DOI:10.16016/j.2097-0927.202204037

基于 MRI 图像分析股骨滑车高度发育不良的股骨髁形态学特点

袁 茂,李 佳,盛 波,邱蓝玉,肖智博,吕发金,吕富荣 400016 重庆,重庆医科大学附属第一医院放射科

[摘要] **目的** 基于 MRI 图像定量测量股骨髁形态学参数,分析股骨滑车高度发育不良的股骨髁前后部几何形状对髌骨不稳(patellar instability,PI)的影响。**方法** 回顾性筛选 2014 年 1 月至 2021 年 1 月在我科接受 MRI 检查的股骨滑车高度发育不良患者 74 名,共 82 例膝关节 MRI 图像。根据临床诊断和放射影像学检查,进一步将其分为髌骨脱位组(45 例)和无髌骨脱位组(37 例)。在 MRI 图像上定量测量两组膝关节股骨髁相关形态学参数,包括后髁角(PCA)、髁内外侧宽度(MLW)、内侧后髁宽度(MPCW)、外侧后髁宽度(LPCW)、内侧前髁长度(MACL)、外侧前髁长度(LACL)、内侧后髁长度(MPCL)和外侧后髁长度(LPCL)。使用组内相关系数(ICC)评估 MRI 定量测量的观察者内部和观察者之间的可靠性。**结果** 髌骨脱位组的 MPCW、LACL 均小于无髌骨脱位组($P<0.05$),而组间 PCA、MLW、LPCW、MACL、MPCL、LPCL 差异均无统计学意义。所有参数的测量结果在观察者内和观察者之间具有较好的一致性(ICC≥0.80)。**结论** 髌骨脱位患者的股骨外侧前髁更短,股骨内侧后髁更窄,可能是导致滑车高度发育不良患者发生脱位的危险因素。

[关键词] 髌骨不稳;滑车发育不良;股骨髁;形态学
[中图法分类号] R322.71; R445.2; R681.1 [文献标志码] A

Morphological characteristics of femoral condyle in patients with high-grade femoral trochlear dysplasia based on MRI images

YUAN Mao, LI Jia, SHENG Bo, QIU Lanyu, XIAO Zhibo, LYU Fajin, LYU Furong Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, 400016, China

[**Abstract**] **Objective** To quantitatively measure the morphological parameters of femoral condyle based on MRI images so as to determine the effect of anterior-posterior femoral condyle geometry on patellar instability (PI) in patients with high-grade femoral trochlear dysplasia. **Methods** A total of 82 series of knee joint MRI images from 74 patients with high-grade femoral trochlear dysplasia who underwent MRI scanning in our hospital from January 2014 to January 2021 were retrospectively selected. According to the results of clinical diagnosis and radiological imaging, they were further divided into patellar dislocation group ($n=45$) and non-patellar dislocation group ($n=37$). Subsequently, the morphological parameters related to the femoral condyle of knee joint were measured quantitatively in the MRI images, including posterior condylar angle (PCA), width of medial-lateral epicondyle (MLW), medial posterior condyle width (MPCW), lateral posterior condyle width (LPCW), medial anterior condyle length (MACL), lateral anterior condyle length (LACL), medial posterior condyle length (MPCL), and lateral posterior condyle length (LPCL). Intraclass correlation coefficient (ICC) was used to assess the intra- and inter-observer reliability of the quantitative MRI measurements. **Results** The MPCW and LACL values were significantly lower in the patellar dislocation group than the non-patellar dislocation group ($P<0.05$), whereas there were no statistical differences in PCA, MLW, LPCW, MACL, MPCL and LPCL values between the 2 groups. The measurement results of all parameters had good consistency within and among the observers (ICC≥0.80). **Conclusion** The patients of

[基金项目] 重庆市科学技术委员会技术创新与应用示范(社会民生类重点)项目(cstc2018jscx-mszdX0042)
[通信作者] 吕富荣,E-mail:lfr918@sina.com

2097-0927/Copyright © 2022,陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

patellar dislocation have shorter lateral anterior femoral condyle and narrower medial posterior femoral condyle, which may be risk factors for dislocation in those with high-grade trochlear dysplasia.

