

DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20220828

• 短篇论著 •

骨间膜远端斜束强化技术治疗下尺桡关节不稳定的临床疗效

刘永刚, 吴 优*

中国人民解放军南部战区总医院骨科, 广州 510010

[摘要] **目的** 探讨骨间膜远端斜束强化技术治疗下尺桡关节 (DRUJ) 不稳定的临床疗效。**方法** 回顾性分析 2019 年 1 月至 2022 年 1 月于我院接受骨间膜远端斜束强化技术治疗的 24 例 DRUJ 不稳定患者的临床资料, 收集患者的年龄, 手术部位, 随访时间, 术前及末次随访时的腕关节视觉模拟量表 (VAS) 评分、前臂旋前及旋后活动度、快速臂肩手功能障碍评分, 术后并发症等。比较手术前后患者腕关节 VAS 评分及功能指标。**结果** 随访 12~21 个月, 平均随访时间为 (15.38±2.76) 个月。术前腕关节 VAS 评分为 4~8 (6.13±1.08) 分, 末次随访时为 1~3 (1.25±0.53) 分, 较术前改善 ($P<0.001$); 术术前臂旋前及旋后活动度为 95°~145° (120.83±14.35)°, 末次随访时为 145°~180° (175.21±6.51)°, 较术前增大 ($P<0.001$); 术术前快速臂肩手功能障碍评分为 34~98 (78.58±19.22) 分, 末次随访时为 10~34 (21.46±6.30) 分, 较术前下降 ($P<0.001$)。术后 1 例患者前臂旋前受限, 1 例存在 DRUJ 不稳定, 经相应处理后恢复。所有患者均未出现因同种异体肌腱所致的排斥反应或感染, 以及操作所致的重要神经和血管损伤。**结论** 骨间膜远端斜束强化技术临床效果满意, 并发症发生率低, 是一种安全、有效的 DRUJ 不稳定治疗方式。

[关键词] 骨间膜; 远端斜束; 下尺桡关节; 关节不稳定性

[引用本文] 刘永刚, 吴优. 骨间膜远端斜束强化技术治疗下尺桡关节不稳定的临床疗效[J]. 海军军医大学学报, 2024, 45(7): 911-916. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20220828.

Clinical efficacy of distal oblique bundle reinforcement for distal radioulnar joint instability

LIU Yonggang, WU You*

Department of Orthopaedics, General Hospital of Southern Theater Command of PLA, Guangzhou 510010, Guangdong, China

[Abstract] **Objective** To investigate the clinical efficacy of distal oblique bundle reinforcement for the treatment of distal radioulnar joint (DRUJ) instability. **Methods** The clinical data of 24 patients with DRUJ instability treated with distal oblique bundle reinforcement in our hospital from Jan. 2019 to Jan. 2022 were retrospectively analyzed. The age, surgical site, follow-up time, wrist visual analogue scale (VAS), range of motion (pronation+supination) of forearm, the quick disabilities of the arm, shoulder and hand (QuickDASH) score before operation and at the last follow-up, and postoperative complications of the patients were collected. The wrist VAS scores and functional indexes were compared before and after operation. **Results** The average follow-up time was 12-21 (15.38±2.76) months. The wrist VAS score was 4-8 (6.13±1.08) before operation and 1-3 (1.25±0.53) at the last follow-up, showing improvement after operation ($P<0.001$). The range of motion (pronation+supination) of forearm was 95°-145° (120.83±14.35)° before operation and 145°-180° (175.21±6.51)° at the last follow-up, also showing increasement after operation ($P<0.001$). The QuickDASH score was 34-98 (78.58±19.22) before operation and was 10-34 (21.46±6.30) at the last follow-up, with significant difference ($P<0.001$). One patient had limited forearm pronation and 1 patient had DRUJ instability, which recovered after corresponding treatments. No patients had rejection or infection caused by allogeneic tendon, or important nerve and vascular injuries caused by operation. **Conclusion** The clinical effect of distal oblique bundle reinforcement is satisfactory, and the incidence of complications is low, indicating it is a safe and effective surgical method for DRUJ instability.

