

· 综 述 ·

运动学对线全膝关节置换术的研究进展

咸宝安, 戚敏, 邓鹏, 杨彬, 柏明晓

(日照市中医医院, 山东 日照 276800)

摘 要 下肢对线是影响全膝关节置换(total knee arthroplasty, TKA)术后膝关节功能和假体生存率的重要因素。运动学对线是一种以患者病变前的膝关节状态和下肢运动轴为参照依据进行 TKA 术中截骨、假体安放的对线方法。运动学对线 TKA 具有良好的临床疗效和较高的假体生存率,在恢复膝关节生物力学和运动学特性方面具有优势。为提高临床医师对运动学对线 TKA 的认识,本文对 TKA 术中的对线方法进行了概述,并从假体选择、手术操作、临床疗效、生物力学和运动学研究、假体生存率和术后并发症几个方面对运动学对线 TKA 的研究进展进行了综述。

关键词 关节成形术, 置换, 膝; 运动学对线; 综述

下肢对线是影响全膝关节置换(total knee arthroplasty, TKA)术后膝关节功能和假体生存率的重要因素。机械对线因较高的假体长期生存率和可接受的临床疗效,成为 TKA 手术技术的金标准^[1]。然而,仍有部分患者疗效不满意^[2]。虽然学者们尝试通过设计新型假体、改进截骨导向器及使用辅助工具来解决机械对线 TKA 存在的问题,但这些方法并没有达到预期的效果。随着膝关节解剖学研究和 TKA 技术的发展,Howell 等^[3]提出了一种以患者病变前的膝关节状态和下肢运动轴为参照依据进行 TKA 术中截骨、假体安放的对线方法,即运动学对线。运动学对线 TKA 是对患者膝关节解剖结构的个体化重建,可使膝关节假体的功能更接近自然膝关节。但在临床疗效、假体生存率及并发症发生率方面,临床医师对运动学对线 TKA 尚存疑虑。为提高临床医师的认识,我们对 TKA 术中的对线方法进行了概述,并从假体选择、手术操作、临床疗效、生物力学和运动学研究、假体生存率和术后并发症几个方面对运动学对线 TKA 的研究进展进行综述。

1 TKA 术中的对线方法

1.1 解剖对线

解剖对线最初由 Hungerford 等^[4]提出,即 TKA 术中胫骨近端内翻 3° 截骨,股骨远端外翻 3° 截骨,形成与下肢机械轴呈 3° 夹角的关节线,实现髌膝踝角为 0° ,且不需要调整股骨旋转截骨角度。患者术后站立行走时,关节线与地面平行,胫骨假体负荷分布均衡,

且髌骨轨迹良好。但解剖对线默认所有患者生理性关节线内翻 3° ,未考虑到不同个体的差异性,且难以实现精确和可重复性截骨,临床应用和推广困难。解剖对线为运动学对线的发展提供了借鉴和临床经验^[5]。

1.2 机械对线

机械对线是 TKA 术中实现膝关节中立位对线,即垂直于下肢机械轴进行股骨远端、胫骨近端截骨和股骨外旋截骨,并通过松解膝关节周围软组织、韧带维持膝关节屈伸间隙的平衡。目前学者们对 TKA 机械对线的共识是:术后下肢机械轴偏离值 $\leq 3^{\circ}$ 。然而,健康人群中也只有一部分人下肢呈中立位对线。Bellemans 等^[6]研究发现,250 名健康成年志愿者中,32%的男性和 17%的女性膝关节与下肢机械轴呈 3° 或 3° 以上内翻。Wanezaki 等^[7]的研究结果与 Bellemans 等^[6]的研究结果相似,且发现随着年龄的增长,膝关节内翻超过 3° 的人群占比会逐渐增加。Fahlman 等^[8]研究发现,143 名研究对象中,膝关节内翻者占 49.0%、外翻者占 21.7%。对于膝关节不是中立位对线的患者,TKA 术中采用机械对线可能会造成胫骨截骨和软组织松解过度,引起术后患者不满意,故机械对线不是最佳选择。

