

·临床研究论著·

EOS™ 3D影像系统诊断复发性髌骨脱位的可靠性和稳定性

吕乐^{1,3} 白云召² 李鹏举¹ 汤永刚² 郑江¹ 张宪¹ 任博¹

【摘要】目的 探讨EOS™ 3D影像系统诊断复发性髌骨脱位的可靠性和稳定性。**方法** 回顾性分析2022年3月至2023年3月西安交通大学附属红会医院运动医学中心收治的22例(26膝)复发性髌骨脱位病人的影像学资料,两位影像学医生同时使用EOS™系统测量病人下肢力线,使用sterEOS软件对影像图片进行3D模型重建,并在三维模型中测量胫骨结节-股骨滑车沟(tibial tubercle-trochlear groove, TT-TG)间距,记录每次测量所需的时间和相关参数。所有病人同期进行常规膝关节CT扫描及三维重建。将EOS™ 3D影像和CT扫描测量的TT-TG数值进行比较,采用一致性检验研究和Bland-Altman分析图评价测量结果数据的可靠性和稳定性。**结果** 进行EOS™下肢力线测量时,不同测量者间测量的股骨和胫骨长度、膝关节内外翻角度及股骨胫骨旋转角度之间差异无统计学意义($P > 0.05$)。病人常规下肢CT扫描及三维重建测量时间为(21.8±3.2) min(13~29 min),EOS™ 3D测量时间为(6.3±1.8) min(4~11 min),差异有统计学意义($t=12.693, P < 0.001$)。两位医生使用EOS™ 3D测量TT-TG值的组内相关系数为0.791, 使用常规CT测量的组内相关系数为0.843,两种测量方法组内一致性均较好。Bland-Altman分析结果显示两位测量者分别有96.2%(25/26)、92.3%(24/26)的点位于±1.96标准差范围内,显示使用常规CT三维重建和EOS™ 3D测量TT-TG值具备较好的一致性和稳定性。**结论** 使用EOS™ 3D影像系统测量复发性髌骨脱位病人的TT-TG值,具有良好的可靠性及可重复性,具有检查时间短、辐射低等优势,是评估此类病人下肢力线数据的一种快捷、可靠及稳定的方法。

【关键词】 EOS影像;电子计算机断层扫描;胫骨结节-股骨滑车沟间距;复发性髌骨脱位;3D建模;一致性检验

Reliability and Stability of EOS™ 3D Imaging System in Diagnosing Recurrent Patellar Dislocation.
Lyu Le^{1,3}, Bai Yunzhao², Li Pengju¹, Tang Yonggang², Zheng Jiang¹, Zhang Xian¹, Ren Bo¹. ¹Sports Medicine Center, Xi'an Jiaotong University Affiliated Honghui Hospital, Xi'an 710000, China; ²Department of Imaging, Xi'an Jiaotong University Affiliated Honghui Hospital, Xi'an 710000, China; ³Department of Orthopaedics, People's Hospital of Gaoling District, Xi'an 710000, China

Corresponding author: Ren Bo, E-mail: renbo-kus@163.com

[Abstract] **Objective** To explore the reliability and stability of EOS™ 3D imaging system in diagnosing recurrent patellar dislocation. **Methods** The imaging data of 22 patients (26 knees) with recurrent patellar dislocation treated in Sports Medicine Center of Xi'an Jiaotong University Affiliated Honghui Hospital from March 2022 to March 2023 were retrospectively analyzed. Two radiologists simultaneously performed EOS™ to obtain the patient's force line measurement values of the lower extremities. The 3D model of the image images was reconstructed using sterEOS software, and the tibial tubercle trochlear groove (TT-TG) values were measured in the 3D model. The time and relevant parameters required for each measurement were recorded. All patients underwent routine knee CT scan and 3D reconstruction at the same time. The TT-TG values measured by EOS™ 3D image and CT scan were compared, and the reliability and stability of the measured data were studied by consistency check and Bland-Altman figure. **Results** There was no significant difference in the length of femur and tibia, the varus angle of knee joint and the rotation angle of femur and tibia between different measurers when measuring the lower limb force line of EOS™ in all patients ($P > 0.05$). The