[**Key words**] patellar instability; trochlear dysplasia; femoral condyle; morphology

Supported by the Key Project of Technological Innovation and Application Demonstration (Social Livelihood) of Chongqing Science and Technology Commission (cstc2018jscx-mszdX0042). Corresponding author: LYU Furong, E-mail: lfr918@sina.com

髌骨不稳(patellar instability,PI)是一种多因素病因的疾病,包括滑车发育不良、过度偏侧的胫骨结节、旋转畸形、髌骨倾斜和髌骨高位等[1-3]。在这些危险因素中,股骨滑车发育不良被证明是与复发性PI最显著相关的解剖学因素[2]。DEJOUR等[1]发现85%的复发性PI患者存在股骨滑车发育不良。股骨滑车发育不良被描述为较浅的滑车沟和滑车沟形态异常,在膝关节伸展期间无法为髌骨提供足够的骨稳定性而易导致髌骨外侧脱位[4-6]。根据Dejour分型[7]可将滑车发育不良分为:A型(滑车形态正常,但较正常浅)、B型(扁平或凸形滑车)、C型(滑车小关节不对称伴内侧髁发育不良)和D型(滑车小关节不对称加峭壁征)。LIPPACHER等[8]将滑车发育不良又分为低度(A型)和高度(B、C和D型)。滑车高度发育不良患者滑车沟形态异常,更不足以防止髌骨外侧脱位[7,9]。根据滑车发育不良的严重程度,明确区分滑车低度和高度发育不良对于预后和治疗至关重要[10-12]。

研究表明,股骨后髁形态异常可能也与PI相关[13-15]。股骨后外侧髁发育不良可引起膝关节外翻,是PI的危险因素之一[16]。有研究发现在滑车发育不良的患者中,其股骨远端骨性解剖结构往往也存在异常,较大的股骨内侧髁和较小的股骨外侧髁会引起膝关节屈曲期间股骨相对于胫骨外旋,可能会导致髌骨倾斜或半脱位[14-15,17]。ROGER等[14]和YANG等[16]研究表明,股骨髁前部和后部的畸形更倾向于联合畸形,而非孤立存在。在临床实践中,我们发现在滑车高度发育不良的患者中,部分患者会发生复发性髌骨脱位,而部分患者则不会发生脱位。虽然已有不少研究探讨了股骨后髁形态学特征与PI之间的相关性,然而,在具有滑车高度发育不良的脱位患者和无脱位患者的股骨髁形态是否存在差异,目前尚不清楚。

因此,本研究对滑车高度发育不良患者的股骨髁前后部的形态学参数进行了定量测量,以评估髌骨脱位和无脱位的滑车高度发育不良患者的股骨髁形态学差异,旨在探讨股骨髁前后部的几何形态特征对PI的影响,并帮助骨科医师选择最佳治疗方法。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性筛选2014年1月至2021年1月在我科接受MRI检查的股骨滑车高度发育不良的患者74名,共82例膝关节MRI图像。所有被诊断为滑车高度发育不良的患者被分为髌骨脱位组(45例)和无髌骨脱位组(37例),其中髌骨脱位组为有1次及以上髌骨脱位,且能够通过临床及影像学证据明确髌骨脱位诊断的患者。排除标准:①存在严重的骨关节炎(≥KL 2级)或炎性关节炎;②有膝关节手术或肿瘤病史;③缺乏高质量的MRI图像以进行准确的图像评估;④临床记录不完整,髌骨病史不详。图1展示了患者选择过程。所有临床信息通过查阅电子病历获得,如果病历不确定,则通过电话收集病史。本研究获得本院伦理审查委员会批准(伦理编号:2021-202)。