机械对线的原则是保障内外侧间室负荷均匀,防止聚乙烯表面出现不对称磨损和假体松动,提高假体长期生存率^[9]。该方法改变了患者原有的膝关节解剖结构、生理性韧带平衡点和运动特点,创建出的是生物力学上的友好型人工膝关节,没有考虑患者膝关节的个体解剖特点,导致部分患者术后症状改善和膝关节功能恢复欠佳^[10]。

1.3 运动学对线

TKA 术中的运动学对线是重建 3 条运动轴,即膝关节运动时形成的胫骨屈伸轴、髌骨屈伸轴、胫骨内外旋轴,要求前 2 条横轴平行,胫骨内外旋轴垂直于前 2 条横轴,本质上是一个动态的三维对线^[3]。运动学对线 TKA 要求股骨远端、股骨后髁及胫骨截骨的厚度均与假体厚度一致,假体安放需参照病变前膝关节的 6 个自由度,即前侧-后侧、近端-远端、内侧-外侧、屈曲-伸直、内翻-外翻、内旋-外旋,以恢复膝关节的正常运动功能^[3]。该方法是对膝关节进行个性化解剖重建,以恢复膝关节解剖结构的原始角度、下肢运动轴、关节线及关节松弛度,被认为是“真正的膝关节表面重建”(图 1)。

运动学对线优先重塑股骨,保留原始的股骨关节

线倾斜度,通过调整胫骨截骨参数或松解软组织平衡膝关节屈伸间隙^[11]。但该方法具有一定的局限性,可导致胫骨截骨过多。因此,有学者提出了“反向运动对线”,即胫骨优先截骨,保留原始的胫骨关节线倾斜度,调整股骨截骨参数平衡屈伸间隙^[12]。但反向运动对线的精准性、实用性、可靠性仍需可靠的临床证据证明。

当膝关节解剖结构出现异常或病理改变等特殊情况下,运动学对线可能与假体结构设计、固定方式等不兼容。对此,有学者提出了限制性运动学对线,即在遵循运动学对线原理的基础上,恢复患者下肢原始解剖结构,维持髁膝踝角 $\leq 3^\circ$,胫骨近端内侧角及股骨远端外侧角均 $\leq 5^\circ$ ^[13]。



图 1 全膝关节置换手术前后站立位双下肢全长 X 线片

注:双侧膝骨关节炎膝关节内翻畸形,右膝应用机械对线行全膝关节置换术,左膝应用运动学对线行全膝关节置换术。

1.4 功能对线

随着计算机导航和机器人辅助 TKA 技术的成熟和推广, Kayani 等^[14]提出 TKA 术中在保持下肢冠状位 $0^\circ \pm 3^\circ$ 对线安全区域内, 通过截骨和微调假体位置恢复关节线高度和倾斜角, 在对软组织干扰程度最低的情况下, 实现膝关节屈伸间隙的平衡。该方法以机械对线为基础, 参考运动学对线方法, 借助计算机导航或机器人辅助进行截骨和假体定位, 以达到维持假体稳定与软组织平衡, 恢复患者个性化膝关节运动功能的目的^[15]。但该方法的临床应用时间较短, 其疗效尚需进一步观察。

2 运动学对线 TKA

2.1 假体选择

虽然目前临床应用的膝关节假体多是针对机械对线开发的, 但大多数的假体也适用于运动学对线。目前运动学对线 TKA 主要采用的膝关节假体有后稳定型假体、后交叉韧带保留型假体和内轴型假体。内轴型假体是基于正常膝关节运动模式的内轴理论设计的单半径膝关节假体, 与运动学对线的理念相契合, 用于运动学对线 TKA 既能匹配膝关节顺应性又能恢复膝关节的前后稳定性^[16]。French 等^[17]进行的临床随机对照试验研究发现, 运动学对线 TKA 术中应用内轴型假体的患者较应用后交叉韧带保留型假体的患者术后遗忘关节评分高。Scott 等^[18]研究发现, 运动学对线 TKA 术中应用内轴型假体, 患者术后 1 年和术后 2 年时的膝关节功能和关节活动度均优于应用后稳定型假体, 术后 2 年的遗忘关节评分亦高于后者。这些研究表明, 与后交叉韧带保留型假体和后稳定型假体相比, 运动学对线 TKA 术中应用内轴型假体, 患者术后膝关节功能和膝关节活动度恢复得更好, 生活质量更高。

