

# 慢性踝关节不稳患者的步态特征研究进展

张积众, 侯震, 房涛, 付丽娟

(吉林体育学院, 吉林 长春 130022)

**摘要** 慢性踝关节不稳(chronic ankle instability, CAI)通常由急性踝关节扭伤发展而来,可导致踝关节反复扭伤,严重影响患者的日常生活。CAI 的诊断和疗效评价,目前临床上主要依据患者的临床表现、体格检查及影像学检查,但这些方法无法定量评估踝关节功能。步态分析是研究步行规律的检查方法,不仅能对人体行走方式进行客观记录,还能对步行功能进行系统评价。步态分析技术的应用和发展有助于从多个角度客观描述 CAI 患者的步态特征,也有助于分析 CAI 患者与健康人在踝关节功能上的差异。对 CAI 患者的步态特征进行研究,可以为该病的诊疗和疗效评价提供客观依据。但是,目前学界对 CAI 患者的步态特征尚未完全达成共识。本文概述了 CAI,介绍了正常步态的内涵及步态分析的方法,重点论述了 CAI 患者的步态运动学特征、动力学特征和肌电激活特征,为该病的诊疗和疗效评价提供了客观依据。

**关键词** 踝损伤;踝关节;关节不稳定性;步态;综述

慢性踝关节不稳(chronic ankle instability, CAI)是指踝关节周围韧带受损后导致踝关节不稳,可引起踝关节频繁扭伤。CAI 通常由急性踝关节扭伤发展而来<sup>[1]</sup>,主要临床表现为持续外踝部疼痛、踝关节习惯性扭伤、打软腿、不平道路行走困难等。其发病与踝部肌肉力量下降<sup>[2]</sup>、本体感觉缺失<sup>[3]</sup>、神经肌肉控制能力减退<sup>[4]</sup>、平衡功能障碍<sup>[5]</sup>、踝关节周围韧带受损等诸多因素有关,严重影响患者的正常生活。CAI 的诊断和疗效评价,目前临床上主要依据患者的临床表现、体格检查及影像学检查,但这些方法无法定量评估踝关节功能。步态分析是研究步行规律的检查方法,不仅能对人体行走方式进行客观记录,还能对步行功能进行系统评价。步态分析技术的应用和发展有助于从多个角度客观描述 CAI 患者的步态特征,也有助于分析 CAI 患者与健康人在踝关节功能上的差异。对 CAI 患者的步态特征进行研究,可以为该病的诊断和疗效评价提供客观依据。但是,目前学界对 CAI 患者的步态特征尚未完全达成共识。本文就 CAI 患者的步态特征研究进展综述如下。

## 1 CAI 的概述

踝关节扭伤是临床上最常见的运动损伤,约 40% 的踝关节急性扭伤后期会发展为 CAI<sup>[6]</sup>。CAI 是踝关节退行性疾病发生的危险因素之一。CAI 分为机械性踝关节不稳(mechanical ankle instability, MAI)和功能性踝关节不稳(functional ankle instability,

FAI),对两者进行区分的直接方法是观察关节运动幅度是否处于正常的范围内。CAI 通常用以描述 MAI 与 FAI 共同存在情况。Hertel<sup>[7]</sup>认为,CAI 患者由于外侧踝关节不稳定反复发作,容易造成踝关节的反复扭伤。Hiller 等<sup>[8]</sup>认为,CAI 的特征是周期性踝关节扭伤,患者可自我感知到踝关节不稳。

## 2 正常步态的内涵

步态是指人体步行时的姿态和行为特征,人体通过髋、膝、踝、足趾的一系列连续活动,使身体沿着一定方向移动的过程。人类的步态是一个复杂的周期性过程,需要肌肉、骨骼和神经系统的协同作用。正常步态具有稳定性、周期性、节律性、方向性、协调性以及个体差异性,然而,当人们存在疾病时,这些步态特征将有明显的变化。正常人之间的步态具有差异性,因此在获取步态参数时要以个体差异为前提<sup>[9]</sup>。正常步态不仅需要具备身体姿势平稳,步宽、步长和步频适当,步行耗能最少,双侧对称的特点<sup>[10]</sup>,还要求髋、膝、踝关节的有机协调配合。正常人体的重心在第 2 骶椎前缘,两侧髋关节中央,步行时人体重心不仅在水平方向,而且在垂直方向上不断改变着位置和速度。重心的移动是影响步行能耗的重要因素,重心偏移程度越小,越能有效降低能耗<sup>[11]</sup>。

