ, Wilson KW, et al. Knee morphological risk factors for anterior cruciate ligament injury: a systematic review [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2020, 102 (8): 703-718.
- [15] Su AW, Bogunovic L, Smith MV, et al. Medial tibial slope determined by plain radiography is not associated with primary or recurrent anterior cruciate ligament tears [J]. *J Knee Surg*, 2020, 33 (1): 22-28.
- [16] Dare DM, Fabricant PD, McCarthy MM, et al. Increased lateral tibial slope is a risk factor for pediatric anterior cruciate ligament injury: an mri-based case-control study of 152 patients [J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43 (7): 1632-1639.
- [17] Rahnamai-Azar AA, Yaseen Z, Van Eck CF, et al. Increased lateral tibial plateau slope predisposes male college football players to anterior cruciate ligament injury [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2016, 98 (12): 1001-1006.
- [18] Shen X, Xiao J, Yang Y, et al. Multivariable analysis of anatomic risk factors for anterior cruciate ligament injury in active individuals [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2019, 139 (9): 1277-1285.
- [19] Khan MS, Seon JK, Song EK. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: assessment of tibial plateau anatomic variables on conventional MRI using a new combined method [J]. *Int Orthop*, 2011, 35 (8): 1251-1256.
- [20] Vyas S, Van Eck CF, Vyas N, et al. Increased medial tibial slope

- in teenage pediatric population with open physes and anterior cruciate ligament injuries [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2011, 19 (3) : 372-377.
- [21] Shen L, Jin ZG, Dong QR, et al. Anatomical risk factors of anterior cruciate ligament injury [J]. *Chin Med J*, 2018, 131 (24) : 2960-2970.
- [22] Hohmann E, Tetsworth K, Glatt V, et al. Medial and lateral posterior tibial slope are independent risk factors for noncontact acl injury in both men and women [J]. *Orthop J Sports Med*, 2021, 9 (8) : 23259671211015940.
- [23] Zeng C, Cheng L, Wei J, et al. The influence of the tibial plateau slopes on injury of the anterior cruciate ligament: a meta-analysis [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22 (1) : 53-65.
- [24] 王斌, 徐青镭, 孙磊. 胫骨平台后倾角与非接触性前交叉韧带损伤的相关性 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2015, 23 (12) : 1083-1085.
- [25] Alentorn-Geli E, Pelfort X, Mingo F, et al. An evaluation of the association between radiographic intercondylar notch narrowing and anterior cruciate ligament injury in men: the notch angle is a better parameter than notch width [J]. *Arthroscopy*, 2015, 31 (10) : 2004-2013.
- [26] Choi WR, Yang JH, Jeong SY, et al. MRI comparison of injury mechanism and anatomical factors between sexes in non-contact anterior cruciate ligament injuries [J]. *PLoS One*, 2019, 14 (8) : e0219586.
- [27] Fernandes MS, Pereira R, Andrade R, et al. Is the femoral lateral condyle's bone morphology the trochlea of the ACL [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2017, 25 (1) : 207-214.
- [28] Bisson LJ, Gurske-Deperio J. Axial and sagittal knee geometry as a risk factor for noncontact anterior cruciate ligament tear: a case-control study [J]. *Arthroscopy*, 2010, 26 (7) : 901-906.
- [29] Vasta S, Andrade R, Pereira R, et al. Bone morphology and morphometry of the lateral femoral condyle is a risk factor for ACL injury [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26 (9) : 2817-2825.
- [30] Wahl CJ, Westermann RW, Blaisdell GY, et al. An association of lateral knee sagittal anatomic factors with non-contact ACL injury: sex or geometry [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2012, 94 (3) : 217-226.
- [31] Sturnick DR, Argentieri EC, Vacek PM, et al. A decreased volume of the medial tibial spine is associated with an increased risk of suffering an anterior cruciate ligament injury for males but not females [J]. *J Orthop Res*, 2014, 32 (11) : 1451-1457.
- [32] Uhorchak JM, Scoville CR, Williams GN, et al. Risk factors associated with noncontact injury of the anterior cruciate ligament: a prospective four-year evaluation of 859 West Point cadets [J]. *Am J Sports Med*, 2003, 31 (6) : 831-842.
- [33] Xiao WF, Yang T, Cui Y, et al. Risk factors for noncontact anterior cruciate ligament injury: Analysis of parameters in proximal tibia using anteroposterior radiography [J]. *J Int Med Res*, 2016, 44 (1) : 157-163.
- [34] Todd MS, Lalliss S, Garcia E, et al. The relationship between posterior tibial slope and anterior cruciate ligament injuries [J]. *Am J Sports Med*, 2010, 38 (1) : 63-67.
- [35] Bojicic KM, Beaulieu ML, Imaizumi Krieger DY, et al. Association between lateral posterior tibial slope, body mass index, and acl injury risk [J]. *Orthop J Sports Med*, 2017, 5 (2) : 1-6.
- [36] Hohmann E, Bryant A, Reaburn P, et al. Is there a correlation between posterior tibial slope and non-contact anterior cruciate ligament injuries [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2011, 19 (Suppl 1) : S109-S114.
- [37] Herman BV, Giffin JR. High tibial osteotomy in the ACL-deficient knee with medial compartment osteoarthritis [J]. *J Orthop Traumatol*, 2016, 17 (3) : 277-285.
- [38] Schneider A, Si-Mohamed S, Magnussen RA, et al. Tibiofemoral joint congruence is lower in females with ACL injuries than males with ACL injuries [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26 (5) : 1375-1383.
- [39] Christensen JJ, Krych AJ, Engasser WM, et al. Lateral tibial posterior slope is increased in patients with early graft failure after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43 (10) : 2510-2514.
- [40] Grassi A, Signorelli C, Urrizola F, et al. Patients with failed anterior cruciate ligament reconstruction have an increased posterior lateral tibial plateau slope: a case-controlled study [J]. *Arthroscopy*, 2019, 35 (4) : 1172-1182.
- [41] Arun GR, Kumaraswamy V, Rajan D, et al. Long-term follow up of single-stage anterior cruciate ligament reconstruction and high tibial osteotomy and its relation with posterior tibial slope [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2016, 136 (4) : 505-511.
- [42] 冉鹤, 张锐. 韧带重建联合胫骨高位截骨治疗晚期前交叉韧带损伤 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (24) : 2241-2245.
- [43] Rozinthe A, Van Rooij F, Demey G, et al. Tibial slope correction combined with second revision ACLR grants good clinical outcomes and prevents graft rupture at 7-15-year follow-up [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30 (7) : 2336-3441.
- [44] Kiapour AM, Yang DS, Badger GJ, et al. Anatomic features of the tibial plateau predict outcomes of ACL reconstruction within 7 years after surgery [J]. *Am J Sports Med*, 2019, 47 (2) : 303-311.
- [45] Salmon LJ, 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.

(收稿:2021-10-11 修回:2022-07-01)

(同行评议专家:曹云刚 李鹏 叶向阳)

(本文编辑:宁桦)