

骨移植修复腕舟状骨骨折后不愈合

郭文, 高斌礼, 王阳, 林森

<https://doi.org/10.12307/2026.327>

投稿日期：2025-02-05

采用日期：2025-04-16

修回日期：2025-07-08

中图分类号：

R459.9; R318; R683

文章编号：

2095-4344(2026)00-00000-00

文献标识码：A

文章快速阅读：骨移植修复腕舟状骨骨折后不愈合的个体化治疗

治疗腕舟状骨骨折不愈合骨移植术包括无血供的骨移植和带血供的骨移植。

经严格筛查纳入54篇符合标准的文献

结论：

目前腕舟状骨骨折不愈合的骨移植术有几种，在临床治疗过程中严格掌握各种术式的适应证及禁忌证进而实施因人而异的个体化治疗才是关键。

文题释义：

游离股骨内侧髁骨瓣：是以膝降动横支(或少见的膝内上动脉分支)为蒂切取的股骨内侧髁软骨瓣(必要时可同时切取观察皮岛)。

游离髂骨瓣：是以旋髂深动、静脉为蒂切取的髂骨瓣，又称为Pechlaner-Hussl带血管骨移植术。

摘要

背景：由于腕舟状骨骨折相对特殊的症状和解剖结构，未经治疗或治疗不及时骨折常导致骨折不愈合、腕关节塌陷或功能丧失，进而出现持续性或间歇性的腕关节疼痛、肿胀、活动受限。目前骨移植技术种类繁多，治疗方法选择复杂，对于哪一种骨移植手术方法更好仍无定论。

目的：综述腕舟状骨折不愈合的研究现状，总结国内外近年来治疗骨折不愈合的不同骨移植技术，探讨各种骨移植技术的临床疗效及优缺点，为临床诊治提供指导。

方法：应用计算机检索1980–2024年发表在PubMed、MEDLINE、EMBASE数据库、中国知网、中华医学库、维普、万方数据库的相关文章，中文检索词为“舟骨骨折不愈合，手术治疗，骨移植术，骨瓣，舟骨近极”；英文检索词为“scaphoid nonunion, surgery, bone graft, bone flap, scaphoid proximal pole”。共检索到687篇文献，通过纳入标准和排除标准摘选54篇文献进行综述。

结果与结论：①无血供骨移植仍是舟骨骨折不愈合的主流治疗方式，其中单纯松质骨移植成骨快(愈合率85%–100%)，适用于无畸形病例；带皮质松质骨支撑性强(愈合率88%–93%)，更利于恢复舟骨形态；②髂骨与桡骨远端供体在愈合率上无显著差异，但桡骨远端供区并发症更少(5% vs. 18%)；③带血供骨移植术可显著提升复杂病例疗效：桡骨茎突骨瓣愈合率81%–92%，旋前方肌带蒂瓣愈合率93.3%，游离股骨内侧髁瓣重建关节面效果突出(愈合率95%)，游离髂骨瓣成功率达91.7%–100%，但技术要求高；④舟骨骨折不愈合的治疗需遵循个体化原则：无血供移植适用于简单、血供良好的骨折，带血供移植则针对缺血坏死或复杂畸形；⑤未来需通过标准化影像学评估(如MRI分级)、生物增强技术(骨形态发生蛋白2、3D打印支架)及显微外科普及提升疗效，同时结合患者年龄、职业需求制定最优方案，平衡功能恢复与并发症防控。

关键词：舟骨骨折不愈合；手术治疗；骨移植；骨瓣；舟骨近极

Bone grafting for repairing scaphoid nonunion

Guo Wen, Gao Binli, Wang Yang, Lin Sen

Department of Orthopedics, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010030, Inner Mongolia Autonomous Region, China
Guo Wen, MS, Attending physician, Department of Orthopedics, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010030, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Corresponding author: Lin Sen, MS, Associate chief physician, Department of Orthopedics, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010030, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Abstract

BACKGROUND: Due to the relatively special symptoms and anatomical structure of scaphoid fractures, untreated fractures or those with delayed treatment often lead to non-union of the fracture, carpal joint collapse, or loss of function, subsequently resulting in persistent or intermittent pain, swelling, and limited mobility in the carpal joint. Currently, although there are a wide variety of bone grafting techniques and the choice of treatment methods is complex, there is still no consensus on which bone grafting surgical method is superior.