2.2 手术操作

运动学对线 TKA 手术入路及过程基本与常规 TKA 相同, 手术通常采用计算机智能导航系统、手术机器人、个性化截骨导向器、游标卡尺等辅助截骨, 以提高截骨的精准度。软骨磨损补偿原则^[15, 19]: 全层软骨磨损, 补偿 2 mm 厚度; 部分软骨磨损, 补偿 1 mm 厚度。运动学对线 TKA 遵循等量截骨原则, 即假体厚度与经过磨损校正的截骨厚度相同^[19], 实现假体安装后的膝关节表面形态与患者术前重建的正常膝关节三维模型一致。胫骨假体旋转对位原则: 胫骨假

体前后缘连线平行于胫骨外侧髁的长轴(胫骨平台外侧髁最前缘和最后缘的连线)^[20]。根据下肢力线、关节活动度及关节松紧度调整试模及衬垫厚度, 必要时进一步松解膝关节内侧或外侧软组织, 甚至进行补偿截骨以维持膝关节屈伸间隙的平衡。

2.3 临床疗效

Elbuluk 等^[21]研究发现, 行运动学对线 TKA 的患者术后 6 周、1 年和 2 年时膝关节功能恢复比行机械对线 TKA 的患者更好, 术后 1 年和 2 年时的关节遗忘评分更高。Shelton 等^[22]通过回顾性研究发现, 接受运动学对线 TKA 的患者满意度及在康复过程中的依从性均高于接受机械对线 TKA 的患者, 且术后关节遗忘评分更高。Li 等^[23]对 6 项研究进行荟萃分析发现, 与机械对线 TKA 相比, 运动学对线 TKA 患者术后 6~34 个月随访期内的西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数、膝关节功能评分、牛津大学膝关节评分及膝关节屈曲活动度更优。但也有研究^[24]发现, 运动学对线 TKA 和机械对线 TKA 在临床疗效方面没有差异。荟萃分析^[25-26]也显示, 与机械对线 TKA 相比, 运动学对线 TKA 中短期临床疗效更好, 而在长期临床疗效和并发症发生率方面, 两者没有差异。

2.4 生物力学和运动学研究

Ishikawa 等^[27]通过有限元分析发现, 运动学对线 TKA 术后的膝关节运动学特点接近正常膝关节, 但髌股关节和胫股关节的接触应力增加。Nakamura 等^[28]也通过有限元分析发现, 与机械对线 TKA 相比, 运动学对线 TKA 术后胫骨假体的接触应力、切骨面和胫骨内侧骨皮质的应力分别增加了 41.5%、32.2% 和 53.7%。但 Klasan 等^[29]研究发现, 运动学对线可通过增加聚乙烯衬垫和股骨假体之间的接触面积, 降低聚乙烯衬垫的接触应力。Schroeder 等^[30]研究发现, 运动学对线不会增加聚乙烯衬垫的磨损。Kang 等^[31]研究发现, TKA 术后在站立相步态和深度屈膝状态下, 运动学对线组内侧聚乙烯衬垫最大接触应力和内侧副韧带受力低于机械对线组。Blakeney 等^[32]进行了一项回顾性病例对照研究, 结果显示, 运动学对线 TKA 患者术后膝关节矢状面运动范围、胫骨外旋, 以及膝关节最大屈曲和外展-内收曲线, 与健康膝关节没有明显差异, 而机械对线 TKA 组术后膝关节运动特点与健康膝关节有明显差异; 认为运动学对线 TKA 术后人工膝关节的运动特点更接近正常的膝关节。