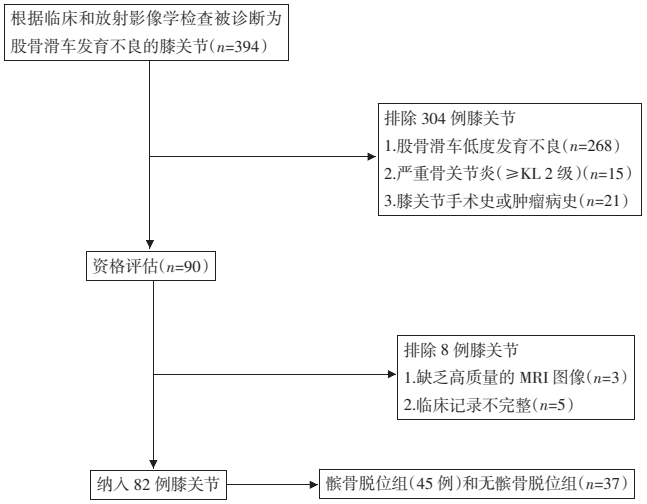


图1 滑车高度发育不良患者选择流程图

1.2 仪器与方法

MRI扫描使用1.5-T MRI设备(Magnetom Essenza; Siemens Healthcare)和四肢矩阵膝关节线圈(Tim线圈)进行。成像方案如下:矢状位和冠状位T1自旋回波(重复时间/回波时间306/12 ms,视野16 cm,矩阵大小320×320,层厚4 mm),矢状位T2自旋回波(重复时间/回波时间3 220/99 ms,视野16 cm,矩阵大小320×320,层厚4 mm),矢状位和冠状位脂肪饱和加权自旋回波(重复时间/回波时间2 800/38 ms视野16 cm,矩阵大小256×256,层厚4 mm),横断面脂肪饱和自旋回波(重复时间/回波时间2 800/51 ms,视野16 cm,矩阵大小232×256,层厚4 mm)。

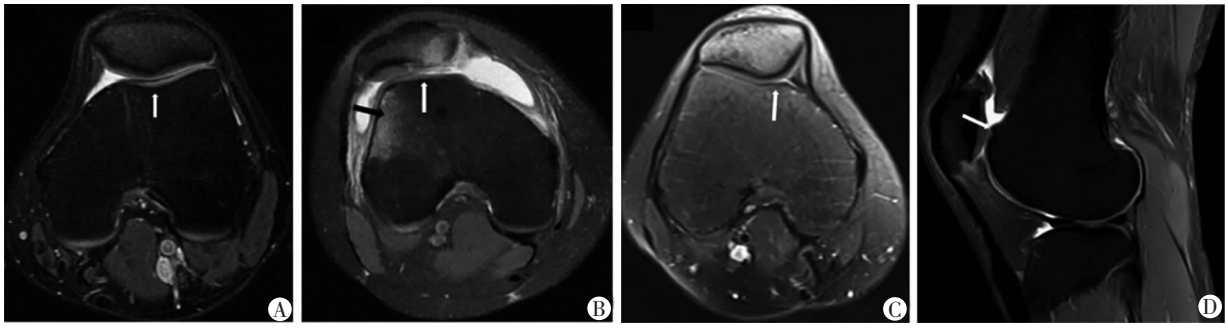
1.3 图像评估及参数测量

股骨滑车发育不良评估和分类的层面为股骨滑车出现完整软骨覆盖的最近端 MRI 层面(图 2)。MRI 图像上股骨髁前后部形态学参数的测量由 2 名具有 5 年以上临床经验的骨肌放射诊断医师独立进行,间隔 4 周后,其中 1 名医师再次独立测量。参照 VAN HAVER 等[18]和 IMAI 等[17]的方法进行测量。以下参数在同一 MRI 层面上对每个膝关节进行测量。

在 MRI 轴位图像上,解剖髁上轴(anatomical epicondylar axis,AEA)是股骨内上髁与外上髁最凸点之间的连线,而 AEA 的长度被定义为股骨髁内外侧宽度(medial-lateral width,MLW)。股骨后髁线(posterior femoral condylar line,PFCL)是平行于双侧后髁突皮质边缘的线。后髁角(posterior condylar angle,PCA)被定义为 AEA 和 PFCL 之间的角度(图 3A)。