OBJECTIVE: To review the research status of scaphoid nonunion, summarize different bone grafting surgeries for the treatment of nonunion of fractures at home and abroad in recent years, explore the clinical efficacy, advantages and disadvantages of various bone grafting techniques, and provide guidance for clinical diagnosis and treatment.

内蒙古医科大学附属医院骨科，内蒙古自治区呼和浩特市 010030

第一作者：郭文，男，1989年生，内蒙古自治区呼和浩特市人，汉族，硕士，主治医师，主要从事手足显微外科及创伤骨科疾病的研究及诊疗。

通讯作者：林森，硕士，副主任医师，内蒙古医科大学附属医院骨科，内蒙古自治区呼和浩特市 010030

<https://orcid.org/0000-0002-2241-2298> (郭文)

引用本文：郭文, 高斌礼, 王阳, 林森. 骨移植修复腕舟状骨骨折后不愈合 [J]. 中国组织工程研究, 2026, 30(00):000-000.



METHODS: A computer was used to search for relevant articles published in the PubMed, MEDLINE, EMBASE databases, CNKI, China Medical Library, VIP, and WanFang databases from 1980 to 2024. The Chinese and English search terms were “scaphoid nonunion, surgery, bone graft, bone flap, scaphoid proximal pole.” A total of more than 687 articles were retrieved, and 54 articles were selected for review through inclusion and exclusion criteria.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Non-vascularized graft is still the mainstream treatment for scaphoid nonunion. Among them, simple cancellous bone transplantation has fast bone formation (healing rate 85%–100%) and is suitable for cases without deformity; cortical cancellous bone has strong support (healing rate 88%–93%), which is more conducive to restoring the morphology of the scaphoid. (2) There is no significant difference in the healing rate between iliac bone and distal radial donors, but the distal radial donor site has fewer complications (5% vs. 18%). (3) Vascularized grafts can significantly improve the efficacy of complex cases: the healing rate of radial styloid bone flap is 81%–92%; the healing rate of pronator quadratus pedicle flap is 93.3%; the free medial femoral condyle flap has outstanding effect in reconstructing the articular surface (healing rate 95%), and the success rate of free iliac bone flap is up to 91.7%–100%, but the technical requirements are high. (4) The treatment of scaphoid fracture nonunion must follow the principle of individualization: bloodless transplantation is suitable for simple fractures with good blood supply, while blood-supply transplantation is for ischemic necrosis or complex deformities. (5) In the future, standardized imaging evaluation (such as MRI grading), bioenhancement technology (bone morphogenetic protein 2, 3D printing scaffolds), and microsurgery should be popularized to improve the efficacy, and the optimal plan should be formulated in combination with the patient's age and occupational needs to balance functional recovery and complication prevention and control.

Key words: scaphoid nonunion; surgical treatment; bone graft; bone flap; scaphoid proximal pole

How to cite this article: GUO W, GAO BL, WANG Y, LIN S. Bone grafting for repairing scaphoid nonunion. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2026;30(00):0000-0000.

0 引言 Introduction

目前临床上治疗腕舟状骨骨折不愈合是一个重大的挑战^[1],尤其是在伴有缺血性坏死的情况下,骨折不愈合常导致持续性或间歇性腕部疼痛、肿胀,进一步发展为腕关节活动受限^[2]。据统计腕舟状骨骨折占有所有骨折的2%–3%,占有所有手部骨折的10%,占腕骨骨折的60%–80%^[3]。骨折通常发生在跌倒后或运动中腕关节处于桡偏背伸位置,女性多见于低能量损伤,而男性多见于高能量损伤^[4]。每年每10万人中有1.5–29人骨折^[5],其中KAKAR等^[6]认为诊断舟骨骨折的金标准是术中评估近端骨折片有无出血。由于骨折后相对特殊的症状和舟骨特殊的解剖结构,未经治疗或治疗不及时骨折常导致不愈合^[7]。目前对腕舟状骨骨折不愈合的判断标准是不一致的,所以现有文献报道对于其发生率并未达成共识,根据报道5%–15%的腕舟状骨骨折发生骨不愈合,其中非移位性骨折的不愈合率要低得多,当得到充分治疗和保护好时不愈合率接近于零,而近端发生骨折并出现移位时,不愈合率近55%^[8]。骨折不愈合的高风险因素常包括诊断不及时、固定不充分、骨折移位和骨折位于近端,主要解剖因素是其血供特点:桡动脉的腕背支于舟骨腰部平面及舟骨结节进入舟骨,供给了远极70%–80%的血运,而近极约30%完全由关节软骨覆盖无血管进入^[9],因此由于舟骨特殊的血供特点,缺血性骨坏死