[Key words] interosseous membrane; distal oblique bundle; distal radioulnar joint; joint instability

[Citation] LIU Y, WU Y. Clinical efficacy of distal oblique bundle reinforcement for distal radioulnar joint instability[J]. Acad J Naval Med Univ, 2024, 45(7): 911-916. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20220828.

[收稿日期] 2022-10-25

[接受日期] 2023-12-14

[作者简介] 刘永刚, 硕士, 主治医师. E-mail: lyg881127@163.com

*通信作者 (Corresponding author). Tel: 020-88686326, E-mail: wuyou0818@163.com

下尺桡关节 (distal radioulnar joint, DRUJ) 是一个复杂的解剖单位,在桡骨远端和尺骨之间提供关节连接,与上尺桡关节一起,参与前臂的旋转运动。DRUJ 不稳定可导致患者腕部疼痛、尺侧持续不适、旋转时关节弹响等症状,并会因前臂旋转受限和握力下降而出现手部功能障碍^[1]。DRUJ 的稳定性在很大程度上取决于周围软组织的完整性,与 DRUJ 稳定性相关的软组织分为内源性和外源性。有理论认为三角纤维软骨复合体 (triangular fibrocartilage complex, TFCC) 是主要的内源性稳定结构,但有研究发现 TFCC 对 DRUJ 的稳定性并非绝对必要因素^[2]。Gofton 等^[3]认为,即使 TFCC 完全撕裂,倘若外源性软组织稳定,DRUJ 仍具有稳定性。

外源性稳定结构主要为骨间膜 (interosseous membrane, IOM),它是一种韧带和膜的复合体,在前臂旋转运动期间稳定 DRUJ,其主要区域是中心带的斜行部分,其中远端斜束 (distal oblique bundle, DOB) 位于远端骨间膜 (distal interosseous membrane, DIOM),始于尺骨远端 1/3,止于桡骨乙状切迹下缘。有学者研究发现 DOB 的薄弱状态会引发 DRUJ 不稳定所致的疼痛等症状^[4]。

传统治疗 DRUJ 的方法包括稳定桡骨骨折和通过克氏针或石膏外固定以减少 DRUJ 活动,但 IOM 损伤并不一定会完全治愈,从而延误治疗,导致患者残留腕关节慢性功能不全及腕尺区疼痛等问题^[5]。随着对 IOM 重要性的深入理解,近年来强化 (或重建) IOM 的移植物也在不断发展,包括旋前方肌腱、桡侧腕屈肌、半腱肌腱、髌腱和掌长肌腱等。然而,这些技术的操作具有挑战性,部分结果不令人满意^[5]。

研究表明,DOB 强化技术可恢复尺骨头和桡骨乙状切迹之间的关节一致性,治疗 DRUJ 不稳定^[6],且使用同种异体肌腱存在多种优势^[7]。基于此,本研究采用 DOB 强化技术,利用同种异体肌腱移植治疗 DRUJ 不稳定患者 24 例,临床效果满意,现报告如下。

1 资料和方法

1.1 病例资料 回顾性分析 2019 年 1 月至 2022 年 1 月于我院骨科创伤病区接受 DOB 强化技术治疗的 24 例 DRUJ 不稳定患者的临床资料。

纳入标准: (1) 慢性 DRUJ 不稳定症状患者,如腕关节尺侧区域疼痛、肿胀,腕及前臂旋转功能受限,握力下降,腕关节不稳定感,伴有关节弹响声等表现; (2) 体格检查存在“琴键征”等阳性体征; (3) 侧位 X 线片显示尺骨相对于桡骨的背偏 $>6\text{ mm}$, 正位 X 线片显示 DRUJ 间隙比健侧增宽 $\geq 3\text{ mm}$; (4) CT 横断面使用震中法^[8]测量关节一致性, MRI 伴或不伴 TFCC 损伤。排除急性 DRUJ 不稳定、DRUJ 关节炎、尺桡骨畸形愈合、资料缺失或未按时随访的患者。