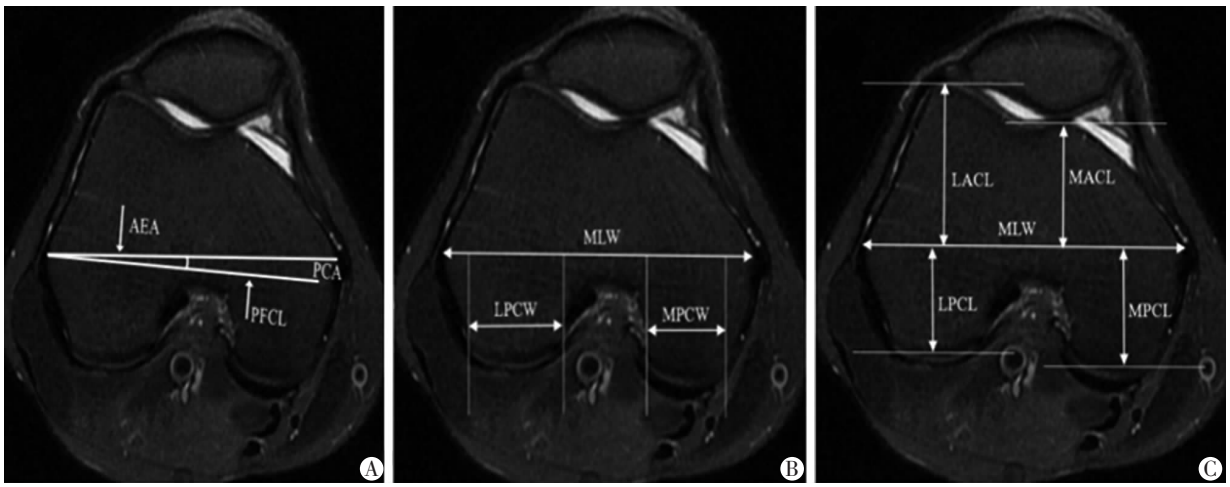
在内-外(medial-lateral,ML)方向上,过内侧和外侧后髁的左侧和右侧的最凸点作垂直于 MLW 的直线。内侧后髁宽度(medial posterior condyle width,MPCW)被定义为内侧后髁左、右最凸点之间的距离。外侧后髁宽度(lateral posterior condyle width,LPCW)被定义为外侧后髁左、右最凸点之间的距离(图 3B)。

在前-后(anterior-posterior,AP)方向上,过股骨髁前部内侧和外侧的最凸点作垂直于 MLW 的线。内侧前髁长度(medial anterior condyle length,MACL)和外侧前髁长度(lateral anterior condyle length,LACL)分别定义为股骨内侧前髁的最凸点和股骨外侧前髁的最凸点到 MLW 的距离。同样,内侧后髁长度(medial posterior condyle length,MPCL)和外侧后髁长度(lateral posterior condyle length,LPCL)分别定义为股骨内侧后髁最凸点和股骨外侧后髁最凸点到 MLW 的距离(图 3C)。



A:A 型发育不良　轴位图像显示有 1 个较浅的滑车(箭头);B:B 型发育不良　轴位图像显示平坦或凸起的滑车(白色箭头)和近期脱位引起的骨髓水肿(黑色箭头);C:C 型发育不良　轴位图像显示滑车关节面不对称,内侧髁发育不良(箭头);D:D 型发育不良　矢状位图像显示峭壁征(箭头)

图 2　MRI 图像上滑车发育不良的 Dejour 分型



A:后髁角(PCA)的测量　PCA:解剖髁上轴(AEA)和股骨后髁线(PFCL)之间的角度;B:股骨髁宽度的测量　MLW:内外侧髁宽度;MPCW:内侧后髁宽度;LPCW:外侧后髁宽度;C:股骨髁长度的测量　MACL:内侧前髁长度;LACL:外侧前髁长度;MPCL:内侧后髁长度;LPCL:外侧后髁长度

图 3　股骨髁形态学参数的测量

1.4 统计学分析

使用 SPSS 26.0 软件进行统计分析。两组性别及检查部位以频数和百分率表示,采用卡方检验进行组间比较;具有正态分布的连续变量以 $\bar{x}\pm s$ 表示,并用独立样本 t 检验比较两组间 MRI 测量值差异;非正态分布的连续变量以中位数 $M(P_{25},P_{75})$ 表示,并对两组测量值进行 Mann-Whitney U 检验。采用组内相关系数(ICC)评估 MRI 定量测量的观察者内和观察者间的可靠性。$P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者的人口统计学信息