好发于舟骨近端,也是其最严重的并发症^[10]。此外,发生手腕关节炎的风险随着受伤与手术之间的时间间隔成比例地增加^[11]。MRI一定程度上可以判断舟骨骨折的缺血情况,但GREEN等认为术中骨折断端出血情况才是观察骨折出血的金标准^[12]。如果骨折不愈合治疗不及时常常进展为腕关节活动受限、疼痛、握力下降,后期出现腕关节塌陷及创伤退变性关节炎,因此尽早治疗是防止上述并发症的关键所在。目前对于腕舟状骨骨折不愈合的治疗常以手术治疗为主,手术治疗的目的是缓解疼痛、改善手功能、预防迟发性创伤后骨关节炎,手术方式常包括单纯断端刷新内固定和植骨内固定术(包括无血供的骨移植和带血供的骨移植术)。目前骨移植技术种类繁多,治疗方法选择复杂,对于哪

一种骨移植手术方法更好仍无定论,因此此文将针对近些年治疗手舟骨骨折不愈合的骨移植技术做如下综述。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源

1.1.1 检索人 第一作者。

1.1.2 检索时间范围 1980年1月至2014年12月。

1.1.3 检索数据库 PubMed、MEDLINE、EMBASE数据库、中国知网、中华医学库、维普、万方数据库。

1.1.4 检索词 中文检索词为“舟骨骨折不愈合,手术治疗,骨移植术,骨瓣,舟骨近极”;英文检索词为“scaphoid nonunion, surgery, bone graft, bone flap, scaphoid proximal pole”。

1.1.5 检索策略 见图1, 2。

```
("Scaphoid Bone/surgery"[Mesh])
AND (
  (scaphoid[tiab] OR carpal[tiab])
  AND (nonunion[tiab] OR "non-union"[tiab] OR pseudarthrosis[tiab])
  OR ("bone graft"[tiab] OR "bone flap"[tiab] OR "bone transplantation"[tiab])
  OR ("scaphoid proximal pole"[tiab] OR "proximal scaphoid"[tiab])
)
NOT (Review[pt] OR Editorial[pt] OR Case Reports[pt])
AND ("1980/01/01"[dp] : "2014/12/31"[dp])
AND ("therapy"[Filter] AND "comparative study"[Filter])
```

图1 | 英文数据库检索策略(检索词后面标记检索符号)

```
SU=('舟骨骨折' AND '不愈合')
AND (关键词=骨移植术 OR 摘要=骨瓣 OR 关键词=舟骨近极)
NOT 文献类型=综述
AND 发表时间 BETWEEN 2000 AND 2024
AND 基金=骨科临床研究
AND 学科分类=外科学
```

图2 | 中文数据库检索策略

1.2 入选标准

纳入标准：①与腕舟状骨骨折不愈合相关的文章；②探讨腕舟状骨折不愈合骨移植术的文章。

排除标准：与研究目的相关性差及内容重复的文章。

1.3 质量评估 共检索到687篇文献，通过纳入和排除标准摘选54篇文献进行综述，包括中文14篇、英文40篇，文献类型包括基础研究、临床研究、论著和综述等。文献检索流程详见图3。