本研究通过我院医学伦理委员会审批。

1.2 资料收集及观察指标 根据纳入患者的住院及门诊电子病历,收集下列信息: 年龄,手术部位,随访时间,术前及末次随访时的腕关节视觉模拟量表 (visual analogue scale, VAS) 评分、前臂旋前及旋后活动度 (range of motion, ROM)、快速臂肩手功能障碍评分,术后并发症等。

1.3 手术方法及术后康复 (1) 前臂保持极度旋后位,挤压尺骨头,以确保其位于桡骨乙状切迹的中心。在距离尺骨茎突 1 cm 处做一切口,使用 2.8 mm 直径骨钻呈约 25° 尺偏角、冠状面呈约 40° 角钻向桡骨茎突,形成尺-桡骨隧道 (图 1A)。C 臂机透视确定尺桡骨相对位置良好无旋转。(2) 取一根同种异体肌腱 (掌长肌腱,江西邦意生物科技有限公司),修剪为长度 $>10\text{ cm}$,直径约 2.5 mm,两端分别用肌腱缝合线缝合加固起导丝作用。(3) 将肌腱缝合线固定于 1 根直径 2.0 mm 带孔导针上,按照骨钻钻入的通道置入导针,从对侧桡骨侧穿出,再次透视确定导针位置及方向良好。

(4) 由导针将肌腱经骨隧道拉至对侧。(5) 拉紧肌腱两端,先将尺骨端肌腱用直径 3.0 mm 的聚醚醚酮 (polyetheretherketone, PEEK) 挤压螺钉 (带线锚钉,英国 Smith & Nephew Plc 公司) 固定在肌腱一侧,而后拉紧桡骨侧肌腱端,确保张力,将另一枚挤压螺钉敲击进入骨质内加以固定 (图 1B)。进行尺骨抽屉测试,以确保该关节的稳定性。在两侧切断肌腱的突出部分,使其与骨皮质齐平。腕关节支具或石膏阻断旋转固定 6 周。(6) 门诊康复理疗部门进行康复训练。6 周时取下支具或石膏,根据患者腕关节受限程度和锻炼困难程度,重点进行前臂和手腕的逐渐活动,通常每天 1~3 次。这一阶段避免任何负荷或扭转活动及积极的被动拉伸。

术后8~10周,开始手腕、前臂的等长和等张锻炼。10周后进行手腕和前臂的被动活动。12周时,所有的康复治疗方法可以根据需要继续并逐渐加强。



图1 DOB强化技术治疗DRUJ不稳定手术操作

A:骨钻调整合适角度形成远端尺-桡骨隧道;B:将同种自体肌腱植入骨隧道,2枚挤压螺钉分别固定尺、桡侧骨-韧带界面.DOB:远端斜束;DRUJ:下尺桡关节。

1.4 统计学处理 应用SPSS 22.0软件进行统计学分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 描述,手术前后各指标比较采用配对样本t检验。计数资料以例数描述。检验水准(α)为0.05。

2 结果

2.1 患者的一般资料 24例DRUJ不稳定患者均为男性,年龄18~33岁,平均(22.29±3.82)岁,手术部位左前臂7例、右前臂17例。因DOB强化技术针对外源性不稳定因素进行加强,故未给予患者腕关节镜检查。所有患者MRI显示均存在不同程度的TFCC损伤,X线片或CT提示尺骨茎突骨折3例。随访12~21个月,平均随访时间为

(15.38±2.76)个月。

2.2 手术前后的VAS评分及功能指标比较 术前腕关节的VAS评分为4~8(6.13±1.08)分,末次随访时为1~3(1.25±0.53)分,较术前改善(4.88±0.95)分,差异有统计学意义($P<0.001$)。术前的前臂旋前及旋后ROM为95°~145°(120.83±14.35)°,末次随访时为145°~180°(175.21±6.51)°,较术前增大(54.38±12.96)°,差异有统计学意义($P<0.001$)。术前快速臂肩手功能障碍评分为34~98(78.58±19.22)分,末次随访时为10~34(21.46±6.30)分,较术前下降(57.13±16.04)分,差异有统计学意义($P<0.001$)。