DOI:10.3969/j.issn.1674-8573.2024.02.002

基金项目:陕西省自然科学基金(2024JC-YBMS-630)

作者单位:1. 西安交通大学附属红会医院运动医学中心,西安 710000;2. 西安交通大学附属红会医院影像科,西安 710000;3. 陕西省西安市高陵区人民医院骨科,西安 710000

通信作者:任博,E-mail:renbo-kus@163.com

measurement time of conventional lower limb CT scan and 3D reconstruction was (21.8 ± 3.2) min (13-29 min), while the EOSTM 3D measurement time was (6.3 ± 1.8) min (4-11 min), with statistically significant differences ($t=12.693, P<0.001$). The correlation coefficient of TT-TG measured by EOSTM 3D between the two doctors and conventional CT were 0.791, 0.843, and the consistency between the two methods was good. The Bland-Altman plot showed that 96.2% (25/26) and 92.3% (24/26) of the points of the two measurers were within the ± 1.96 standard deviation range, respectively, indicating that the TT-TG values measured by conventional CT 3D reconstruction and EOSTM 3D had good agreement and stability. **Conclusion** The use of EOSTM 3D imaging system to measure TT-TG values in patients with recurrent patellar dislocation has good reliability and repeatability. Its advantages of short examination time and low radiation will provide a fast, reliable and stable method for clinicians to evaluate the lower limb force line data of such patients.

[Key words] EOSTM image; Computed tomography; TT-TG value; Recurrent patellar dislocation; 3D modeling; Consistency check

复发性髌骨脱位是一种常见的髌股关节不稳定性疾病,其稳定性是由骨与膝关节周围软组织之间复杂的静力性、动力性相互作用维持而达到平衡^[1-2]。胫骨结节外侧偏移被认为是髌骨轨迹不良的不稳定因素之一,同时也是这类病人胫骨结节移位手术治疗策略的明确指征^[3]。胫骨结节-股骨滑车沟(tibial tuberosity-trochlear groove, TT-TG)距离作为胫骨结节外偏程度的判定指标已经是这类病人入院后必查的影像学指标^[4-5]。

随着人们对髌骨轨迹不良病人解剖学危险因素的认识越来越深入,下肢力线对其的影响也越来越得到重视^[6-7]。很多医疗机构已经对这类病人常规进行双下肢整体CT扫描并三维重建,但耗时长、辐射量大、检查费用高等问题尚未得到很好的解决。随着影像技术的进步,使用EOS影像系统拍摄正侧位X线片后,系统软件工作站强大的图像处理功能可以对下肢力线进行精准测量并获得下肢力线的三维建模,这使得我们通过EOSTM 3D影像测量TT-TG值成为一种新的临床检查方法^[8-9]。近些年有报道显示该影像系统已经在脊柱骨科领域广泛开展临床应用^[10],但对于运动医学相关疾病的影像学诊断仍处于初步探索阶段。本研究拟使用EOSTM 3D影像系统对复发性髌骨脱位病人进行双下肢全长摄片,对下肢力线参数进行统计学分析,特别是创新性地使用3D建模测量病人的TT-TG值,以探讨EOSTM 3D影像测量系统应用的可靠性和稳定性。

资料与方法

一、研究对象及纳排标准

本研究回顾性分析2022年3月至2023年3月西安交通大学附属红会医院收治的复发性髌骨脱位病人的影像学资料。病例纳入标准:①有2次以上髌骨脱位病史,临床确诊为复发性髌骨脱位;②术前膝