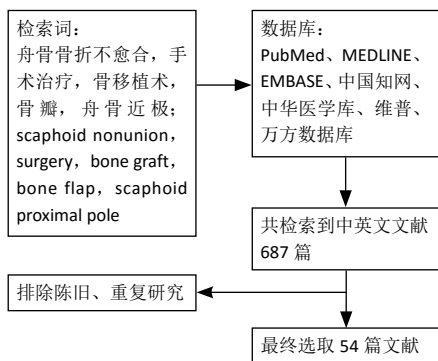


图3 | 文献检索筛选流程图

2 结果 Results

2.1 无血供的骨移植术治疗舟骨骨折不愈合 尽管骨移植术用于治疗腕舟骨骨折已有很长的历史，但腰部和近端舟状骨骨折不愈合仍然是手外科医生面临的挑战^[13]。无血供的骨移植是一种可靠的治疗手舟骨骨折不愈合的方法，同样是目前比较主流的手术方式^[14]，经典的植骨方式常包括Matti-Russe植骨术、楔形或梯形植骨术及其他多种植骨术^[9]，上述手术方式的植骨供体常来源于髂骨和桡骨远端^[15]，植骨类型常括单纯松质骨和带皮质的松质骨两种。无血供骨移植术的选择见图4。

2.1.1 经典的骨移植方式

(1)Matti-Russe植骨术：此方法首先由德国波恩医生HERMANN MATTI在1937年提出，并率先应用于临床，他采用背侧入路刮除折端所有死骨、软骨和纤维组织，并刮出一个骨槽，插入松质骨；1956年奥地利维也纳医

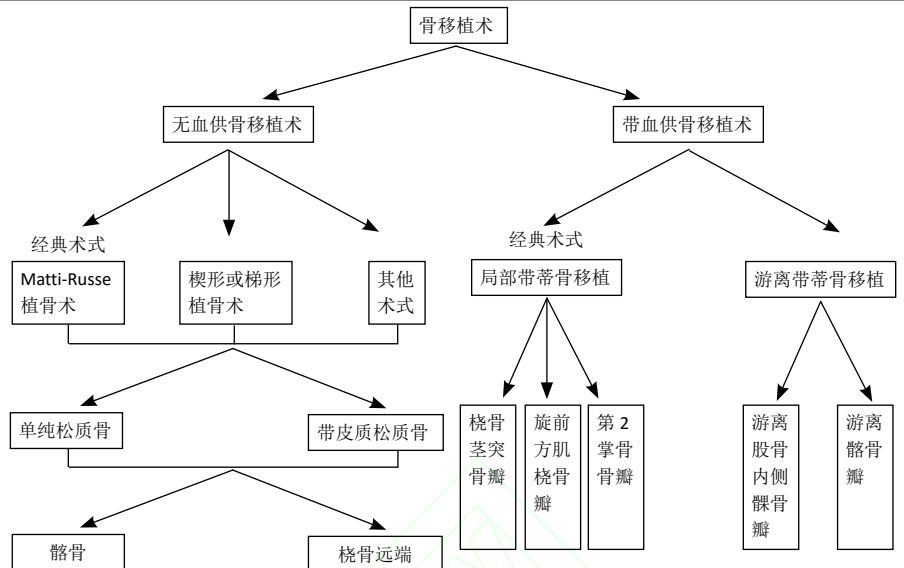


图4 | 不同骨移植术式选择流程图

生Russe对Matti的术式作出了改良：他采用掌侧入路，在骨折处刮出卵圆形的骨腔植入矩形骨栓，并在周围填充松质骨条，故后来称为Matti-Russe植骨术，并从此被广泛应用于临床。但现在看来Matti-Russe植骨术仅适用于简单、对线好的骨折，不愈合且近侧骨折块完全缺血者不适合使用该法。

(2) 楔形或梯形植骨术：1970年，FISK^[16]经桡侧入路切除桡骨茎突暴露舟骨，并用切下的茎突修整为楔形或梯形填充舟骨缺损。1984年FERNANDEZ对上述方法作出改良，利用影像学资料提前评估好缺损的形状和大小同时取相应的髂骨进行移植，结合内固定很大程度上提高了骨折的愈合率。

(3) 其他术式：1934年MURRAY率先描述纵行骨栓植骨^[17]；1979年ERBS等报道了使用双凹形植骨^[17]；1988年殷铭东等^[18]应用同种异体骨植骨、1998年SANDOW^[19]采用肋骨软骨进行舟骨置换等，上述方法均获得了满意的临床疗效。

