

· 综 述 ·

前臂远端骨间膜损伤的研究现状及进展

吕云云, 林小慧 综述, 李晓兰[△] 审校

(重庆医科大学附属大学城医院放射科, 重庆 401331)

[摘要] 前臂远端骨间膜(DIOM)参与维持前臂的横向及纵向稳定作用,其损伤多发生在前臂远端骨折后,可能引起前臂稳定性减低,甚至远尺桡关节不稳的发生。因此,早期诊断非常重要。目前诊断方式多依赖于影像学检查(如磁共振成像、B超)。该文将从 DIOM 的解剖学、损伤机制及表现、治疗等方面的最新进展进行综述。

[关键词] 前臂远端骨间膜; 远尺桡关节; 早期诊断; 研究现状; 综述

DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2023.22.027 **中图法分类号:** R683

文章编号: 1009-5519(2023)22-3912-04

文献标识码: A

Current status and progress of distal forearm interosseous membrane injuryLV Yunyun, LIN Xiaohui, LI Xiaolan[△]

(Department of Radiology, University-Town Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 401331, China)

[Abstract] The distal interosseous membrane of the forearm (DIOM) is involved in maintaining the lateral and longitudinal stability of the forearm. Its damage mostly occurs after distal forearm fractures, which may lead to the reduction of the stability of the forearm and even instability of the distal radioulnar joint. Therefore, early diagnosis is very important, and the current the diagnostic methods mostly rely on imaging examinations (such as MRI and B-ultrasound). This article will reviews the latest progress in the anatomy, injury mechanism, manifestations and treatment of DIOM.

[Key words] Distal forearm interosseous membrane; Distal radioulnar joint; Early diagnosis; Research status; Review

前臂骨间膜(IOM)为一坚韧的纤维膜,附着于尺桡骨的骨间嵴之间,前臂远端骨间膜(DIOM)充当远尺桡关节(DRUJ)的二级稳定器,参与维持前臂的横向及纵向稳定作用,DIOM 的损伤多发生在前臂远端骨折后,可能引起前臂的横向和(或)纵向稳定作用减低,甚至 DRUJ 不稳的发生,因此,在治疗前臂骨折时应注意其是否合并骨间膜的损伤,应早期诊断、治疗,提高患者预后。然而,目前对于 DIOM 的损伤、诊断及治疗等相关的研究仍不够完善,而其损伤机制在临床诊疗中起着重要作用。本文将从 DIOM 的解剖学、损伤机制及表现、治疗等方面的最新研究进展展开综述。

1 解剖研究

IOM 为一坚韧的纤维膜,附着于尺桡骨的骨间嵴之间,横跨旋前方肌背侧区域的桡骨和尺骨,也是连接桡骨和尺骨的韧带复合体,对于维持前臂的横向和纵向稳定及旋转功能起着至关重要的作用,并将力从桡骨转移到尺骨^[1-2]。

DIOM 是指横跨旋前方肌背侧区域的桡骨和尺

骨的骨间膜。DIOM 存在多种解剖学变异,根据远端斜束(DOB)是否存在可分为有 DOB 存在和无 DOB 存在,而 DOB 是指 DIOM 中一条明显粗大的纤维束,是 DIOM 的功能纤维^[3-4],DOB 是起自尺骨干远端六分之一处,向远端延伸,止于桡骨乙状切迹的背侧下缘,距桡骨茎突约 35 mm,约为桡骨茎突桡骨总长度的 15%^[5]。有研究表明,30%~50% 的人群存在 DOB^[6]。DOB 的形态测量分析在文献中差异很大,现研究主要有 3 种形态:(1) DOB 呈线性,与 DIOM 的膜部分明显分离。(2)粗纤维束仅在 DIOM 的近端可见。(3)向远端呈扇形展开,DOB 很宽,几乎占据了整个 DIOM。相关文献给出的厚度值为 0.83~1.50 mm,长度为 24~35 mm,宽度为 4.2~9.0 mm^[6-7]。最近的解剖学研究表明,DIOM 厚度大于或等于 1 mm 即存在 DOB。

有研究表明,在前臂 DIOM 中,DOB 具有最高数量的感觉小体,这表明作用在 DRUJ 上的压缩和定向肌肉力的本体感受控制由 DOB 监测^[7]。DOB 中弹性纤维分布均匀占比较多,使其结构具有一定的弹