髌骨脱位组纳入 38 名患者,其中男性 11 名,女性 27 名;年龄 12~34(19.24±6.78)岁;共 45 例膝关节(右膝 27 例,左膝 18 例)。无髌骨脱位组纳入 36 名患者,其中男性 12 名,女性 24 名;年龄 13~57(29.54±12.59)岁;共 37 例膝关节(右膝 14 例,左膝 23 例)。两组患者年龄、受检膝关节左右侧部位差异有统计学意义($P<0.05$),而性别差异无统计学意义($P>0.05$)。

2.2 观察者内部和观察者之间测量的可靠性

如表 1 所示,所有测量值的观察者内和观察者间可靠性都较高。PCA、MLW、MPCW、LPCW、MACL、LACL、MPCL 和 LPCL 的 intra-ICC 范围为 0.891~0.997,inter-ICC 范围为 0.808~0.997。

表 1 各测量参数一致性分析

测量参数	观察者内 ICC 指数(95% *CI*)	观察者间 ICC 指数(95% *CI*)
PCA	0.891(0.772~0.948)	0.870(0.728~0.938)
MLW	0.997(0.994~0.999)	0.997(0.993~0.998)
MPCW	0.979(0.956~0.990)	0.831(0.645~0.920)
LPCW	0.955(0.905~0.978)	0.808(0.597~0.909)
MACL	0.990(0.979~0.995)	0.917(0.826~0~961)
LACL	0.969(0.936~0.985)	0.922(0.836~0~963)
MPCL	0.989(0.978~0.995)	0.961(0.919~0.982)
LPCL	0.982(0.963~0.990)	0.866(0.719~0.936)

2.3 宽度测量值

如表 2 所示,在 ML 方向上,与无髌骨脱位组相比,髌骨脱位组的 MPCW 较小($P<0.05$)。两组间 PCA、MLW 和 LPCW 差异均无统计学意义。

2.4 长度测量值

如表 2 所示,在 AP 方向上,组间 LACL 差异具有统计学意义($P<0.05$),髌骨脱位组的 LACL 小于无髌骨脱位组。两组间 MACL、MPCL、LPCL 差异均无统计学意义。

表 2 两组形态学测量参数分析结果[$\bar{x}\pm s$,$M(P_{25},P_{75})$]

测量参数	髌骨脱位组($n=45$)	无髌骨脱位组($n=37$)	t/Z 值	P 值
PCA/(°)	6.79±2.88	7.43±2.10	−1.124	0.264
ML				
MLW/mm	72.50(67.30,77.70)	72.80(70.65,80.25)	−1.198	0.231
MPCW/mm	22.31±2.53	23.73±2.41	−2.585	0.012
LPCW/mm	19.29±2.56	20.17±2.05	−1.680	0.097
AP				
MACL/mm	29.58±3.31	30.71±3.06	−1.585	0.117
LACL/mm	34.60±3.75	36.91±3.25	−2.941	0.004
MPCL/mm	27.18±3.23	28.32±2.18	−1.889	0.063
LPCL/mm	22.36±3.17	22.76±2.06	−0.695	0.489

PCA:后髁角;MLW:内外侧髁宽度;MPCW:内侧后髁宽度;LPCW:外侧后髁宽度;MACL:内侧前髁长度;LACL:外侧前髁长度;MPCL:内侧后髁长度;LPCL:外侧后髁长度