以上研究表明,运动学对线 TKA 术后人工膝关节的运动特点更接近于正常膝关节,但术后膝关节生物力学变化尚存争议,多数研究倾向于运动学对线能提供更有利于假体长期生存的生物力学环境。这些结论还需进一步的研究证实。

2.5 假体生存率和术后并发症

Howell 等^[33]对 217 例(222 膝)接受运动学对线 TKA 手术治疗的患者进行了 10 年随访,结果显示,以任何原因导致的翻修为终点,假体生存率为 97.5%;以单纯因无菌性松动导致的翻修为终点,假体生存率 98.4%。Liu 等^[34]通过一项纳入 14 项随机对照试验的荟萃分析发现,运动学对线 TKA 和机械对线 TKA 术后的假体生存率相似。Howell 等^[35]通过一项随访了 16 年的研究发现,运动学对线 TKA 术后的假体生存率为 93%。

运动学对线 TKA 术后发生翻修或再手术的原因主要有髌骨并发症(髌骨轨迹不良、髌骨磨损、髌股关节疼痛等)、胫骨假体松动、疼痛、感染、膝关节僵硬等,尤其是髌骨并发症在运动学对线 TKA 术后的发生率较高^[33,35-36]。运动学对线 TKA 术后髌骨并发症往往是股骨假体旋转角度不准确、股骨外翻截骨过大、股骨假体屈曲度过大(与股骨矢状解剖轴的成角大于 11°),以及股骨假体单一的股骨髁前后径与内外径尺寸设计等原因所致^[37-39]。术中应用计算机导航和机器人辅助系统,可确保截骨假体放置的准确性。但可以降低运动学对线 TKA 术后翻修或再次手术概率的方法和策略,仍是需要进一步研究的问题。

3 小 结

运动学对线 TKA 是对膝关节进行个性化解剖重建,以恢复膝关节的原始角度、下肢运动轴、关节线及关节松弛度。大部分的膝关节假体适用于该术式,内轴型假体更适合。该术式的手术操作过程与常规 TKA 相同,术中遵循等量截骨原则。运动学对线 TKA 具有良好的临床疗效和较高的假体生存率,在恢复膝关节生物力学和运动学特性方面具有优势。但该术式的临床应用与推广仍面临一些问题,如缺乏针对运动学对线设计的假体,缺乏大样本长期随访的临床试验验证疗效,以及缺乏进一步降低术后翻修率和再次手术率的方法和策略。这些问题也将是今后运动对线 TKA 研究的重点和方向。

参考文献

- [1] PATIL S, MCCAULEY J C, PULIDO P, et al. How do knee implants perform past the second decade? Nineteen- to 25-year followup of the press-fit condylar design TKA[J]. Clin Orthop Relat Res, 2015, 473(1): 135 - 140.
- [2] NAKANO N, SHOMAN H, OLAVARRIA F, et al. Why are patients dissatisfied following a total knee replacement? A systematic review[J]. Int Orthop, 2020, 44(10): 1971 - 2007.
- [3] HOWELL S M, KUZNIK K, HULL M L, et al. Results of an initial experience with custom-fit positioning total knee arthroplasty in a series of 48 patients[J]. Orthopedics, 2008, 31(9): 857 - 863.
- [4] HUNGERFORD D S, KENNA R V, KRACKOW K A, et al. The porous-coated anatomic total knee[J]. Orthop Clin North Am, 1982, 13(1): 103 - 122.
- [5] OUSSEDIK S, ABDEL M P, VICTOR J, et al. Alignment in total knee arthroplasty[J]. Bone Joint J, 2020, 102-B(3): 276 - 279.
- [6] BELLEMANS J, COLYN W, VANDENNEUCKER H, et al. The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus[J]. Clin Orthop Relat Res, 2012, 470(1): 45 - 53.
- [7] WANEZAKI Y, SUZUKI A, TAKAKUBO Y, et al. Lower limb alignment in healthy Japanese adults[J]. J Orthop Sci, 2023, 28(1): 200 - 203.
- [8] FAHLMAN L, SANGEORZAN E, CHHEDA N, et al. Older adults without radiographic knee osteoarthritis: knee alignment and knee range of motion[J]. Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord, 2014, 7: 1 - 11.
- [9] WATERSON H B, CLEMENT N D, EYRES K S, et al. The early outcome of kinematic versus mechanical alignment in total knee arthroplasty: a prospective randomised control trial[J]. Bone Joint J, 2016, 98 - B(10): 1360 - 1368.
- [10] 李俊彦, 熊靛, 潘建康, 等. 全膝关节置换术对线理念的研究现状[J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29(23): 2149 - 2153.
- [11] MACDESSI S J, OUSSEDIK S, ABDEL M P, et al. The language of knee alignment: updated definitions and considerations for reporting outcomes in total knee arthroplasty[J]. Bone Joint J, 2023, 105-B(2): 102 - 108.
- [12] WINNOCK DE GRAVE P, LUYCKX T, CLAEYS K, et al. Higher satisfaction after total knee arthroplasty using restricted inverse kinematic alignment compared to adjusted mechanical alignment[J]. Knee Surg Sports Traumatol Ar-