2.3 术后并发症 术后1例患者存在DRUJ不稳定,原因为术后一侧挤压螺钉松弛脱出,在术后7个月予以翻修手术。1例患者存在前臂旋前受限,可能由于术中移植肌腱张力过大导致,术后第4个月定制动态旋转夹板(每天佩戴夹板3~4次,每次0.5~1h)康复锻炼并逐渐恢复。所有患者均未出现因同种自体肌腱所致的排斥反应或感染,以及操作所致的重要神经和血管损伤。

2.4 典型病例 患者男,19岁,扭伤致右腕肿痛伴活动受限3个月,确诊为“右侧DRUJ不稳定”。术前腕关节VAS评分为6分、快速臂肩手功能障碍评分为73分、前臂旋前及旋后ROM为110°。患者于2021年1月行DOB强化技术治疗DRUJ不稳定。末次随访时(术后13个月)腕关节VAS评分为2分、快速臂肩手功能障碍评分为28分、前臂旋前及旋后ROM为175°。患者X线片图像见图2。



图2 患者术前及末次随访时右腕关节正、侧位X线片对比

A:术前X线片提示DRUJ分离,尺骨相较于桡骨向背侧移位;B:术后13个月复查X线片提示DRUJ复位良好.DRUJ:下尺桡关节。

3 讨论

DRUJ不稳定的治疗方法有很多。早在2002年, DRUJ不稳定被认为是一种复杂的疾病, 手术具有挑战性, 术后效果不一致, 尤其是对慢性DRUJ不稳定的治疗。在慢性病例中, TFCC直接修复的效果不佳。韧带重建需要重建桡尺韧带和中央凹插入, 或行解剖外肌腱固定术。这些技术主要为开放式手术, 在某些情况下采用关节镜辅助。Eliason^[9]于1932年首次描述了使用阔筋膜条索穿过桡骨和尺骨周围, 将尺骨固定在桡骨上以稳定尺骨。目前具有代表性的下尺桡韧带重建是Adams-Berger技术^[10]。该技术需要建立桡骨和尺骨穿骨隧道, 在中央凹处用等距点重建韧带。韧带张力可以通过对移植物施加牵引或使用适当的挤压螺钉施加。Gofton等^[11]证实, 这种韧带重建技术可恢复正常的DRUJ运动学功能。但其手术较为复杂, 需切开显露DRUJ周围结构, 钻孔过程可能损伤TFCC血供。有学者提出了改良技术, 操作损伤相对较少, 疗效与Adams-Berger技术相当^[12]。有研究采用经皮桡、尺骨间DIOM边缘肌腱固定技术, 恢复DRUJ稳定性和治疗与DRUJ慢性半脱位相关的不适^[13]。既往研究发现, Adams-Berger技术是解决DRUJ不稳定的合理选择, 但在IOM破裂的情况下, 可能是不完整的解决方案^[14]。多篇文献描述了在DRUJ不稳定治疗中使用掌长肌腱、桡侧腕屈肌、跟腱、骨-韧带-骨材料等作为移植物重建IOM^[5,15-16]。Pfaeffle等^[17]指出, 用于IOM重建的双束桡侧腕屈肌具有完整IOM所具备的纵、横向张力。我国有许多学者采用带袢钢板进行IOM重建^[18-19], 亦取得了良好的临床疗效。在本研究中, 同种异体肌腱移植物的选择可最大程度减少软组织损伤、保留自体肌腱。

近年来, 基于生物力学和临床研究, DOB的作用越来越受重视。许多研究集中在DIOM对DRUJ稳定性的潜在作用上。Kitamura等^[20]测试了10具尸体手臂, 发现其中4具存在DOB, 并证明存在DOB的标本明显具有更强的DRUJ稳定性。鉴于40%的人在桡、尺骨之间存在DOB, 该结构作为IOM远端的延伸, 故可对其进行重建或强化^[4]。Riggenbach等^[14]对尸体的研究表明, DOB重建可以恢复DRUJ的稳定性。有研究证实, DOB重建