关节CT扫描及三维重建完整;③门诊及入院后两次EOSTM 3D测量资料完整。排除标准:①图像质量较差而影响测量;②术前影像资料不完整;③既往髌骨脱位手术史病人。

由一位高年资临床医生根据纳入、排除标准筛选入选病人,本研究最终纳入22例(26膝)复发性髌骨脱位病人,其中男5例(6膝),女17例(20膝),年龄为(21.8 ± 7.1)岁。本研究已通过西安交通大学附属红会医院伦理委员会审批(编号:HH2022013)。

二、EOSTM影像学测量及评估

常规门诊及入院后分别进行两次EOSTM 3D影像测量,两次测量由两位高年资影像科医生采用法国EOS imaging公司的影像检测平台轮流完成。

所有病人都进行站立负重位EOSTM双下肢正侧位摄片。摄片时病人站立于机器中央且处于自然站立状态,病人双腿分开约20 cm,前后方向稍错开,患侧腿在前为完全负重肢体(图1 a)。调整照射区上、下部界限标尺和水平视准,确认被检查下肢位于冠状面和矢状面中心位置。首先进行预扫,再次确认照射野和中心线的准确性。采用狭缝曝光采集技术,即两个正交90°的球管同时自上而下进行连续曝光,根据病人身体质量指数(body mass index, BMI)调整曝光条件,为了获得质量更好的图像,嘱病人在X线曝光时患侧肢体不能移动。一般曝光时间为12~20 s,曝光完成后,软件自动完成图像拼接。每一例病人下肢影像都在sterEOS工作站进行测量,保存所得参数并各自生成一套Excel表格,后期对测量数据进行整合及制表(图1 b,c)。

三、EOSTM 3D建模测量病人TT-TG值

每例病人的EOSTM 3D建模均由两位高年资影像科医生独立完成。使用sterEOS工作站进行双下肢全长3D三维重建。第一步,在侧位下肢影像图像上确定股骨内外髁的后髁轮廓,然后在正侧位图像