3 讨论

髌骨的静态和动态稳定性是由一致的骨性解剖结构和完整的软组织约束来维持的[6,19]。其静态稳定性主要取决于滑车和髌骨的形状。因此,为了确保膝关节屈曲期间髌骨的安全跟踪,滑车沟应足够深,而股骨前外侧髁应具有适当的长度,通常股骨外侧髁应高于内侧髁。而较短的股骨前外侧髁提供了极浅的滑车沟,可能会导致在膝关节屈曲期间髌骨倾斜或半脱位。股骨滑车发育不良的特征是股骨滑车沟变浅和异常形态,减少了其对髌骨的骨性静态约束。有生物力学和模型研究表明,股骨滑车发育不良是导致膝关节伸展时髌骨平移矢量横向化的最重要因素[4-5]。BIEDERT 等[20]量化了正常和异常的滑车高度,他们描述和区分了滑车发育不良的两种主要类型:滑车中央/内侧深度减少和滑车外侧小关节倾斜度减少。该研究表明当主要是由滑车发育不良引起的髌骨不稳时,加深滑车成形术以纠正髌骨不稳定是最常见的选择。而本研究发现滑车高度发育不良且发生脱位的患者具有较短的股骨前外侧髁。在具有较短的股骨前外侧髁的滑车高度发育不良患者中,滑车关节面近端变平,可能会导致膝关节屈曲期间髌骨向外侧的过度移位,可通过延长外侧髁突使髌骨在屈曲期间能够更早地得到引导以纠正 PI。因此,骨科医师应注意区分滑车高度发育不良患者股骨髁前部形态特征的影像学诊断,并选择不同的手术方式。

纠正滑车发育不良有多种外科手术方式,文献[21-22]建议滑车成形术作为纠正滑车高度发育不良必要的独立手术方式。一些外科医师可能会根据 Dejour 分类选择不同的方法,DEJOUR 等[23]指出,B 型

及 D 型发育不良需要进行滑车沟加深术,C 型在进行滑车沟加深术前需要进行评估,而 A 型发育不良被认为不需要进行滑车沟加深术。因此,滑车发育不良的术前准确分类至关重要。虽然迄今为止 Dejour 4 级分类仍然是最常用的滑车发育不良严重程度分级系统,但有研究者提出了一种更可靠的 2 级分类系统,其将 Dejour A 型分类为滑车低度发育不良,B 型、C 型和 D 型为滑车高度发育不良[8]。区分低度和高度发育不良是影像学评估的一个重要组成部分,因为它往往决定了是否需要进行滑车成形术,且滑车成形术根据滑车发育不良的类型,其矫正部位也不同[24-25]。通常情况下,为了治疗因滑车发育不良引起的 PI,滑车成形术以两种方式进行:抬高发育不良滑车的外侧面或加深扁平的滑车[1, 23]。在本研究中,我们定量测量了滑车高度发育不良患者股骨髁前部的形态学参数,并分析了股骨髁前部的几何形态学特征。结果显示股骨前外侧髁减短可能是滑车高度发育不良患者发生脱位的危险因素,表明延长前外侧髁的滑车成形术或许是滑车高度发育不良患者的首选手术方式。

LIU 等[13] 和 ROGER 等[14] 的研究报道了在滑车发育不良患者中股骨外侧髁的后部相对内侧髁较短,并且伴有较高的 PCA。本研究定量测量了股骨髁后部的形态学参数,发现两组患者的 PCA、股骨后髁的长度及外侧后髁的宽度无明显差异。造成这些结果差异的原因可能是,先前的研究是在正常对照组和滑车发育不良组之间进行比较,而本研究纳入的对象均为滑车高度发育不良患者。YANG 等[16] 研究发现突出的前外侧髁与较短的后外侧髁相关,研究表明股骨髁前部和后部的畸形应为联合畸形,而非孤立存在。本研究结果显示,髌骨脱位组的股骨内侧后髁更窄,滑车高度发育不良伴随着内侧后髁形态的异常,可能与滑车高度发育不良患者发生髌骨脱位有关。KESHMIRI 等[26] 对股骨内侧髁进行了评估,发现滑车发育不良组的内侧髁高度、宽度及深度均较小,其研究结果表明滑车发育不良可能是由内侧发育不良引起的,不存在孤立性滑车发育不良,与本研究的报道相符。此外,GRAMMENS 等[27] 描述了一种特殊的膝关节形态类型,其特征是股骨内侧髁较小。在本研究中,发生脱位的滑车高度发育不良患者具有更小的股骨内侧后髁。但较小的股骨内侧后髁对滑车高度发育不良患者发生脱位的影响,目前笔者所查阅文献并未提及相关作用机制。在髌骨不稳的多因素致病机制中,形态是一种内在的不可改变的因素,为了更好地了解不同的形态类型所带来的生物力学影响,未来还需进行进一步的生物力学研究。