在治疗DRUJ纵向不稳定性方面具有较低的并发症发生率和满意的临床疗效^[21]。近些年Moritomo^[22]、Noda等^[23]、Arimitsu等^[24]将DOB描述为DIOM最重要的组成部分。现已证明DOB在前臂旋转的所有位置都能为DRUJ提供稳定性。根据Riggenbach等^[25]的研究, 单纯的TFCC损伤不会导致真正的DRUJ不稳定。而DOB重建无须考虑修复TFCC损伤等额外操作的问题, 能够治疗DRUJ不稳定。Brink和Hannemann^[26]引入了一种微创技术, 使用自体肌腱移植来加强IOM的远端。在14例慢性双向DRUJ不稳定患者的短期随访(平均25个月)中, 这项技术的疗效显著, 并发症很少^[26]。最新研究表明, DOB强化是治疗创伤后双向DRUJ不稳定的一种相对安全、有效和持久的方法^[6]。本研究即采用DOB强化技术, 利用同种异体肌腱移植治疗DRUJ不稳定。

PEEK挤压螺钉是一种完全生物相容、可消毒且机械性能良好的非吸收性半结晶聚合物^[27-28]。有研究表明, PEEK植入物不会产生急性炎症反应^[29-30]。同时, 其具有辐射透明性, 可以最大限度地减少CT和MRI成像中的成像伪影^[31-32]。最重要的是, PEEK具有优异的生物力学性能, 弹性模量更接近骨骼^[33], 可以减少应力遮挡、缓解骨组织的功能退化^[34], 曾被认为是骨科手术中钛金属之外的第二选择^[35]。因此, 本研究选用的是PEEK挤压螺钉, 在挤压肌腱过程中提供稳定、刚性的固定。

与带袢钢板弹性固定DRUJ相比, 本研究选用的PEEK挤压螺钉减少了尺侧软组织激惹及金属异物留存于体内后少数患者的心理不适感。与上述Brink和Hannemann^[26]的DOB强化方法相比, 本研究的方法无须钻2次不同直径骨隧道, 且无须测量肌腱打结处距离等。与Adam-Berger等术式^[9-13,15-19]相比, 本研究的方法具有易操作、避免关节内韧带损伤等优势。

本研究结果显示, DOB强化技术不仅安全、有效, 而且临床效果满意, 患者生活质量提高。通过该技术, 患者腕关节VAS评分在末次随访时较术前减少, 前臂旋前及旋后ROM也有所增大, 同时快速臂肩手功能障碍评分较术前下降。该技术的并发症发生率低, 术后仅有1例患者存在DRUJ不稳定的情况, 另有1例患者前臂旋前功能受限。重要的是, 所有患者均未出现因同种异体肌腱导致的

排斥反应或感染,也未发生因操作不当而引发的重要神经和血管损伤。DOB强化技术以其弹性固定的特点,无须切开显露DRUJ,最大限度地保留了周围软组织,操作简便,为其他更具侵入性的手术提供了有效的替代方案。

本研究存在一定的局限性。本研究为回顾性研究,研究设计依赖于住院、门诊电子病历及患者口述的准确性和完整性,因此有选择或观察偏差的可能,今后可以考虑增加匹配的对照组,用同样的方式提取患者信息,并收集多中心数据等来减少偏倚。此外,本研究随访时间较短,今后需开展前瞻性对照研究和延长随访时间进行验证。

[参考文献]