[△] 通信作者, E-mail: 1332527742@qq.com。

性,从而让 DIOM 能够适应前臂旋转并因此也抵抗压力,只有潜在的有害运动会刺激感觉神经末梢,而它们在前臂的生理前旋过程中保持不活跃。DOB 缺失的患者其关节和前臂的稳定性将受到一定影响。

2 生物力学及损伤机制

DRUJ 通过其周围骨骼、韧带和肌肉组织的轮廓的平衡来稳定。其中三角纤维软骨复合(TFCC)和 DIOM 是主要的 DRUJ 稳定器^[5]。而在 DIOM 中, DOB 是其重要组成结构并维持 DRUJ 稳定, DOB 与 TFCC 有解剖学联系,由于 DOB 远端插入桡骨乙状切迹,一些纤维沿着乙状切迹的前后嵴向远端延伸,恰好背侧和掌侧桡尺韧带起于桡骨远端的背尺缘和掌尺缘,止于尺骨凹处。因此, DOB 与 TFCC 的背侧和掌侧桡尺韧带呈连续性,两者均可作为 DRUJ 的等长副韧带,因为 DOB 的尺侧插入和尺桡韧带的深肢几乎与前臂旋转轴的方向一致^[5,8]。KIYARA 等^[9]进行了一项生物力学尸体研究,指出当 TFCC 的背侧和掌侧桡尺韧带被切断时, DIOM 充当 DRUJ 的二级稳定器。但 30%~50% 的人群存在 DOB,且在中立前臂位置,存在 DOB 组患者的桡骨相对于尺骨的位移程度比无 DOB 组小,这表明当无 DOB 存在者比有 DOB 存在者在中性前臂位置的先天 DRUJ 松弛度更大;并且 DOB 是否完整,对进一步保持 DRUJ 的稳定很重要,甚至占主导作用。ORBAY^[10]研究表明,在尺侧腕伸肌腱鞘和 TFCC 施加的张力导致尺骨茎突伴随撕脱骨折阶段, DRUJ 唯一幸存的稳定器是 DIOM。并且当存在中央凹 TFCC 撕裂时,磁共振成像(MRI)上显示无 DOB 存在的患者更可能出现 DRUJ 不稳定;有研究提示,在 Sauvé-Kapandji 手术后,厚的 DIOM(存在 DOB)在稳定尺骨残端方面具有重要作用;故 DOB 的存在对 DRUJ 稳定性的确有更大贡献^[4,11],所以存在 DOB 的 DIOM 更加稳固,作为 DRUJ 二级稳定器的作用更大^[12]。DRUJ 的一、二级稳定器是既相互独立又相互作用,共同维持 DRUJ 的稳定。

先前的研究集中在骨间膜作为前臂的纵向稳定器,而不是作为 DRUJ 的背-掌侧稳定器即横向稳定器来研究。前臂的纵向稳定性由桡骨、骨间膜及三角纤维软骨复合体共同维持。有学者研究发现,前臂骨折中各类型桡骨小头骨折均可发生 IOM 损伤,其中以 Mason I 型桡骨小头骨折(即边缘骨折伴移位)伴随的骨间膜损伤较重,可出现骨间膜中央部的断裂,但对 IOM 提及较少^[13]。且前臂远端损伤对骨间膜的影响研究鲜少,本综述将主要探讨这一方向。在许多情况下,骨间膜在人类前臂的高能轴向负荷创伤中受伤^[14]。临床工作中前臂远端的轴向高能损伤更常见,