- throse, 2022, 30(2):488–499.
- [13] VENDITTOLI P A, MARTINOV S, BLAKENEY W G, et al. Restricted kinematic alignment, the fundamentals, and clinical applications[J]. *Front Surg*, 2021, 8:697020.
- [14] KAYANI B, KONAN S, TAHMASSEBI J, et al. A prospective double-blinded randomised control trial comparing robotic arm-assisted functionally aligned total knee arthroplasty versus robotic arm-assisted mechanically aligned total knee arthroplasty[J]. *Trials*, 2020, 21(1):194.
- [15] 李超, 刘宇博, 张帅, 等. 功能对线与限制性运动对线机器人辅助全膝关节置换术短期临床研究[J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2023, 16(4):325–332.
- [16] HOWELL S M, NEDOPIL A J, HULL M L, et al. Negligible effect of surgeon experience on the accuracy and time to perform unrestricted caliper verified kinematically aligned TKA with manual instruments[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30(9):2966–2974.
- [17] FRENCH S R, MUNIR S, BRIGHTON R, et al. A single surgeon series comparing the outcomes of a cruciate retaining and medially stabilized total knee arthroplasty using kinematic alignment principles[J]. *J Arthroplasty*, 2020, 35(2):422–428.
- [18] SCOTT D F, GRAY C G. Outcomes are better with a medial-stabilized vs a posterior-stabilized total knee implanted with kinematic alignment[J]. *J Arthroplasty*, 2022, 37(8S):S852–S858.
- [19] LUSTIG S, SAPPEY-MARINIER E, FARY C, et al. Personalized alignment in total knee arthroplasty: current concepts[J]. *SICOT J*, 2021, 7:19.
- [20] NEDOPIL A J, HOWELL S M, RUDERT M, et al. How frequent is rotational mismatch within $0^\circ \pm 10^\circ$ in kinematically aligned total knee arthroplasty? [J]. *Orthopedics*, 2013, 36(12):e1515–e1520.
- [21] ELBULUK A M, JERABEK S A, SUHARDI V J, et al. Head-to-head comparison of kinematic alignment versus mechanical alignment for total knee arthroplasty[J]. *J Arthroplasty*, 2022, 37(8S):S849–S851.
- [22] SHELTON T J, GILL M, ATHWAL G, et al. Outcomes in patients with a calipered kinematically aligned tka that already had a contralateral mechanically aligned TKA[J]. *J Knee Surg*, 2021, 34(1):87–93.
- [23] LI Y, WANG S, WANG Y, et al. Does kinematic alignment improve short-term functional outcomes after total knee arthroplasty compared with mechanical alignment? A systematic review and meta-analysis[J]. *J Knee Surg*, 2018, 31(1):78–86.
- [24] MCEWEN P J, DLASKA C E, JOVANOVIĆ I A, et al. Computer-assisted kinematic and mechanical axis total knee arthroplasty: a prospective randomized controlled trial of bilateral simultaneous surgery[J]. *J Arthroplasty*, 2020, 35(2):443–450.
- [25] LUO Z, ZHOU K, PENG L, et al. Similar results with kinematic and mechanical alignment applied in total knee arthroplasty[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(6):1720–1735.
- [26] VAN ESSEN J, STEVENS J, DOWSEY M M. Kinematic alignment results in clinically similar outcomes to mechanical alignment: systematic review and meta-analysis[J]. *Knee*, 2023, 40:24–41.
- [27] ISHIKAWA M, KURIYAMA S, ITO H, et al. Kinematic alignment produces near-normal knee motion but increases contact stress after total knee arthroplasty: a case study on a single implant design[J]. *Knee*, 2015, 22(3):206–212.
- [28] NAKAMURA S, TIAN Y, TANAKA Y, et al. The effects of kinematically aligned total knee arthroplasty on stress at the medial tibia: a case study for varus knee[J]. *Bone Joint Res*, 2017, 6(1):43–51.
- [29] KLASAN A, KAPSHAMMER A, MIRON V, et al. Kinematic alignment in total knee arthroplasty reduces polyethylene contact pressure by increasing the contact area, when compared to mechanical alignment—a finite element analysis[J]. *J Pers Med*, 2022, 12(8):1285.
- [30] SCHROEDER S, SCHONHOFF M, UHLER M, et al. Does kinematic alignment increase polyethylene wear compared with mechanically aligned components? A wear simulation study[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2022, 480(9):1790–1800.
- [31] KANG K T, KOH Y G, NAM J H, et al. Kinematic alignment in cruciate retaining implants improves the biomechanical function in total knee arthroplasty during gait and deep knee bend[J]. *J Knee Surg*, 2020, 33(3):284–293.
- [32] BLAKENEY W, CLÉMENT J, DESMEULES F, et al. Kinematic alignment in total knee arthroplasty better reproduces normal gait than mechanical alignment[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2019, 27(5):1410–1417.
- [33] HOWELL S M, SHELTON T J, HULL M L, et al. Implant survival and function ten years after kinematically aligned total knee arthroplasty[J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(12):3678–3684.
- [34] LIU B, FENG C, TU C. Kinematic alignment versus mechan-