- [1] ADAMS B D, LAWLER E. Chronic instability of the distal radioulnar joint[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2007, 15(9): 571-575. DOI: 10.5435/00124635-200709000-00007.
- [2] ZIMMERMAN R M, JUPITER J B. Instability of the distal radioulnar joint[J]. *J Hand Surg Eur Vol*, 2014, 39(7): 727-738. DOI: 10.1177/1753193414527052.
- [3] GOFTON W T, GORDON K D, DUNNING C E, et al. Soft-tissue stabilizers of the distal radioulnar joint: an *in vitro* kinematic study[J]. *J Hand Surg Am*, 2004, 29(3): 423-431. DOI: 10.1016/j.jhsa.2004.01.020.
- [4] 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. DOI: 10.1007/s00590-013-1388-6.
- [5] 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. DOI: 10.1016/j.jhsa.2009.10.007.
- [6] VERBEEK D O, WILSSENS N O J, TEN BOSCH J A, et al. Long-term results of distal oblique bundle reinforcement for treatment of chronic bidirectional instability of the distal radioulnar joint[J]. *J Hand Surg Eur Vol*, 2022, 47(11): 1128-1133. DOI: 10.1177/17531934221121925.
- [7] LI M W, ZHOU X S. Histologic and biomechanical studies of tendon-to-bone healing after autologous and allogeneic bone transplants[J]. *Exp Clin Transplant*, 2013, 11(2): 164-168. DOI: 10.6002/ect.2012.0056.
- [8] WECHSLER R J, WEHBE M A, RIFKIN M D, et al. Computed tomography diagnosis of distal radioulnar subluxation[J]. *Skeletal Radiol*, 1987, 16(1): 1-5. DOI: 10.1007/BF00349919.
- [9] ELIASON E L. An operation for recurrent inferior radioulnar dislocation[J]. *Ann Surg*, 1932, 96(1): 27-35. DOI: 10.1097/00000658-193207000-00003.
- [10] ADAMS B D, BERGER R A. An anatomic reconstruction of the distal radioulnar ligaments for posttraumatic distal radioulnar joint instability[J]. *J Hand Surg Am*, 2002, 27(2): 243-251. DOI: 10.1053/jhsu.2002.31731.
- [11] GOFTON W T, GORDON K D, DUNNING C E, et al. Comparison of distal radioulnar joint reconstructions using an active joint motion simulator[J]. *J Hand Surg Am*, 2005, 30(4): 733-742. DOI: 10.1016/j.jhsa.2004.12.008.
- [12] MEYER D, SCHWEIZER A, NAGY L. Anatomic reconstruction of distal radioulnar ligaments with tendon graft for treating distal radioulnar joint instability: surgical technique and outcome[J]. *Tech Hand Up Extrem Surg*, 2017, 21(3): 107-113. DOI: 10.1097/BTH.0000000000000163.
- [13] BRINK P R, HANNEMANN P F. Distal oblique bundle reinforcement for treatment of DRUJ instability[J]. *Jnl Wrist Surg*, 2015, 4(3): 221-228. DOI: 10.1055/s-0035-1556856.
- [14] RIGGENBACH M D, CONRAD B P, WRIGHT T W, et al. Distal oblique bundle reconstruction and distal radioulnar joint instability[J]. *J Wrist Surg*, 2013, 2(4): 330-336. DOI: 10.1055/s-0033-1358546.
- [15] MARCOTTE A L, OSTERMAN A L. Longitudinal radioulnar dissociation: identification and treatment of acute and chronic injuries[J]. *Hand Clin*, 2007, 23(2): 195-208. DOI: 10.1016/j.hcl.2007.01.005.
- [16] CHLOROS G D, WIESLER E R, STABILE K J, et al. Reconstruction of Essex-Lopresti injury of the forearm: technical note[J]. *J Hand Surg Am*, 2008, 33(1): 124-130. DOI: 10.1016/j.jhsa.2007.09.008.
- [17] PFAEFFLE H J, STABILE K J, LI Z M, et al. Reconstruction of the interosseous ligament unloads metallic radial head arthroplasty and the distal ulna in cadavers[J]. *J Hand Surg Am*, 2006, 31(2): 269-278. DOI: 10.1016/j.jhsa.2005.09.022.
- [18] 韦露, 阎海威, 胡居正, 等. 带袢钢板固定修复下尺桡关节脱位的临床疗效观察[J]. *实用骨科杂志*, 2019, 25(8): 738-740. DOI: 10.13795/j.cnki.sgkz.2019.08.015.
- [19] 钱建军. 带袢钢板固定治疗远侧桡尺关节损伤效果分析[J]. *现代实用医学*, 2019, 31(1): 83-84, 128. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0800.2019.01.037.
- [20] 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. DOI: 10.1016/j.jhsa.2011.07.016.