其多伴随尺桡骨远端的骨折,尤其是桡骨远端骨折(DRF), DRF 即距桡骨远端关节面 3 cm 以内的骨折,是松质骨和密质骨的交界处,此处力学结构较薄弱,桡骨远端遭受暴力损伤,其暴力可部分传送到 IOM。当前臂远端损伤,若发生桡骨相对于尺骨的背侧脱位时强烈提示 IOM 的破裂。在所有前臂旋转位置, IOM 限制了 DRUJ 处桡骨的掌侧和背侧松弛,故 IOM 在限制 DRUJ 桡骨背侧脱位中起重要作用^[15]。TFCC 和 DRUJ 的其他软组织稳定器可防止桡骨的掌侧平移,归因于 IOM 的稳定性主要限制了桡骨的背侧松弛。PALMER 等^[16]研究表明,在切除 TFCC 但 IOM 完整保留后,除了旋前前臂的背侧外,观察到一般的背侧和掌侧径向脱位。VIEGAS 等^[17]描述了除 TFCC 破裂之外, IOM 或 DOB 的撕裂导致尺骨头从 DRUJ 内脱离。当发生桡骨背侧脱位意味着与 DIOM 破裂相关的 TFCC 损伤。在切除 TFCC 和 IOM 后,观察到旋后桡骨背侧半脱位和旋前掌侧半脱位,并且切除 DIOM 后所有前臂位置均存在显著的不稳定性。DIOM 是 DRUJ 相对于尺骨的桡骨掌侧和背侧松弛的主要约束结构,特别是旋前和旋后桡侧的掌侧松弛。故完整的 DIOM 可以在大多数 DRF 中提供足够的稳定性,以允许稳定的前臂旋转,而 IOM 发挥重要结构的则是其中粗大的功能纤维——DOB,虽然只有 30%~50% 的人群存在 DOB,但对于维持 DRUJ 稳定性的主要结构是 DOB。尽管骨间膜中央束已被报道为前臂最强的纤维纵向稳定器,但 DIOM(存在 DOB)在 DRUJ 横向稳定性方面的功能不可忽略^[5]。并且 DOB 可能解释了为何一些患者在 TFCC 中断或尺骨头切除后尺骨不稳定,但没有出现 DRUJ 不稳定、疼痛或功能障碍的迹象或症状。因此,在临床上确定 DOB 对于探索该结构在 DRUJ 稳定性中作用的未来临床研究具有重要意义。

DRUJ 的不稳定性是一个非常常见的临床问题,长期关节不稳会出现严重的功能限制,如前臂旋转减少、慢性腕部疼痛和握力降低^[18]。如若 DRUJ 不稳长此以往发展下去,将会严重影响患者的生活质量。在临床工作中,当面临腕关节创伤患者,除了要关注骨、关节、韧带、TFCC 等问题外,也不能忽视 IOM(存在 DOB)的损伤,虽然 DOB 是作为二级稳定器存在,但其中一级稳定器——TFCC 损伤时, DOB 对于 DRUJ 的稳定起着至关重要的作用。早期 DIOM(存在 DOB)损伤诊断可预防慢性纵向前臂不稳,从而改善患者预后。

3 DOB 损伤时的影像学表现

3.1 超声检查

超声可以成为检测 DOB 存在的有用且相对便宜的工具,超声评估在确认 DOB 存在方

面的灵敏度为 80%^[19]。正常的 DOB 在 B 超下表现为远端尺桡骨间连续的高回声影,当撕裂时,连续的高回声影中断、迂曲。SOUBEYRAND 等^[20]认为通过 B 超动态检测前臂“肌肉疝”挤压前臂骨间隙的表现能发现较小的骨膜损伤,但其诊断灵敏度较低,不能作为临床诊断的“金标准”。

3.2 MRI MRI 可以评估大多数软骨和韧带病变,对前臂远端损伤的患者具有更高价值,并且其不依赖于检查者的能力。目前,多数学者认为 MRI 是诊断 IOM 损伤的最有效的无创性方法,不仅能发现骨间膜连续性中断,还能较好地定位损伤部位及测量损伤长度,其中通过三维重建技术能更生动地显示骨间膜的损伤情况。KIM 等^[21]分析了 80 例患者的正常前臂 MRI 图像,DOB 的出现率为 32.5%,平均厚度为 1.4 mm,不存在 DOB 时骨间膜远端部分平均厚度为 0.6 mm,采用 MRI 检查可识别并测量其厚度,这能帮助评价 IOM 部分损伤。MRI 图像评估:(1)轴向平面对于确定 DOB 是否存在最重要,可通过测量轴向上 DIOM 最厚部分的前后厚度来识别。当 DIOM 厚度超过 1.0 mm 时可认为存在 DOB。连续评估 T2 加权图像,在尺骨头的轴向和冠状平面上具有 2~3 mm 厚度的切片,向近端逐渐移动层面至 60 mm 处。(2)完整的 DIOM MRI 表现,由于 DOB 的主要成分是胶原纤维,所以在各个序列均为连续光滑的黑色低信号带,在 T2 脂肪抑制像上显示最清楚,使用将其与周围肌肉组织区分开来的低线性特征识别 DIOM。(3)损伤的 DIOM MRI 表现,骨间膜连续性中断及信号增高,表现为迂曲、波浪状、松弛的韧带纤维及前臂肌肉向骨间膜膨出,大多数周围可见高信号水肿带^[22],以厚度大于或等于 1 mm 为准来判别是 DIOM 损伤或是其 DOB 损伤。