## 3 步态分析的方法

由于技术手段的落后,在很长的一段时期内人类对步态的分析只能局限于定性而非定量分析<sup>[12]</sup>。随着现代科学技术的发展,步态分析的方法也取得了长

足的进步,不再只是借助原始的足印法进行分析,而是采用运动捕获系统、足底压力采集系统、动态表面肌电测试系统等测试工具进行分析。运动捕获系统采用 4~6 台高速红外摄影机对患者步行时的运动学参数进行记录,并通过计算机将捕捉到的步态的形态、速度和方向等初始值转化为可视化数据,动态测试人体行走功能<sup>[13]</sup>。足底压力采集系统用于收集步行时的地面反应力信号。动态表面肌电系统用以采集步行时的肌肉活动信号。这些步态分析方法在对患者的运动学、动力学、肌电活动、能量参数进行分析后,能够全面掌握异常步态的形成原因,从而指导运动系统疾病的临床诊治、疗效评估、康复锻炼等。

#### 4 CAI 患者的步态特征

**4.1 运动学特征** 步态运动学分析是研究人体步行时肢体运动时间和空间变化规律的科学方法。与健康人相比,CAI 患者的运动学特征是后足和踝关节内翻角度增大,踝背伸角度减小。既往有研究<sup>[14]</sup>通过三维运动捕捉系统获取 CAI 患者与健康人在跑步机上行走或慢跑时的下肢运动学参数,结果发现当步行周期处于摆动末期至足跟着地这一阶段时,CAI 患者后足内翻角度增大。而 Balasukumaran 等<sup>[15-16]</sup>的研究结果表明,CAI 患者在足跟着地过程中会出现明显的踝关节内翻,这是 CAI 患者与健康人之间在步态运动学特征上最常见的差异。Delahunt 等<sup>[17]</sup>研究发现,当 CAI 患者步行时,在脚跟着地前、脚跟着地瞬间和脚跟着地后踝关节均处于明显的内翻位。Northeast 等<sup>[18]</sup>对 CAI 患者的完整步态周期进行分析后,发现在支撑相的前 4%~16% 这一时间段,CAI 患者的患肢前足内翻角度增大。Monaghan 等<sup>[19]</sup>的研究结果显示,CAI 患者与健康人相比,在足跟着地前 100 ms 至足跟着地后 200 ms 踝关节内翻角度更大;如果步速加快,CAI 患者的踝关节内翻角度可能会增大,但是 CAI 患者的平均步速与健康人无明显差异。CAI 患者还表现为步行时踝关节背伸障碍。Chinn 等<sup>[20]</sup>研究发现,CAI 患者无论是在步行时还是慢跑时,踝关节跖屈程度均高于健康人。Abdelraouf 等<sup>[21]</sup>发现,CAI 患者穿鞋行走时的踝关节跖屈和内翻角度较赤脚行走时增大。由于 CAI 患者的踝关节周围肌肉力量和张力不足以及本体感觉反馈能力下降,CAI 患者对与运动有关的信息感知的敏感度不够,不能及时将信息传递给中枢神经系统进行处理,从而难以在动态

运动中控制踝关节位置,踝关节损伤的风险也因此而明显增加。

CAI 患者除了具备上述运动学特征外,髌、膝关节也可能在步行时表现出特殊的运动模式,但学界对此未达成统一的意见。Drewes 等<sup>[22]</sup>研究认为,CAI 患者步行时髌关节外旋角度会增大,从而改变步行时足踝的位置,进而造成踝关节反复扭伤。Moisan 等<sup>[23-24]</sup>的研究结果却显示,与健康人相比,CAI 患者在支撑相的中后期髌关节的外旋角度减小,髌关节外展力矩增加。而 Monaghan 等<sup>[19]</sup>的研究结果显示,CAI 患者与健康人在髌、膝关节的额状面、矢状面或水平面上的运动无明显差异。

**4.2 动力学特征** 步态动力学分析,是借助压力垫、力板或鞋垫式足底压力测试系统等对步行时足与地面之间的反作用力和反作用的强度、方向、时间等的变化进行定量分析的方法。与健康人相比,CAI 患者的动力学特征表现为前足外侧和中足外侧的压力值增大,出现明显的压力中心(centre of pressure, COP)轨迹的偏移,在支撑相后期至足趾离地期间踝关节跖屈力矩增加,重心移动速度减缓以及地面反作用力增加。