- [21] AITA M A, MALLOZI R C, OZAKI W, et al. Ligamentous reconstruction of the interosseous membrane of the forearm in the treatment of instability of the distal radioulnar joint[J]. *Rev Bras Ortop*, 2018, 53(2): 184-191. DOI: 10.1016/j.rboe.2018.02.010.
- [22] MORITOMO H. The distal interosseous membrane: current concepts in wrist anatomy and biomechanics[J]. *J Hand Surg Am*, 2012, 37(7): 1501-1507. DOI: 10.1016/j.jhssa.2012.04.037.
- [23] NODA K, GOTO A, MURASE T, et al. Interosseous membrane of the forearm: an anatomical study of ligament attachment locations[J]. *J Hand Surg Am*, 2009, 34(3): 415-422. DOI: 10.1016/j.jhssa.2008.10.025.
- [24] ARIMITSU S, MORITOMO H, KITAMURA T, et al. The stabilizing effect of the distal interosseous membrane on the distal radioulnar joint in an ulnar shortening procedure: a biomechanical study[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2011, 93(21): 2022-2030. DOI: 10.2106/JBJS.J.00411.
- [25] RIGGENBACH M D, WRIGHT T W, DELL P C. Reconstruction of the distal oblique bundle of the interosseous membrane: a technique to restore distal radioulnar joint stability[J]. *J Hand Surg Am*, 2015, 40(11): 2279-2282. DOI: 10.1016/j.jhssa.2015.08.019.
- [26] BRINK P R G, HANNEMANN P F W. Distal oblique bundle reinforcement for treatment of DRUJ instability[J]. *J Wrist Surg*, 2015, 4(3): 221-228. DOI: 10.1055/s-0035-1556856.
- [27] SUCHENSKI M, MCCARTHY M B, CHOWANIEC D, et al. Material properties and composition of soft-tissue fixation[J]. *Arthroscopy*, 2010, 26(6): 821-831. DOI: 10.1016/j.arthro.2009.12.026.
- [28] HE M, CHEN X, GUO Z, et al. Super tough graphene oxide reinforced polyetheretherketone for potential hard tissue repair applications[J]. *Compos Sci Technol*, 2019, 174: 194-201. DOI: 10.1016/j.compscitech.2019.02.028.
- [29] TOTH J M, WANG M, ESTES B T, et al. Polyetheretherketone as a biomaterial for spinal applications[J]. *Biomaterials*, 2006, 27(3): 324-334. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2005.07.011.
- [30] MOHARIL S, RECHE A, DURGE K. Polyetheretherketone (PEEK) as a biomaterial: an overview[J]. *Cureus*, 2023, 29, 15(8): e44307. DOI: 10.7759/cureus.44307.
- [31] KURTZ S M, DEVINE J N. PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants[J]. *Biomaterials*, 2007, 28(32): 4845-4869. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2007.07.013.
- [32] KORN P, ELSCHNER C, SCHULZ M C, et al. MRI and dental implantology: two which do not exclude each other[J]. *Biomaterials*, 2015, 53: 634-645. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2015.02.114.
- [33] DONDANI J R, IYER J, TRAN S D. Surface treatments of PEEK for osseointegration to bone[J]. *Biomolecules*, 2023, 13(3): 464. DOI: 10.3390/biom13030464.
- [34] CARPENTER R D, KLOSTERHOFF B S, TORSTRICK F B, et al. Effect of porous orthopaedic implant material and structure on load sharing with simulated bone ingrowth: a finite element analysis comparing titanium and PEEK[J]. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2018, 80: 68-76. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2018.01.017.
- [35] TEKIN S, DEĞER Y, DEMIRCI F. Evaluation of the use of PEEK material in implant-supported fixed restorations by finite element analysis[J]. *Niger J Clin Pract*, 2019, 22(9): 1252-1258. DOI: 10.4103/njcp.njcp_144_19.

[本文编辑] 商素芳