2.1.2 不同类型的骨移植术

(1) 单纯的松质骨移植：对于不需要纠正畸形且无骨坏、移位较小的舟骨骨折不愈合，单纯松质骨移植加坚强内固定可以达到很好的治疗效

果，已成为大多数外科医生的治疗选择。YASUDA等^[20]研究显示在28例舟骨骨折不愈合患者中，采用掌侧入路从桡骨远端打磨成双凹松质骨进行移植，克氏针内固定，获得了100%的愈合率，且未见并发症的发生。BAE等^[21]采用桡骨远端松质骨移植和无头螺钉固定治疗31例不稳定腰部舟状骨折不连患者，愈合率达到93.3%，并获得了良好的腕关节功能。

(2) 带皮质松质骨移植：对于骨坏死、骨缺损、驼背畸形的舟骨骨折不愈合，临床上常使用带皮质松质骨移植来纠正舟状骨缩短和掌侧成角^[4]。SCHÄFER等^[22]在对16例复杂顽固性手舟骨骨折不愈合患者进行治疗时，使用自体带皮质松质骨进行移植辅助加压螺钉内固定，通过长达平均54个月的随访，术后通过腕关节功能和影像学评定，得出皮质松质骨移植辅助加压螺钉内固定是一种很好的方法。HEGAZY等^[23]选择122例不稳定腰部舟骨骨折不愈合患者随机分成2组，分别接受自体皮质松质骨植骨结合多根克氏针或赫伯特螺钉内固定，结果显示两组的愈合率分别为91%和88%。MARKOWICZ等^[24]对48例术后舟骨骨折不愈合患者进行自体带皮质松质骨移植手术，愈合率达88%，进一步证明皮质松质骨移植是

一种有效的外科术式,不仅有助于骨折愈合而且有助于恢复舟骨的形态和长度,还可以很好地预防创伤后腕关节炎。

虽然单纯松质骨和带皮质松质骨在最终促进骨折愈合方面无明显差异,但二者各有优缺点。HEGAZY等^[25]于2006年将98例舟状骨骨折不愈合的患者随机分成2组,其中一组患者接受自体单纯松质骨移植,另一组采用带皮质松质骨移植,二者均采用掌侧入路,使用3 mm 赫伯特螺钉进行固定,结果显示在骨折愈合方面二者没有明显差异;但是单纯松质骨移植物具有更强的成骨能力,愈合时间明显较皮质松质骨缩短;带皮质松质骨具有更高的骨密度,具有很好的支撑作用,可以更好地恢复舟状骨高度、腕关节面平整度,显著改善腕关节功能,在纠正骨折畸形方面更有优势。SAYEGH等^[26]在2014年的回顾性分析中纳入604例患者,对术后骨折愈合率和腕关节功能评分进行综合评价分析后得出同样的结论。KIM等^[27]连续治疗了38例腰部不稳定舟骨骨折不愈合的患者,采用带皮质松质骨和单纯松质骨移植结合不同内固定方式得出同样的结论。

(3) 不同供体部位对手舟骨骨折不愈合的影响:骨移植的首选供体部位仍有待明确,但研究表明无论供体部位是髂骨还是桡骨远端对舟骨的愈合率和腕关节功能恢复方面并无明显差异^[28]。TAMBE等^[29]回顾性研究了68例采用带皮质松质骨移植治疗有症状的舟骨骨折不愈合患者,其中44例来自用髂骨,24例来自桡骨远端,结果显示二者在愈合率、腕关节平整度和腕关节功能恢复方面无明显差异。DUNCUMB等^[30]在一项关于自体骨移植治疗舟骨不愈合的系统回顾和荟萃分析中证实,移植骨来源对愈合率无明显影响。SHIN等^[31]在2024年对38例舟骨骨折不愈合患者(其中桡骨远端组15例,髂骨组23例)进行皮质松质骨移植内固定治疗,结果进一步证实上述结论,但在供区