ical alignment in primary total knee arthroplasty: an updated meta-analysis of randomized controlled trials [J]. J Orthop Surg Res, 2022, 17(1): 201.

- [35] HOWELL S M, AKHTAR M, NEDOPIL A J, et al. Reoperation, implant survival, and clinical outcome after kinematically aligned total knee arthroplasty: a concise clinical follow-up at 16 years [J]. J Arthroplasty, 2024, 39(3): 695 – 700.
- [36] DOSSETT H G, ARTHUR J R, MAKOVICKA J L, et al. A randomized controlled trial of kinematically and mechanically aligned total knee arthroplasties: long-term follow-up [J]. J Arthroplasty, 2023, 38(6S): S209 – S214.
- [37] TRAN T, MCEWEN P, PENG Y, et al. Kinematic alignment in total knee arthroplasty: a five-year prospective, multicen-

tre, survivorship study [J]. Bone Jt Open, 2022, 3(8): 656 – 665.

- [38] NEDOPIL A J, HOWELL S M, HULL M L. What clinical characteristics and radiographic parameters are associated with patellofemoral instability after kinematically aligned total knee arthroplasty? [J]. Int Orthop, 2017, 41(2): 283 – 291.
- [39] KLASAN A, DE STEIGER R, HOLLAND S, et al. Similar risk of revision after kinematically aligned, patient-specific instrumented total knee arthroplasty, and all other total knee arthroplasty: combined results from the Australian and New Zealand joint replacement registries [J]. J Arthroplasty, 2020, 35(10): 2872 – 2877.