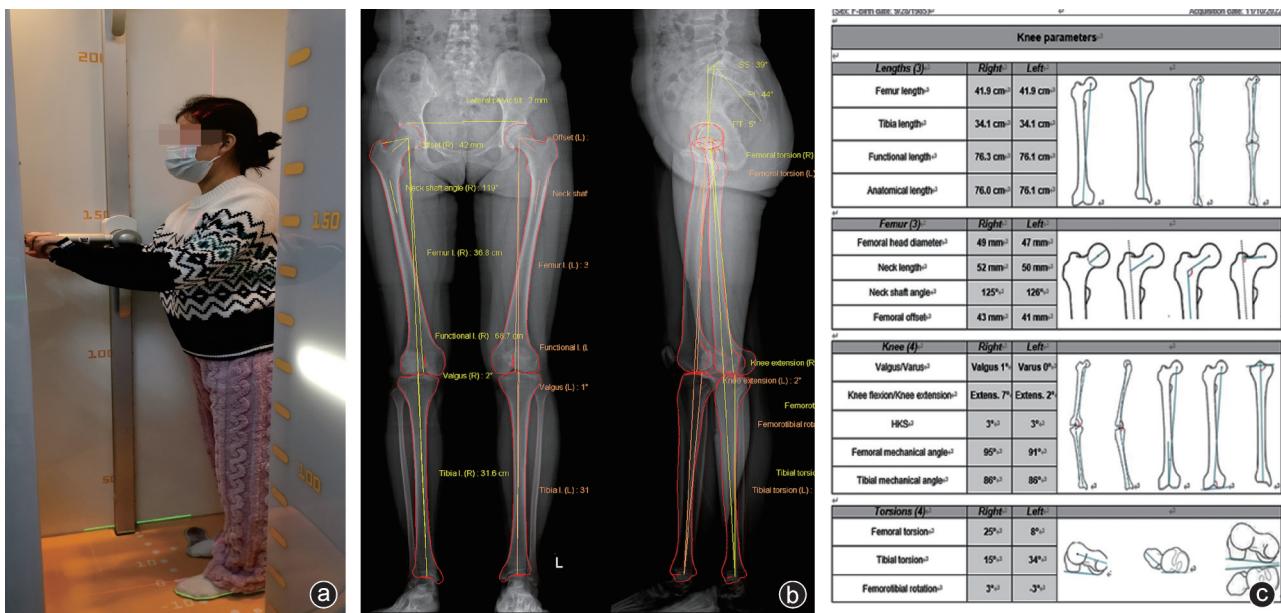


图1 EOS™影像系统的应用 a:EOS™测量时病人双下肢负重位站姿;b:病人双下肢正侧位EOS™影像图片;c:sterEOS™工作站自动计算双下肢力线各项参数

上确定后髁线(股骨内、外髁后缘切线);第二步,依次在侧位片中寻找股骨滑车沟最深点、胫骨结节最凸起的中点,分别作股骨后髁连线的垂线(图2 a);最后一步,在三维重建模型中不断调整线的位置、高度及旋转方向,更精确地调整三条线的位置能够代表其骨性解剖标志。经过上述调整后得到3D重建图片,按照标尺比例换算滑车沟最低点-胫骨结节凸起之间连线的距离,即是EOS™ 3D测量下的TT-TG标准值(图2 b)。

常规CT测量使用股骨滑车最低点层面和胫骨结节凸起轴位图片这两张图片进行重叠,以股骨后髁连线为基准测量滑车沟最低点和胫骨结节凸起之间的

距离,即为通过CT测量的TT-TG参考值(图2 c)。

四、统计学分析

采用SPSS 22.0软件(IBM公司,美国)进行统计学分析,所有连续变量以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。测量者组内与组间、常规CT与EOS™ 3D测量结果之间对比使用Shapiro-Wilk检验数据正态分布,测量数据经统计学分析均符合正态分布即采用配对样本t检验比较,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评价观察者间各参数测量结果的可重复性,差:<0.40, 中等:0.40~0.59, 良好:0.60~0.74, 优秀: ≥ 0.75 。使用Bland-Altman分析图评价结果的一致性。

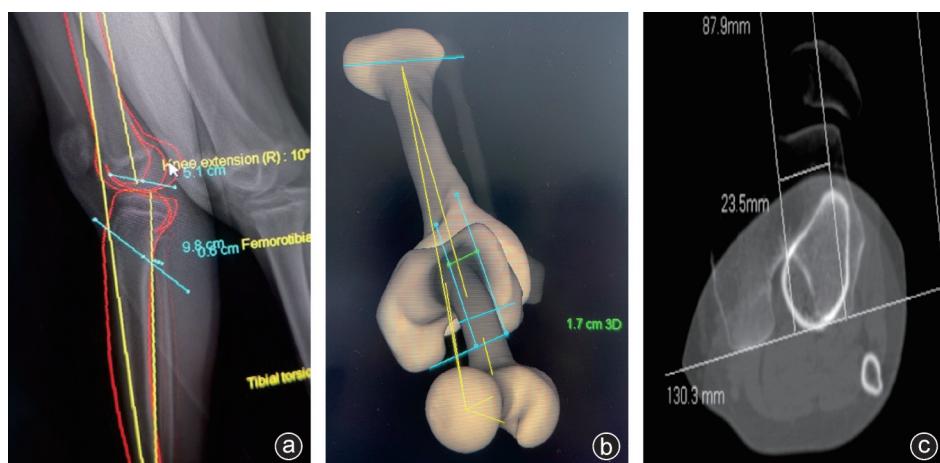


图2 EOS™ 3D影像建模及常规CT测量TT-TG a:EOS™ 2D图像标记TT-TG测量所需要的骨性结构位置及测量参考线;b:使用sterEOS工作站进行双下肢EOS™ 3D重建,并依据股骨、胫骨骨性参考线测量TT-TG值;c:使用常规膝关节CT断层扫描测量TT-TG值