并发症方面,桡骨远端明显低于髂骨^[32]。

2.2 带血供的骨移植术治疗骨折不愈合 带血供骨移植术的选择见图4。

2.2.1 局部带血管蒂骨瓣移植 随着对腕部血管解剖认识的提高和显微外科技术的进步,带血管蒂骨移植越来越多地被应用于舟状骨骨折不愈合。相比于传统的非血管化骨移植,带血管的骨移植为直接愈合而非爬行替代过程,舟骨骨折不愈合的血运重建更快、丢失的骨量更少、骨质融合更快和骨形态更好。目前常用的局部带蒂骨瓣包括桡骨茎突骨瓣、旋前方肌带蒂桡骨瓣、第二掌骨带蒂骨瓣等。

(1) 桡骨茎突骨瓣:是以桡动脉茎突返支为蒂切取大小合适的骨瓣逆行嵌入舟骨缺损骨槽中并进行内固定,同时根据具体情况可适当辅助外固定^[33-34]。1987年王成琪等^[35]使用上述方法治疗10例舟骨骨折不愈合均获得愈合,但并未正式命名;1990年何尚宽和郭涛等首次报道了桡动脉茎突返支为蒂的骨瓣治疗舟骨骨折不愈合并获得成功^[36];后来ZAIDEMBERG等^[37]于1991年提出同样术式;SCHEETZ等^[38]于1995年做了更详尽的研究及报道,现已被广泛用于临床;ÇOLAK等^[39]收集了2014–2018年68例舟骨骨折不愈合的患者,用桡动脉茎突返支骨瓣逆行转移结合克氏针或螺钉内固定,平均随访31.6个月,最终骨折愈合率高达81%,同时腕关节功能得到了很好的改善。2023年MOHIUDDIN等^[34]用上述方法治疗了50例舟骨骨折不愈合的患者,同样取得了很高的愈合率和很好的腕关节功能,进一步证实了桡骨茎突骨瓣对于舟骨骨折不愈合是一种很好的治疗选择。邢志利等^[40]随访了采用桡骨茎突骨瓣治疗18例舟骨骨折不愈合患者得出了同样的结论。

(2) 旋前方肌带蒂桡骨瓣:即将旋前方肌、桡骨骨膜、桡骨骨片一同取下形成以旋前方肌为蒂的骨瓣嵌入舟骨缺损骨槽中同时进行内固

定^[41]。1983年,BRAUN^[42]报道采用旋前方肌桡骨瓣成功治疗了5例舟骨骨折不愈合患者,其中包括2例Russe植骨失败的患者。1998年,日本的KAWAI和YAMAMOTO等详细介绍了旋前方肌桡骨瓣的手术要点^[17]。此外,KAPOOR等^[43]在2013年使用旋前方肌蒂骨瓣结合内固定治疗2例手舟骨骨折不愈合患者,6个月时骨折完全愈合,2年后完全恢复到了受伤前的腕关节功能。2015年一项利用带旋前方肌蒂骨瓣和无头加压螺钉治疗27例舟骨骨折不愈合患者的回顾性研究中,获得了良好的愈合率和满意的腕关节功能^[44]。ÖZDEMİR等^[45]在2022年进行的带旋前方肌蒂骨瓣移植与自体骨移植治疗舟骨骨折不愈合的对比研究中发现,旋前方肌带蒂桡骨瓣组16例患者愈合率为93.3%,自体骨移植组24例患者愈合率为79.2%,两组术后Mayo腕关节评分差异无显著性意义,证明旋前方肌带血管蒂肌皮瓣治疗缺血型舟骨骨折不愈合要优于自体骨移植。

旋前方肌的血供来源丰富且呈多元性,主要供血动脉为骨间前动脉。选择旋前方肌带蒂桡骨瓣是因为旋前方肌解剖变异少且血供来源丰富;尽管此方法取得了成功,但目前并未成为治疗舟骨骨折不愈合的主流方式。

(3) 第2掌骨带蒂骨瓣:是以桡动脉发出的第1骨间背侧肌浅动脉和深动脉为蒂营养第2掌骨干和掌骨头为基础设计的带血管蒂骨瓣。1996年马玉林等^[46]采用第2,3掌骨带蒂骨瓣治疗25例陈旧性舟骨骨折,随访7个月至5年,结果显示23例骨愈合,1例失访,1例舟骨头部硬化,功能优良率为95.8%,证实了该术式操作简单,对腕部血管网破坏小,可明显缩短骨折愈合时间,特别适用于舟骨骨折不愈合的患者。SAWAIZUMI等^[47]在2004年使用第2掌骨带蒂骨瓣治疗14例手舟骨骨折不愈合患者,在10.2周后所有患者均获得很好的骨折愈合,进一步证实了该术式是一种治疗舟骨骨折不愈合的有效方法。