(收稿日期: 2024-06-06 本文编辑: 杨雅)

(上接第 30 页)

究结果显示,疼痛侧别与横断面横髂径相对较长的侧别一致,提示横断面横髂径变长与疼痛的发生具有一致性。我们认为,横突与髂骨的距离越大,则“筋”受到的牵拉力就越大,进而导致牵拉部位疼痛的发生。

本研究结果显示,腰骶角变小、L₅ 椎体旋转/冠状面横髂径相对值增大与非特异性腰痛有关,且横断面横髂径对称性与腰痛侧别有关。这些影像表现特点可能是非特异性腰痛患者腰骶部结构“筋出槽、骨错缝”的影像学证据。

参考文献

- [1] 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会, 中华医学会骨科分会骨科康复学组. 中国非特异性腰背痛临床诊疗指南 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2022, 32(3): 258 – 268.
- [2] MAHER C, UNDERWOOD M, BUCHBINDER R. Non-specific low back pain [J]. Lancet, 2017, 389(10070): 736 – 747.
- [3] DEYO R A, WEINSTEIN J N. Low back pain [J]. N Engl J Med, 2001, 344(5): 363 – 370.
- [4] 靳安民. 非特异性腰痛的对因治疗 [J]. 第一军医大学学报, 2002, 22(12): 1057 – 1060.
- [5] SHOKRI P, ZAHMATYAR M, FALAH TAFTI M, et al. Non-spinal low back pain: global epidemiology, trends, and risk factors [J]. Health Sci Rep, 2023, 6(9): e1533.
- [6] 雷腾飞, 胡零三, 安军伟, 等. 腰骶部“骨错缝、筋出槽”与非特异性下腰痛关系的探讨 [J]. 中国中医骨伤科杂志, 2018, 26(4): 80 – 82.
- [7] 汪敏加, 周凌, 丁海丽, 等. 非特异性腰痛患者腰骶结构特征及其影响因素 [J]. 武汉体育学院学报, 2017, 51(5):

95 – 100.

- [8] 潘富伟, 邓真, 张开勇, 等. 詹红生从筋诊治非特异性腰痛的临床意义探析 [J]. 上海中医药杂志, 2020, 54(11): 26 – 28.
- [9] 《脊柱筋出槽骨错缝临床诊疗指南》标准化项目专家组. 基于德尔菲法构建《脊柱筋出槽疾病诊断标准》专家共识 [J]. 中医正骨, 2023, 35(3): 1 – 5.
- [10] 李正言, 丁立鹏, 任我行, 等. 筋出槽和骨错缝的中英文释义及现代认知探讨 [J]. 中医正骨, 2024, 36(6): 37 – 39.
- [11] 杜国庆, 沈知彼, 李正言, 等. 脊柱筋出槽、骨错缝疾病临床评估中触诊的价值和操作方法 [J]. 中医正骨, 2024, 36(2): 55 – 59.
- [12] 李伟. 正常腰椎及腰椎骨质疏松三维有限元模型的建立及分析 [D]. 石家庄: 河北医科大学, 2011.
- [13] 陈睿, 宋恒平. 腰骶部“梯形区”的结构变化在下腰痛中的致因作用 [J]. 中国矫形外科杂志, 2011, 19(3): 260.
- [14] 黄清奇, 刘少强, 梁珪清. 腰骶部移行椎的解剖及生物力学研究进展 [J]. 中华外科杂志, 2019, 57(2): 156 – 160.
- [15] 涂强, 徐国洲, 钟润泉, 等. 第五腰椎横突肥大综合征的诊断与治疗 [J]. 临床外科杂志, 2006, 14(6): 400 – 401.
- [16] 王震寰, 杨其云. 腰₅—骶₁ 椎间孔的韧带及其与腰腿痛的关系 I. 韧带的解剖学观察 [J]. 颈腰痛杂志, 1995, 16(4): 193 – 195.
- [17] 朱爱国, 张烽, 朱建伟, 等. 腰骶丛神经根的应用解剖及临床意义 [J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(4): 573 – 577.
- [18] 时蓉, 马岳, 王云. 超声引导下腰骶区神经阻滞技术研究进展 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2022, 28(5): 369 – 374.

(收稿日期: 2023-10-26 本文编辑: 吕宁)