结 果

一、EOSTM影像学评估双下肢力线

常规 EOSTM影像测量时,两位测量者间测量的股骨、胫骨长度、股骨颈干角、偏心距、膝关节内外翻角度、屈曲角度、扭转角等数据差异无统计学意义($P>0.05$,表1)。

二、EOSTM 3D 影像与常规 CT 三维重建测量 TT-TG 值结果比较

两位测量者使用 EOSTM 3D 测量的 TT-TG 值分别为(17.9 ± 4.1) mm、(18.5 ± 3.6) mm,结果差异无统计学意义($t=-1.111, P=0.277$)。ICC=0.791(95% CI: 0.759~0.850),组内一致性良好。

两位测量者使用常规 CT 测量的 TT-TG 值分别为(19.3 ± 3.9) mm、(18.9 ± 3.4) mm,结果差异无统计学意义($t=0.678, P=0.504$)。ICC=0.843 (95% CI: 0.789~0.891),组内一致性良好。

无论使用 EOSTM 3D 还是常规 CT 测量 TT-TG 值,均具备较高的可靠性及稳定性。

三、EOSTM 3D 影像与常规 CT 三维重建测量 TT-TG 值的时间及一致性比较

本组病人常规下肢 CT 扫描及三维重建时间为(21.8 ± 3.2) min(13~29 min),EOSTM 3D 测量时间为(6.3 ± 1.8) min(4~11 min),所用时间对比,差异有统计学意义($t=12.693, P<0.001$)。

Bland-Altman 分析结果显示两位测量者分别有 96.2%(25/26)、92.3%(24/26) 的点位于 ±1.96 标准差范围内,显示使用常规 CT 三维重建和 EOSTM 3D 测量 TT-TG 值具备较好的一致性和稳定性(图3)。

讨 论

随着 EOSTM 系统的不断推广和应用,越来越多的临床证据证实其测量的可重复性及可信度^[11-12]。因此,本研究旨在使用 EOSTM 影像系统对双下肢全

表 1 EOSTM 影像测量复发性髌骨脱位病人双下肢力线结果比较($\bar{x}\pm s$)

测量参数	测量者 1	测量者 2	t 值	P 值
股骨长度(cm)	41.0±2.5	40.2±2.4	1.173	0.254
胫骨长度(cm)	35.2±2.7	34.0±2.5	1.367	0.186
股骨颈干角(°)	128.7±7.7	129.9±8.8	-0.533	0.600
股骨偏心距(mm)	36.8±6.8	34.9±6.6	1.114	0.278
内外翻角度(°)	1.5±1.2	1.4±1.1	0.102	0.919
屈曲角度(°)	3.9±9.2	1.6±8.0	0.874	0.392
股骨外翻角(°)	3.6±1.0	3.7±1.5	-0.249	0.806
胫骨机械角(°)	87.1±3.7	86.2±2.7	0.936	0.360
股骨扭转角(°)	24.6±12.5	25.3±12.9	-0.184	0.856
胫骨扭转角(°)	28.5±9.7	27.7±7.7	0.275	0.786
股骨-胫骨扭转角(°)	3.7±8.5	3.7±7.6	0.023	0.982

长进行摄片,然后利用 sterEOS 工作站三维重建 3D 图像去验证其测量髌骨脱位病人 TT-TG 值的可靠性和稳定性。EOSTM 2D 测量和普通放射学测量都属于二维空间的测量,二者精确度相当,而 EOSTM 3D 重建测量和 CT 一样属于三维测量,可以提高测量的精确度^[13]。而且与 CT 相比, EOSTM 3D 在操作时可以实现完全负重位,并且包含双腿,辐射剂量低,可重复操作。Yan 等^[14]一项前瞻性研究,通过 EOS 成像和 CT 测量股骨和胫骨扭转,未检测到两种方法的测量结果差异存在统计学意义。Folinais 等^[15]使用 EOSTM 测量股骨和胫骨旋转进行 3D 重建,与 CT 金标准进行精确度比较,两者之间差异也无统计学意义。但由于无法像 CT 那样实现多维平面重建, EOSTM 在 3D 成像精确度和成像角度方面与 CT 还是存在差距。