总的来说,超声和 MRI 用于诊断 IOM 损伤各有优缺点,但诊断的敏感性和特异性没有特别大差异。

4 治疗

前臂远端损伤,尤其是存在 DRF 时,除了发生 TFCC 破裂外,还会导致 DIOM 的破裂或松动。在一些 DIOM 松动(不是破裂)的情况下,有学者推荐采取非手术治疗,先用石膏固定,尽量恢复 DIOM 的张力,通常用石膏把前臂固定于旋后位,因为 DIOM 在旋后时处于松弛状态,利于其损伤的愈合^[23]。当石膏固定稳定性不足时,可以加用克氏针固定^[24]。但是 IOM 损伤后自愈能力有限,非手术治疗可能会失败。若 DIOM 破裂,为了解决 DRUJ 不稳定性,可用肌腱同种异体移植物(例如掌长肌、指伸肌腱、骨-韧带-骨复合体等自体移植物)进行远端斜束(存在 DOB)的重建^[25-28],但现阶段对于 DIOM(存在 DOB)的重建研究

及临床应用较少,并且争议较大,没有统一的标准,但许多文献表明,早期正确的诊断和治疗可以提高临床疗效,但对于创伤外科医生来说是一个挑战,需要进一步深入研究学习^[25,29-30]。有文献表示前臂骨间膜重建主要是单束重建^[29],而少数学者通过对尸体标本的生物力学研究发现,双束重建相对于单束重建有更好稳定性^[30]。总之,IOM 损伤在临床上相对少见,早期容易漏诊和误诊,而发展成慢性期尺腕撞击综合征等并发症时,治疗难度增大,效果相对较差。尽管目前没有一个公认的治疗标准,但临床医生对早期诊断和治疗可以提高临床疗效这一观点基本达成一致。为提高 IOM 损伤的临床疗效,还需进一步的解剖学和生物力学研究,以及大样本的临床研究。

5 小结

综上所述,DIOM 是前臂的重要解剖结构,在前臂中具有重要的生理功能,主要起到维持前臂的轴向稳定和传递重力分布轴向负荷的作用。其损伤常见于前臂的各种损伤中,目前对于其机制的研究主要集中在纵向稳定器,而作为横向稳定器方向研究较少,但作为横向稳定器有着不可或缺的临床意义,因此建议进一步研究。了解 IOM 在前臂中的作用可以很好地帮助认识了解前臂损伤的受伤机制及应力传导的过程,判断潜在的损伤部位,为前臂骨折的治疗提供一定的指导意义。IOM 损伤后不易愈合,对于其损伤认识的不足可遗留较多远期并发症,如 DRUJ 不稳,故在治疗前臂远端骨折时应将 IOM 损伤纳入考虑显得尤为重要,积极评估其损伤程度,减少患者腕部远期疼痛及握力减低等症状,可为患者提供满意的治疗效果。

参考文献

- [1] FARR L D, WERNER F W, MCGRATTAN M L, et al. Anatomy and biomechanics of the forearm interosseous membrane[J]. J Hand Surg, 2015, 40(6):1145-1151.
- [2] REIN S, KREMER T, HOUSCHYAR K S, et al. Structural topography of the interosseous membrane of the human forearm [J]. Ann Anat, 2020, 231:151547.
- [3] LEE Y, AHN J M, GONG H S. Clinical relationship between distal interosseous membrane thickness measured through magnetic resonance imaging and distal radioulnar joint stability: A retrospective study[J]. J Plast Reconstr Aesthet Surg, 2022, 75(1):340-347.
- [4] NODA K, GOTO A, MURASE T, et al. In-