Nawata 等<sup>[25]</sup>和 Nyska 等<sup>[26]</sup>在研究中均发现,CAI 患者在支撑相更倾向于将足底压力施加在足外侧。Schmidt 等<sup>[27]</sup>研究发现,CAI 患者在步行过程中,前足外侧和中足外侧的峰值压力以及压力-时间积分均增加(峰值压力表示足特定区域的最大压力,而压力-时间积分表示足特定区域的总压力乘以站立时间的数值)。Koldenhoven 等<sup>[28]</sup>研究发现,CAI 患者在支撑相的 COP 轨迹出现明显偏移,相较于健康人,CAI 患者的 COP 位置在支撑相的前 10% 这一时间段平均增加 2.9 mm 的外移距离,在支撑相的 50%~60% 这一时间段平均增加 7.5 mm 的外移距离。上述特征可能与 CAI 患者后足和踝关节内翻角度增大有关。Koldenhoven 等<sup>[29]</sup>认为,CAI 患者可能存在髌外展肌功能障碍,所以 CAI 患者在摆动相出现了更大程度的髌关节内收,从而导致 COP 轨迹的偏移。Herb 等<sup>[30]</sup>认为,在支撑相,健康人会增大踝关节背伸角度来缓冲地面的反作用力,但是 CAI 患者由于存在踝关节背伸无力,需膝关节增加屈曲角度来完成对地面反作用力的缓冲。Moisan 等<sup>[23]</sup>的研究结果显示,CAI 患者的踝关节矢状角和力矩与健康人的踝关节矢状

角和力矩不存在明显差异。造成上述不同结论的原因可能是试验条件的不同,如测试时选择赤脚还是穿鞋、选择平地上步行还是跑步机上步行等。Schmidt 等<sup>[27]</sup>研究发现,相较于健康人,在重心移动速度方面,CAI 患者从足跟着地过渡到前足掌中央着地的时间延长。这说明重心在该区域的移动速度减缓,其原因可能是在支撑相的最后阶段,踝关节由背伸变成跖屈后变得不够稳定,需要足够的时间来稳定支撑<sup>[25]</sup>。CAI 患者在步行时所产生的地面反作用力高于健康人。Son 等<sup>[31]</sup>研究认为,CAI 患者在步行时无法适当调节下肢对地面的冲击力,所以垂直地面反作用力、制动地面反作用力和推进地面反作用力均有所增加,并有可能影响踝关节软骨的代谢和健康。

**4.3 肌电激活特征** 肌电图检查是步态分析的重要内容。动态肌电图是一种有效评估 CAI 患者步行中肌肉活动的方法。通过记录肌肉收缩伴随的电信号,再对肌电信号的振幅、激活时间等进行分析,能够对步行时肌肉活动的变化特征有所了解。由于腓骨长肌与髁部肌肉在稳定踝关节时发挥着特殊的作用,下文主要围绕这 2 个方面进行阐述。

**4.3.1 腓骨长肌激活特征** 腓骨长肌的功能是使踝关节跖屈、外翻及限制踝关节内翻,对维持踝关节的稳定具有重要意义。有研究表明,CAI 患者的腓骨长肌激活时长在步态周期中所占比例较健康人高约 13%<sup>[32]</sup>。但是,近些年研究者主要围绕 CAI 患者与健康人的腓骨长肌激活特征进行研究。

腓骨长肌预激活指的是在步行的支撑相开始之前,腓骨长肌出现提前收缩的现象。Koldenhoven 等<sup>[28]</sup>研究发现,CAI 患者在足跟着地前 100 ms 的激活程度远高于健康人。然而,腓骨长肌预激活是否是一种预防踝扭伤的保护机制尚无定论。Delahunt 等<sup>[17]</sup>和 Feger 等<sup>[33]</sup>认为,腓骨长肌预激活是一种预防踝关节内翻的机制,即在足着地前,就通过对腓骨长肌的提前激活以及增加激活程度来纠正足的位置。如果腓骨长肌激活迟缓,将不足以在踝关节突然内翻时及时做出反应,避免踝关节损伤的发生<sup>[34]</sup>。健康人腓骨长肌通常在支撑相中期被激活,其作用是使踝关节外翻以维持踝关节动态稳定<sup>[35]</sup>。有研究者认为,腓骨长肌的预激活可能不是 CAI 患者理想的保护机制<sup>[32]</sup>。虽然 CAI 患者的腓骨长肌在支撑相中期的激活量与健康人无异,但是在整个支撑相依旧表现为