下肢力线不良是髌股关节不稳的重要原因之一,如何准确测量和评估下肢力线对于术前规划和术后评估格外重要。本研究是基于 EOSTM 3D 成像和 CT 三维重建技术,通过分别测量复发性髌骨脱位病人的 TT-TG 值,观察这两种方法之间的一致性。正如 Bland-Altman 图所示,随着 CT 和 EOSTM 测量平

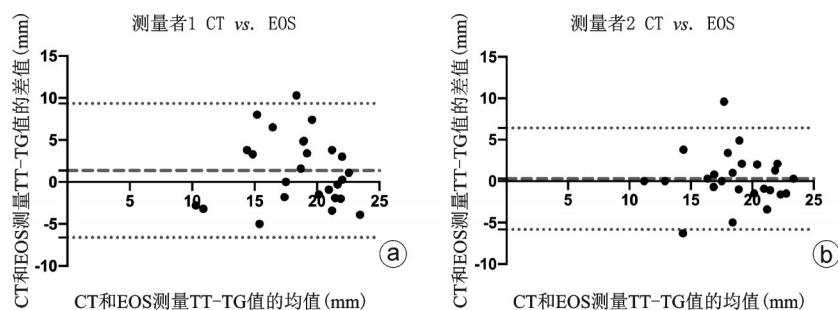


图 3 两位测量者分别通过 EOSTM 3D 与 CT 测量 TT-TG 值的 Bland-Altman 图

均值的增加,两种方法之间的可变性没有增加(或减少)的趋势,表明两种测量方法之间具有良好的一致性,说明EOSTM 3D影像技术获取临床数据与CT结果一样可靠。而常规双下肢CT扫描覆盖的区域更为广泛,对于高度怀疑下肢力线不良的青少年髌骨脱位病人,CT会产生相当高的辐射剂量, EOSTM的辐射暴露量远低于CT,因此更加适合儿童和青少年。Escott等^[9]使用三种不同的成像方式(常规X线片、CT扫描、EOSTM)对儿童下肢反复进行影像学评估,发现EOSTM方案较CT扫描图和常规X线片能更准确地评估下肢长度,且显著降低了辐射暴露。

复发性髌骨脱位病人术前测量TT-TG值作为胫骨结节移位手术的重要参考已经被认为是常规必备检查,而实际下肢力学的评估,特别是站立负重位的三维评估,可以提供更多的人体客观信息,这些信息是常规CT扫描无法完成的^[16-17]。Chen等^[4]应用EOSTM成像系统测量站立位复发性髌骨脱位病人的下肢旋转畸形,发现与CT仰卧位测量相比, EOSTM站立负重位测量的股骨前倾角明显减小。而我们的测量结果发现使用EOSTM测量的TT-TG值小于CT测量的数据,可能也是因为体位的改变而导致。每例病人测量时负重位的可重复性误差也可能是EOSTM测量的ICC值小于CT的主要原因之一。

综上所述,使用EOSTM 3D系统摄片和sterEOS工作站这一全新的方法对髌骨脱位病人进行3D建模测量TT-TG值能获得很好的测量可靠性,且模型与影像的解剖标志契合度较高。但值得注意的是, EOSTM测量髌骨脱位病人冠、矢状面参数时,病人体位及双下肢姿势标准是测量可靠准确的基础,需要专业的技术人员培训。目前研究结果初步验证了EOSTM 3D测量TT-TG值的可靠性,加之其具有辐射量小、费用低等明显优势,适合在临床工作中广泛开展及应用。