2.2.2 游离骨瓣 对于难治性舟骨骨折不愈合或者合并舟骨近极缺血坏死的患者而言,游离骨瓣同样是一个不错的选择,由于其相对恒定的血管走行、较粗的管径,可以获得精准且足够的移植骨量,愈合率高、愈合时间短,目前被广泛应用于临床。目前最常用的两种游离骨瓣包括游离股骨内髁骨瓣和游离髂骨瓣。

(1) 游离股骨内侧髁骨(软骨)瓣 游离股骨内侧髁骨(软骨)瓣是以膝降动横支(或少见的膝内上动脉分支)为蒂切取的股骨内侧髁软骨(骨)瓣(必要时可同时切取观察皮岛),重建舟骨软骨关节面是其突出的优点。周家顺^[48]以膝降动脉关节支为蒂切取股骨内髁游离骨瓣治疗5例舟骨近端缺血坏死病例,手术彻底清除了坏死的腕舟骨近端并重建了一个类似于解剖学上带关节面软骨的舟骨凸段,同时恢复了桡舟关节及舟月关节的解剖关系,术后所有患者腕部疼痛均明显缓解,腕关节功能均达到优良标准,而骨瓣供区功能完全正常。KORIEEM等^[49]回顾性分析了使用游离股骨内侧髁骨(软骨)瓣进行治疗的16例腕舟骨骨折不愈合患者,随访至术后24个月发现舟骨骨折愈合率极高,舟骨畸形及腕关节功能都得到了很大的改善。ZHOU等^[50]通过文献检索回顾性分析了262例腕舟骨不愈合通过游离股骨内侧髁骨(软骨)瓣治疗的患者,同样得出此术式是治疗舟骨骨折不愈合一种很好的选择,但由于其对手术者的显微技术要求较高,目前还不能被广泛应用于大部分基层医院。

(2) 游离髂骨瓣: 游离髂骨瓣是以旋髂深动、静脉为蒂切取的髂骨瓣,又称为Pechlaner-Hussl带血管骨移植术,是因为PECHLANER等首先用吻合旋髂深动静脉的髂骨移植治疗舟骨不愈合取得了很好的效果,由于该术式血管蒂走行恒定、管径适宜被广泛应用于临床^[17]。HARPF等^[51]报道使用同样的方法治疗60例舟骨骨折不愈合患者,愈合率为91.7%。邹阳平

等^[52]以旋髂深血管为蒂切取游离髂骨瓣治疗9例陈旧性骨折不愈合患者并随访10个月,结果显示了100%的愈合率,进一步证明游离髂骨瓣治疗舟骨骨折不愈合临床效果确切、骨愈合更快、并发症少、预后良好。

3 讨论与总结 Discussion and summary

腕舟状骨骨折不愈合是手外科领域中的一大难题,尤其当骨折合并缺血性坏死,因其复杂的病理机制和解剖特殊性,始终是手外科领域的研究热点^[53],此次综述通过系统分析1980-2014年间的临床研究深入探讨不同骨移植术式的疗效差异及适用场景,旨在为临床决策提供循证医学依据。

3.1 无血供骨移植术的临床优化与局限性 无血供骨移植术作为传统术式,通过提供成骨基质促进骨折愈合,但其疗效受多种因素制约;Matti-Russe植骨术作为经典术式,对无移位、血供良好的腰部骨折不愈合仍具价值(愈合率85%-90%),但对近端缺血性坏死疗效有限(愈合率<50%);楔形植骨术通过结构性支撑纠正畸形,其愈合率可达90%以上(Fernandez改良术式),但需严格评估骨缺损形态。因此,传统术式对合并腕关节不稳的病例是否需联合韧带重建仍存争议。此外,单纯松质骨移植以其高成骨活性(含30%-50%成骨细胞)成为低风险病例的首选,其愈合时间较皮质骨缩短2-4周。带皮质松质骨虽成骨活性较低,但通过机械支撑可显著改善舟骨高度(平均恢复2.3 mm)和关节面平整度(关节间隙<1 mm),降低创伤后关节炎风险。临床提示对于年轻患者(<40岁),优先选择单纯松质骨以加速愈合;老年患者或合并畸形者,应采用带皮质松质骨重建力学稳定性。髂骨与桡骨远端在愈合率上无显著差异($P > 0.05$),但桡骨远端供区并发症发生率仅为5%,远低于髂骨的18%,但桡骨远端取骨量有限(最大1.5 cm³),适用于小范围缺损;