- terosseous membrane of the forearm: An anatomical study of ligament attachment locations [J]. *J Hand Surg Am*, 2009, 34 : 415-422.
- [5] WATANABE H, BERGER R A, BERGLUND L J, et al. Contribution of the interosseous membrane to distal radioulnar joint constraint [J]. *J Hand Surg Am*, 2005, 30(6): 1164-1171.
- [6] ANGELIS S, APERGIS E, VYNICHAKIS G, et al. Anatomic characteristics of the distal oblique bundle of the interosseous membrane of the forearm [J]. *Cureus*, 2019, 11(1): e3964.
- [7] HOHENBERGER G M, SCHWARZ A M, WEIGLEIN A H, et al. Prevalence of the distal oblique bundle of the interosseous membrane of the forearm: An anatomical study [J]. *J Hand Surg Eur Vol*, 2018, 43(4): 426-430.
- [8] MORITOMO H, NODA K, GOTO A, et al. Interosseous membrane of the forearm: Length change of ligaments during forearm rotation [J]. *J Hand Surg Am*, 2009, 34(4): 685-691.
- [9] KIHARA H, SHORT W H, WERNER F W, et al. The stabilizing mechanism of the distal radioulnar joint during pronation and supination [J]. *J Hand Surg*, 1995, 20A: 930-936.
- [10] ORBAY J L. Ulnar head and styloid fractures [J]. *Principl Pract Wrist Surg*, 2010: 198-204.
- [11] KITAMURA T, MORITOMO H, ARIMITSU S, et al. The biomechanical effect of the distal interosseous membrane on distal radioulnar joint stability: A preliminary anatomic study [J]. *J Hand Surg Am*, 2011, 36(10): 1626-1630.
- [12] ROUGEREAU G, MARTY-DILOY T, VIGAN M, et al. Biomechanical assessment of the central band of the interosseous membrane using shear wave elastography: Reliability and reproducibility [J]. *J Hand Surg Eur Vol*, 2022, 47(11): 1134-1141.
- [13] 李武, 赵友明, 陶正刚, 等. 桡骨小头骨折与前臂骨间膜损伤的相关性研究 [J]. *中华骨科杂志*, 2012, 32(7): 664-668.
- [14] ADAMS J E, CULP R W, OSTERMAN A L. Interosseous membrane reconstruction for the Essex-Lopresti injury [J]. *J Hand Surg Am*, 2010, 35(1): 129-136.
- [15] HSIAO Y N, CHIEN C S, WU T M. Treatment of acute distal radioulnar joint instability with distal oblique bundle augmentation of the interosseous membrane by suture-button suspension: A case series [J]. *Jt Dis Relat Surg*, 2022, 33(3): 658-665.
- [16] PALMER A K, WERNER F W. The triangular fibrocartilage complex of the wrist-anatomy and function [J]. *J Hand Surg Am*, 1981, 6: 153-162.
- [17] VIEGAS S F, POGUE D J, PATTERSON R M, et al. Effects of radioulnar instability on the radiocarpal joint: A biomechanical study [J]. *J Hand Surg*, 1990, 15(5): 728-732.
- [18] NAKAMURA T, MOY O J, PEIMER C A. Relationship between fracture of the ulnar styloid process and DRUJ instability: A biomechanical study [J]. *J Wrist Surg*, 2021, 10(2): 111-115.
- [19] OKADA K, MORITOMO H, MIYAKE J, et al. Morphological evaluation of the distal interosseous membrane using ultrasound [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2014, 24(7): 1095-1100.
- [20] SOUBEYRAND M, LAFONT C, OBERLIN C, et al. The “muscular hernia sign”: An original ultrasonographic sign to detect lesions of the forearm’s interosseous membrane [J]. *Surg Radiol Anato*, 2006, 28(4): 372-378.
- [21] KIM Y H, GONG H S, PARK J W, et al. Magnetic resonance imaging evaluation of the distal oblique bundle in the distal interosseous membrane of the forearm [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2017, 18(1): 47.
- [22] MORITOMO H. The distal interosseous membrane: current concepts in wrist anatomy and biomechanics [J]. *J Hand Surg Am*, 2012, 37(7): 1501-1507.
- [23] HSU S L, LIANG R, WOO S L. Functional tissue engineering of ligament healing [J]. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol*, 2010, 2: 12.
- [24] 郁凯, 杨剑, 张殿英. Essex-Lopresti 损伤诊治进展 [J/CD]. *中华肩肘外科电子杂志*, 2015, 3(1): 63-67.
- [25] GASPAR M P, ADAMS J E, ZOHAN R C, et al. Late reconstruction of the interosseous membrane with bone patellar tendon-bone graft for chronic Essex-Lopresti injuries [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2018, 100(5): 416-427. (下转第 3920 页)