参 考 文 献

- [1] Weber AE, Nathani A, Dines JS, et al. An algorithmic approach to the management of recurrent lateral patellar dislocation [J]. J Bone Joint Surg Am, 2016, 98(5): 417-427.
- [2] Clark D, Metcalfe A, Wogan C, et al. Adolescent patellar instability: current concepts review [J]. Bone Joint J, 2017, 99-B(2): 159-170.
- [3] Prakash J, Seon JK, Ahn HW, et al. Factors affecting tibial tuberosity-trochlear groove distance in recurrent patellar dislocation [J]. Clin Orthop Surg, 2018, 10(4): 420-426.
- [4] Chen C, Min L, Sun M, et al. Abnormal femur rotation in patients with recurrent patellar dislocation: A study on upright standing three-dimensionally reconstructed EOS images [J]. Knee, 2021, 32: 131-139.
- [5] Ahrend MD, Eisenmann T, Herbst M, et al. Increased tibial tubercle-trochlear groove and patellar height indicate a higher risk of recurrent patellar dislocation following medial reefing [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2022, 30(4): 1404-1413.
- [6] Song GY, Zhang H, Zhang J, et al. Tibial tubercle proximalization as quadriceps lengthening in treating severe habitual patellar dislocation in adults [J]. Knee, 2019, 26(6): 1437-1444.
- [7] Wu G, Cao Y, Song G, et al. The increased tibiofemoral rotation: a potential contributing factor for patellar maltracking in patients with recurrent patellar dislocation [J]. Orthop Surg, 2022, 14(7): 1469-1475.
- [8] Huang J, Tian F, Zhang Z, et al. Reliability and concurrent validity of angle measurements in lower limb: EOS 3D goniometer versus 2D manual goniometer [J]. J Orthop Translat, 2020, 24: 96-102.
- [9] Escott BG, Ravi B, Weathermon AC, et al. EOS low-dose radiography: a reliable and accurate upright assessment of lower-limb lengths [J]. J Bone Joint Surg Am, 2013, 95(23): e1831-e1837.
- [10] Wybier M, Bossard P. Musculoskeletal imaging in progress: the EOS imaging system [J]. Joint Bone Spine, 2013, 80(3): 238-243.
- [11] Westberry DE, Carpenter AM. 3D modeling of lower extremities with biplanar radiographs: reliability of measures on subsequent examinations [J]. J Pediatr Orthop, 2019, 39(10): 521-526.
- [12] Hecker A, Lerch TD, Egli RJ, et al. The EOS 3D imaging system reliably measures posterior tibial slope [J]. J Orthop Surg Res, 2021, 16(1): 388.
- [13] Moon HS, Choi CH, Jung M, et al. The effect of knee joint rotation in the sagittal and axial plane on the measurement accuracy of coronal alignment of the lower limb [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2020, 21(1): 470.
- [14] Yan W, Xu X, Xu Q, et al. Femoral and tibial torsion measurements based on EOS imaging compared to 3D CT reconstruction measurements [J]. Ann Transl Med, 2019, 7(18): 460.
- [15] Folinais D, Thelen P, Delin C, et al. Measuring femoral and rotational alignment: EOS system versus computed tomography [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2013, 99(5): 509-516.
- [16] Cho BW, Lee TH, Kim S, et al. Evaluation of the reliability of lower extremity alignment measurements using EOS imaging system while standing in an even weight-bearing posture [J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 22039.
- [17] Hau MYT, Menon DK, Chan RJP, et al. Two-dimensional/three-dimensional EOSTM imaging is reliable and comparable to traditional X-ray imaging assessment of knee osteoarthritis aiding surgical management [J]. Knee, 2020, 27(3): 970-979.

(收稿日期: 2023-10-16)

(本文编辑:陈姗姗)

引用格式

吕乐,白云召,李鹏举,等. EOSTM 3D影像系统诊断复发性髌骨脱位的可靠性和稳定性[J]. 骨科, 2024, 15(2): 104-108. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2024.02.002.