本研究存在一些局限性:①本研究为回顾性研究,无法获得受伤时的数据和膝关节运动学数据;②临床患者大多数是滑车低度发育不良,滑车高度发育不良较少,导致纳入的样本量较小;③两组受试者之间没有严格的年龄和性别匹配;④PI 的机制涉及多个解剖因素,本研究仅关注股骨髁前后部几何形状,未考虑胫骨和周围软组织的解剖特征对 PI 的影响。

综上所述,滑车高度发育不良的髌骨脱位患者的股骨外侧前髁更短,股骨内侧后髁更窄,这些股骨髁前后部形态学的改变可能是导致滑车高度发育不良患者发生脱位的危险因素。本研究可为 PI 的解剖学危险因素提供新的研究方向,并为骨科医师手术方式的选择提供参考。

参考文献:

[1] DEJOUR H, WALCH G, NOVE-JOSSERAND L, *et al*. Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 1994, 2(1): 19-26. DOI:10.1007/BF01552649.

[2] STEENSEN R N, BENTLEY J C, TRINH T Q, *et al*. The prevalence and combined prevalences of anatomic factors associated with recurrent patellar dislocation: a magnetic resonance imaging study[J]. Am J Sports Med, 2015, 43(4): 921-927. DOI:10.1177/0363546514563904.

[3] ARENDT E A, ENGLAND K, AGEL J, *et al*. An analysis of knee anatomic imaging factors associated with primary lateral patellar dislocations[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2017, 25(10): 3099-3107. DOI: 10.1007/s00167-016-4117-y.

[4] FITZPATRICK C K, STEENSEN R N, TUMULURI A, *et al*. Computational analysis of factors contributing to patellar dislocation[J]. J Orthop Res, 2016, 34(3): 444-453. DOI:10.1002/jor.23041.

[5] VAN HAVER A, DE ROO K, DE BEULE M, *et al*. The effect of trochlear dysplasia on patellofemoral biomechanics: a cadaveric study with simulated trochlear deformities[J]. Am J Sports Med, 2015, 43(6): 1354-1361. DOI:10.1177/0363546515572143.

[6] SENAVONGSE W, AMIS A A. The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability: a biomechanical study *in vitro*[J]. J Bone Joint Surg Br, 2005, 87(4): 577-582. DOI: 10.1302/0301-620X.87B4.14768.

[7] DEJOUR D, SAGGIN P. The sulcus deepening trochleoplasty-the Lyon's procedure[J]. Int Orthop, 2010, 34(2): 311-316. DOI:10.1007/s00264-009-0933-8.

[8] LIPPACHER S, DEJOUR D, ELSHARKAWI M, *et al*. Observer agreement on the Dejour trochlear dysplasia classification: a comparison of true lateral radiographs and axial magnetic resonance images[J]. Am J Sports Med, 2012, 40(4): 837-843. DOI: 10.1177/0363546511433028.

[9] DIEDERICHS G, ISSEVER A S, SCHEFFLER S. MR imaging of patellar instability: injury patterns and assessment of risk factors[J]. Radiographics, 2010, 30(4): 961-981. DOI:10.1148/rg.304095755.

[10] HIEMSTRA L A, KERSLAKE S, LOEWEN M, *et al*. Effect of trochlear dysplasia on outcomes after isolated soft tissue stabilization for patellar instability[J]. Am J Sports Med, 2016, 44(6): 1515-1523. DOI: 10.1177/0363546516635626.

[11] BOELCH S P, GUROK A, GILBERT F, *et al*. Why compromise the patella? Five-year follow-up results of medial patellofemoral ligament reconstruction with soft tissue patellar fixation[J]. Int Orthop, 2021, 45(6): 1493-1500. DOI: 10.1007/s00264-020-04922-1.

[12] HOPPER G P, LEACH W J, ROONEY B P, *et al*. Does degree of trochlear dysplasia and position of femoral tunnel influence outcome after medial patellofemoral ligament reconstruction? [J]. Am J Sports Med, 2014, 42(3): 716-722. DOI:10.1177/0363546513518413.