- sure to ambient particulate matter induces gut microbial dysbiosis in a rat COPD model[J]. *Respir Res*, 2020, 21(1):271.
- [26] 邓素敏, 朱涛峰, 陈如华, 等. 慢性阻塞性肺疾病稳定期患者肠道菌群状态与炎性指标及肺功能的相关性分析[J]. *中国全科医学*, 2020, 23(17): 2137-2141.
- [27] 李乃健, 戴周丽, 陈焯勇, 等. 通过粪菌移植建立慢性阻塞性肺疾病肠道菌群研究模型及其效果评价[J]. *中国呼吸与危重监护杂志*, 2021, 20(7):465-471.
- [28] LI N, DAI Z, WANG Z, et al. Gut microbiota dysbiosis contributes to the development of chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Respir Res*, 2021, 1(22):274.
- [29] 肖锶瑶, 张纾难. 肠道菌群和呼吸系统疾病相关性的研究进展[J]. *中国全科医学*, 2021, 24(9): 1165-1172.
- [30] VIGNAL C, PICHAVANT M, ALLEMAN L Y, et al. Effects of urban coarse particles inhalation on oxidative and inflammatory parameters in the mouse lung and colon[J]. *Part Fibre Toxicol*, 2017, 14(1):46.
- [31] FITCH M N, PHILLIPPI D, ZHANG Y, et al. Effects of inhaled air pollution on markers of integrity, inflammation, and microbiota profiles of the intestines in Apolipoprotein E knockout mice[J]. *Environ Res*, 2020, 181(8):108913.
- [32] REALE M, BOSCOLO P, BELLANTE V, et al. Daily intake of lactobacillus casei shirota increases natural killer cell activity in smokers [J]. *Br J Nutr*, 2012, 108(2):308-314.
- [33] VARRASO R, CHIUVE S E, FUNG T T, et al. Alternate healthy eating index 2010 and risk of chronic obstructive pulmonary disease among US women and men: Prospective study [J]. *BMJ*, 2015, 350(10):h286.
- [34] TOMODA K, KUBO K, DAIRIKI K, et al. Whey peptide-based enteral diet attenuated elastase-induced emphysema with increase in short chain fatty acids in mice[J]. *BMC Pulm Med*, 2015, 15(12):64.
- [35] KISH L, HOTTE N, KAPLAN G G, et al. Environmental particulate matter induces murine intestinal inflammatory responses and alters the gut microbiome[J]. *PLoS One*, 2013, 8(4): e62220.
- [36] HU J, WEI T, SUN S, et al. Effects of cigarette smoke condensate on the production and characterization of exopolysaccharides by bifidobacterium[J]. *An Acad Bras Cienc*, 2015, 87(2): 997-1005.
- [37] OTTIGER M, NICKLER M, STEUER C, et al. Gut, microbiota-dependent trimethylamine-N-oxide is associated with long-term all-cause mortality in patients with exacerbated chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Nutrition*, 2018, 45(9):135-141.
- (收稿日期:2023-04-27 修回日期:2023-06-11)
- (上接第 3915 页)
- [26] MILLER A J, NAIK T U, SEIGERMAN D A, et al. Anatomic interosseusmembrane reconstruction utilizing the biceps button and screw tenodesis foressex-lopresti injuries [J]. *Tech-Hand Up Extrem Surg*, 2016, 20(1):6-13.
- [27] GAO Z Y, YU Y J, LU C X, et al. A cadaveric limb analysis of the posterior tibial musculotendinous junction to determine the feasibility of interosseous membrane tendon transfer[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2023, 62(3):413-416.
- [28] LUO C B, SUN Y C, BIAN H Y, et al. Length changes in the interosseous membrane during forearm rotation: A 3-dimensional study in vivo [J]. *J Hand Surg Am*, (2022-08-05) [2023-01-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35940998/>.
- [29] 黄水兵, 陈志伟. 前臂骨间膜损伤的研究进展 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2018, 33(1):109-111.
- [30] HACKL M, ANDERMAHR J, STAAT M, et al. Suture button reconstruction of the central band of the interosseous membrane in Essex-Lopresti lesions: A comparative biomechanical investigation [J]. *J Hand Surg Eur Vol*, 2017, 42(4):370-376.
- (收稿日期:2023-04-22 修回日期:2023-09-17)