COP 的偏移;而且 CAI 患者的踝关节内翻角度大于健康人,COP 移动轨迹更长<sup>[32]</sup>。这说明 CAI 患者的这种保护策略在恢复正常步态运动学和动力学方面可能是无效的。

**4.3.2 髁部肌肉激活特征** 人体下肢运动链由踝关节、膝关节和髁关节组成,三者之间相互耦合。Hertel<sup>[36]</sup>认为,进行步行训练时应改善髁关节与踝关节的协调性。良好的髁关节控制能力,能为膝、踝、足的功能发挥提供重要的保障。在步行时,CAI 患者的髁关节发挥着更加重要的作用。Son 等<sup>[31]</sup>认为,CAI 患者一方面通过增加踝关节和髁关节肌肉离心收缩来缓冲地面反作用力;另一方面通过限制踝关节跖屈,增加髁关节伸展的力量,使髁关节在步态周期中发挥着重要的作用。

髁关节外展肌功能障碍可能是引发踝关节扭伤反复发作的一个风险因素<sup>[37]</sup>。臀中肌是主要的髁关节外展肌。Son 等<sup>[31]</sup>在实验中观察到 CAI 患者的臀中肌、臀大肌的激活不足,推测 CAI 患者存在神经肌肉激活缺陷。Feger 等<sup>[32]</sup>的研究结果也表明,CAI 患者存在臀中肌、臀大肌功能的减退。然而,Moisan 等<sup>[38]</sup>的研究结果却显示,在臀中肌功能方面 CAI 患者与健康人无明显差异。造成上述结论不一致的原因可能是实验条件不同。有学者通过动态肌肉骨骼超声成像对臀中肌厚度进行直观地测量,发现 CAI 患者的臀中肌厚度低于健康人<sup>[39]</sup>。而 Dejong 等<sup>[40]</sup>研究认为,臀中肌的延迟激活与臀中肌厚度有较强相关性。这说明 CAI 患者在步行时会表现为与髁关节生物力学有关的神经肌肉功能的改变。臀中肌的激活不足会增加髁关节内收,导致骨盆倾斜和上半身在额状面的不平衡,支撑侧下肢的 COP 向外侧移动,增加踝关节内翻扭伤的风险。Koldenhoven 等<sup>[28]</sup>的研究发现,CAI 患者的臀中肌在步行时存在提前激活以及更高层次的激活现象,这被认为是在步行时对踝关节不稳定的一种代偿策略。综上可知,对 CAI 患者进行康复治疗时,除了加强对踝关节进行专门的康复训练外,还应加强对近端关节的神经肌肉功能的训练,从而改善由于长期 CAI 造成的髁关节控制能力下降等问题。

## 5 小结

通过步态分析系统对 CAI 患者的步态特征进行客观量化研究,可以为该病的诊断、治疗和疗效评价

提供客观依据。但是,目前有关 CAI 步态分析的试验研究程序、方法以及评估步态的参数尚未统一,可能会影响研究结果的可靠性和一致性。因此,今后应进一步规范 and 统一步态分析的试验程序和方法以及评估步态的参数,使步态分析能更好地为 CAI 诊疗和疗效评价提供客观可靠的依据。