[13] LIU X H, JI G, WANG X M, *et al*. CT-based morphological analysis of the posterior femoral condyle in patients with trochlear dysplasia[J]. Knee, 2017, 24(2): 231-236. DOI:10.1016/j.knee.2016.12.008.

[14] ROGER J, LUSTIG S, CERCIELLO S, *et al*. Short lateral posterior condyle is associated with trochlea dysplasia and patellar dislocation [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2019, 27(3): 731-739. DOI:10.1007/s00167-018-5023-2.

[15] GILLESPIE D, MANDZIAK D, HOWIE C. Influence of posterior lateral femoral condyle geometry on patellar dislocation[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2015, 135(11):1503-1509. DOI:10.1007/s00402-015-2310-y.

[16] YANG G M, DAI Y K, DONG C L, *et al*. Distal femoral morphological dysplasia is correlated with increased femoral torsion in patients with trochlear dysplasia and patellar instability[J]. Bone Joint J, 2020, 102-B(7): 868-873. DOI:10.1302/0301-620X.102B7.BJJ-2019-1331.R1.

[17] IMAI N, MIYASAKA D, HIRANO Y, *et al*. Tibiofemoral rotation is related to differences in the lateral femoral condyle configuration in both normal subjects and women with hip dysplasia: a three-dimensional analysis [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2019, 20(1): 353. DOI:10.1186/s12891-019-2737-3.

[18] VAN HAVER A, DE ROO K, DE BEULE M, *et al*. Semi-automated landmark-based 3D analysis reveals new morphometric characteristics in the trochlear dysplastic femur [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2014, 22(11): 2698-2708. DOI:10.1007/s00167-013-2573-1.

[19] AMIS A A, OGUZ C, BULL A M, *et al*. The effect of trochleoplasty on patellar stability and kinematics: a biomechanical study *in vitro*[J]. J Bone Joint Surg Br, 2008, 90(7): 864-869. DOI:10.1302/0301-620X.90B7.20447.

[20] BIEDERT R M, BACHMANN M. Anterior-posterior trochlear measurements of normal and dysplastic trochlea by axial magnetic resonance imaging[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2009, 17(10): 1225-1230. DOI:10.1007/s00167-009-0824-y.

[21] CAMATHIAS C, STUDER K, KIAPOUR A, *et al*. Trochleoplasty as a solitary treatment for recurrent patellar dislocation results in good clinical outcome in adolescents [J]. Am J Sports Med, 2016, 44(11): 2855-2863. DOI: 10.1177/0363546516652894.

[22] CAMATHIAS C, SPETH B M, RUTZ E, *et al*. Solitary trochleoplasty for treatment of recurrent patellar dislocation [J]. JBJS Essent Surg Tech, 2018, 8(2): e11. DOI:10.2106/JBJS.ST.17.00039.

[23] DEJOUR D, LE COULTRE B. Osteotomies in patello-femoral instabilities[J]. Sports Med Arthrosc Rev, 2018, 26(1): 8-15. DOI:10.1097/JSA.0000000000000183.

[24] LAPRADE R F, CRAM T R, JAMES E W, *et al*. Trochlear dysplasia and the role of trochleoplasty[J]. Clin Sports Med, 2014, 33(3): 531-545. DOI: 10.1016/j.csm.2014.03.005.

[25] NOLAN J E 3rd, SCHOTTEL P C, ENDRES N K. Trochleoplasty: indications and technique[J]. Curr Rev Musculoskelet Med, 2018, 11(2): 231-240. DOI: 10.1007/s12178-018-9478-z.

[26] KESHMIRI A, SCHÖTTLE P, PETER C. Trochlear dysplasia relates to medial femoral condyle hypoplasia: an MRI-based study[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2020, 140(2): 155-160. DOI:10.1007/s00402-019-03233-4.

[27] GRAMMENS J, VAN HAVER A, DANCKAERS F, *et al*. Small medial femoral condyle morphotype is associated with medial compartment degeneration and distinct morphological characteristics: a comparative pilot study[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021, 29(6): 1777-1789. DOI:10.1007/s00167-020-06218-8.

(收稿:2022-04-05;修回:2022-06-20)

(编辑 张 维)