### 参考文献

- [1] KONRADSEN L. Factors contributing to chronic ankle instability: kinesthesia and joint position sense [J]. *J Athl Train*, 2002, 37(4): 381 – 385.
- [2] KHALAJ N, VICENZINO B, HEALES L J, et al. Is chronic ankle instability associated with impaired muscle strength? Ankle, knee and hip muscle strength in individuals with chronic ankle instability: a systematic review with meta-analysis [J]. *Br J Sports Med*, 2020, 54(14): 839 – 847.
- [3] YANG F, PAN Y, WU Q, et al. Biomechanics characteristics and its correlation with proprioception of ankle post sprain [J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2019, 25(12): 1365 – 1369.
- [4] WENNING M, GEHRING D, MAUCH M, et al. Functional deficits in chronic mechanical ankle instability [J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 304.
- [5] THOMPSON C, SCHABRUN S, ROMERO R, et al. Factors contributing to chronic ankle instability: a systematic review and meta-analysis of systematic reviews [J]. *Sports Med*, 2018, 48(1): 189 – 205.
- [6] KONRADSEN L. Factors contributing to chronic ankle instability: kinesthesia and joint position sense [J]. *J Athl Train*, 2002, 37(4): 381 – 385.
- [7] HERTEL J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability [J]. *J Athl Train*, 2002, 37(4): 364 – 375.
- [8] HILLER C E, KILBREATH S L, REFSHAUGE K M. Chronic ankle instability: evolution of the model [J]. *J Athl Train*, 2011, 46(2): 133 – 141.
- [9] 苏来提·肖合热提, 盛加根. 步态研究及其在踝关节不稳中的应用进展 [J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2016, 9(3): 255 – 260.
- [10] BERKET S. Effects of anthropometric parameters and stride frequency on estimation of energy cost of walking [J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2005, 45(2): 152 – 161.
- [11] PROTOPAPADAKI A, DRECHSLER W I, CRAMP M C, et al. Hip, knee, ankle kinematics and kinetics during stair ascent and descent in healthy young individuals [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2007, 22(2): 203 – 210.
- [12] 张彦新. 三维步态分析技术的现状与发展 [J]. *康复学报*, 2017, 27(3): 1 – 4.
- [13] PARK S W, PARK H S, KIM J H, et al. 3D displacement measurement model for health monitoring of structures using a motion capture system [J]. *Measurement*, 2015, 59: 352 – 362.
- [14] CHINN L, DICHARRY J, HERTEL J. Ankle kinematics of individuals with chronic ankle instability while walking and jogging on a treadmill in shoes [J]. *Phys Ther Sport*, 2013, 14(4): 232 – 239.
- [15] BALASUKUMARAN T, GOTTLIEB U, SPRINGER S. Spatiotemporal gait characteristics and ankle kinematics of backward walking in people with chronic ankle instability [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 11515.
- [16] DE RIDDER R, WILLEMS T, VANRENTERGHEM J, et al. Gait kinematics of subjects with ankle instability using a multisegmented foot model [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2013, 45(11): 2129 – 2136.
- [17] DELAHUNT E, MONAGHAN K, CAULFIELD B. Altered neuromuscular control and ankle joint kinematics during walking in subjects with functional instability of the ankle joint [J]. *Am J Sports Med*, 2006, 34(12): 1970 – 1976.
- [18] NORTHEAST L, GAUTREY C N, BOTTOMS L, et al. Full gait cycle analysis of lower limb and trunk kinematics and muscle activations during walking in participants with and without ankle instability [J]. *Gait Posture*, 2018, 64: 114 – 118.
- [19] MONAGHAN K, DELAHUNT E, CAULFIELD B. Ankle function during gait in patients with chronic ankle instability compared to controls [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2006, 21(2): 168 – 174.
- [20] CHINN L, DICHARRY J, HERTEL J. Ankle kinematics of individuals with chronic ankle instability while walking and jogging on a treadmill in shoes [J]. *Phys Ther Sport*, 2013, 14(4): 232 – 239.
- [21] ABDELRAOUF O R, ABDEL-AZIEM A A. Ankle and foot mechanics in individuals with chronic ankle instability during shod walking and barefoot walking: a cross-sectional study [J]. *Chin J Traumatol*, 2021, 24(3): 174 – 179.
- [22] DREWES L K, MCKEON P O, PAOLINI G, et al. Altered ankle kinematics and shank-rear-foot coupling in those with chronic ankle instability [J]. *J Sport Rehabil*, 2009, 18(3): 375 – 388.
- [23] MOISAN G, MAINVILLE C, DESCARREAU M, et al. Kinematic, kinetic and electromyographic differences between young adults with and without chronic ankle instability during walking [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2020, 51:

- 102399.
- [24] TERADA M, PIETROSIMONE B G, GRIBBLE P A. Alterations in neuromuscular control at the knee in individuals with chronic ankle instability [J]. *J Athl Train*, 2014, 49(5):599-607.
- [25] NAWATA K, NISHIHARA S, HAYASHI I, et al. Plantar pressure distribution during gait in athletes with functional instability of the ankle joint: preliminary report [J]. *J Orthop Sci*, 2005, 10(3):298-301.
- [26] NYSKA M, SHABAT S, SIMKIN A, et al. Dynamic force distribution during level walking under the feet of patients with chronic ankle instability [J]. *Br J Sports Med*, 2003, 37(6):495-497.
- [27] SCHMIDT H, SAUER L D, LEE S Y, et al. Increased in-shoe lateral plantar pressures with chronic ankle instability [J]. *Foot Ankle Int*, 2011, 32(11):1075-1080.
- [28] KOLDENHOVEN R M, FEGER M A, FRASER J J, et al. Surface electromyography and plantar pressure during walking in young adults with chronic ankle instability [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(4):1060-1070.
- [29] KOLDENHOVEN R M, HART J, SALIBA S, et al. Gait kinematics & kinetics at three walking speeds in individuals with chronic ankle instability and ankle sprain copers [J]. *Gait Posture*, 2019, 74:169-175.
- [30] HERB C C, GROSSMAN K, FEGER M A, et al. Lower extremity biomechanics during a drop-vertical jump in participants with or without chronic ankle instability [J]. *J Athl Train*, 2018, 53(4):364-371.
- [31] SON S J, KIM H, SEELEY M K, et al. Altered walking neuro-mechanics in patients with chronic ankle instability [J]. *J Athl Train*, 2019, 54(6):684-697.
- [32] FEGER M A, DONOVAN L, HART J M, et al. Lower extremity muscle activation in patients with or without chronic ankle instability during walking [J]. *J Athl Train*, 2015, 50(4):350-357.
- [33] FEGER M A, DONOVAN L, HART J M, et al. Lower extremity muscle activation in patients with or without chronic ankle instability during walking [J]. *J Athl Train*, 2015, 50(4):350-357.
- [34] HILLER C E, REFSHAUGE K M, BEARD D J. Sensorimotor control is impaired in dancers with functional ankle instability [J]. *Am J Sports Med*, 2004, 32(1):216-223.
- [35] LACQUANITI F, IVANENKO Y P, ZAGO M. Patterned control of human locomotion [J]. *J Physiol*, 2012, 590(10):2189-2199.
- [36] HERTEL J. Sensorimotor deficits with ankle sprains and chronic ankle instability [J]. *Clin Sports Med*, 2008, 27(3):353-370.
- [37] DE RIDDER R, WITVROUW E, DOLPHENS M, et al. Hip strength as an intrinsic risk factor for lateral ankle sprains in youth soccer players: a 3-season prospective study [J]. *Am J Sports Med*, 2017, 45(2):410-416.
- [38] MOISAN G, MAINVILLE C, DESCARREAUX M, et al. Lower limb biomechanics in individuals with chronic ankle instability during gait: a case-control study [J]. *J Foot Ankle Res*, 2021, 14(1):36.
- [39] DEJONG A F, MANGUM L C, HERTEL J. Gluteus medius activity during gait is altered in individuals with chronic ankle instability: an ultrasound imaging study [J]. *Gait Posture*, 2019, 71:7-13.
- [40] DEJONG A F, KOLDENHOVEN R M, HART J M, et al. Gluteus medius dysfunction in females with chronic ankle instability is consistent at different walking speeds [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2020, 73:140-148.

(收稿日期:2021-11-18 本文编辑:时红磊)

(上接第 62 页)

- [54] LYCHAGIN A, LIPINA M, GARKAVI A, et al. Intraosseous injections of platelet rich plasma for knee bone marrow lesions treatment: one year follow-up [J]. *Int Orthop*, 2021, 45(2):355-363.
- [55] SANCHEZ M, DELGADO D, SANCHEZ P, et al. Combination of intra-articular and intraosseous injections of platelet rich plasma for severe knee osteoarthritis: a pilot study [J/OL]. *Biomed Res Int*, 2016 [2021-06-16]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4947638/>.
- [56] SANCHEZ M, DELGADO D, POMPEI O, et al. Treating severe knee osteoarthritis with combination of intra-osseous and intra-articular infiltrations of platelet-rich plasma: an observational study [J]. *Cartilage*, 2019, 10(2):245-253.
- [57] 苏柯,白玉明,王军,等. 关节内联合松质骨内注射富血小板血浆治疗膝骨关节炎的临床观察 [J]. *中华关节外科杂志(电子版)*, 2017, 11(5):471-476.
- [58] SU K, BAI Y, WANG J, et al. Comparison of hyaluronic acid and PRP intra-articular injection with combined intra-articular and intraosseous PRP injections to treat patients with knee osteoarthritis [J]. *Clin Rheumatol*, 2018, 37(5):1341-1350.

(收稿日期:2021-08-18 本文编辑:吕宁)