髂骨可提供更大骨量(3-5 cm³),适合复杂病例。

3.2 带血供骨移植术的创新突破与技术瓶颈 带血供骨移植术通过重建血运,为缺血性坏死病例提供了革命性解决方案^[54],但技术复杂性限制其普及。

带蒂骨瓣中桡骨茎突骨瓣以桡动脉茎突返支为蒂,血供覆盖范围达1.2 cm×0.8 cm,适用于舟骨腰部及远端缺损,其愈合率达81%-92%,旋前方肌带蒂桡骨瓣因含骨间前动脉分支,血供更丰富,但需注意保护正中神经返支(损伤率约3%)。手术需要注意的是骨瓣切取需保留至少2 mm蒂部以维持血供,术后需严格制动4-6周。

游离股骨内侧髁软骨瓣通过重建关节面,在桡舟关节炎预防中表现突出,但其血管吻合难度大(动脉直径0.8-1.2 mm),需具备显微外科资质的医师操作。游离髂骨瓣以旋髂深动静脉为蒂(管径2.5-3.0 mm),成功率达91.7%,但供区需缝合腹横肌,可能增加疝形成风险(发生率2%)。因此根据舟骨缺血程度(MRI评估)和骨缺损类型,建议采用分层治疗策略: I型(血供正常,骨缺损<2 mm): 无血供松质骨移植+内固定; II型(部分缺血,骨缺损2-5 mm): 带蒂桡骨茎突瓣移植; III型(完全缺血,骨缺损>5 mm或关节面破坏): 游离股骨髁瓣或髂骨瓣移植。

针对以上争议和技术瓶颈,作者认为首先应该: ①建立标准化的诊断标准;当前舟骨骨折不愈合的诊断依赖术中出血评估(金标准),但MRI定量分析(如T1加权像信号强度)可能成为无创替代方法,建议建立多中心数据库,制定基于影像学 and 生物力学参数的分级系统; ②增加生物增强技术的应用,如骨形态发生蛋白2局部应用可将愈合率提升至95%,但需警惕异位骨化风险(发生率为7%),3D打印个性化骨支架结合干细胞技术处于临床试验阶段,初步结果显示可加速血管化(愈合时间缩短3周);

③优化术后康复方案, 早期功能锻炼(术后2周开始)可改善腕关节活动度(平均增加15°), 但需平衡康复强度与骨折稳定性。生物力学研究表明, 术后3个月内避免桡偏背伸超过30°可降低再骨折风险。

总之, 腕舟状骨骨折不愈合的治疗需遵循“个体化精准治疗”原则: 无血供移植适用于简单病例, 带血供移植则针对复杂或缺血性坏死患者。基于此次综述, 因此作者认为未来发展方向包括: ①开发基于人工智能的术前评估系统, 预测术式疗效; ②推广显微外科技术培训, 提升带血供移植普及度; ③探索生物材料与传统术式的联合应用: 临床实践中, 应结合患者年龄、职业需求及术者经验, 制定最优治疗方案, 以实现功能恢复与并发症防控的平衡。

致谢: 向内蒙古医科大学附属医院骨科A区参与此次综述的同仁表示感谢; 并对期间进行文献收集汇总、文题设计、表格制作、文章撰写专家表示感谢。

作者贡献: 林森负责文章设计, 高斌礼、王阳负责文献收集, 郭文负责图标制作和文章撰写。

利益冲突: 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让: 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范: 该文章撰写遵守了《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次文字和图表查重, 文章经小同行外审专家双盲审稿, 同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

- NAKAMURA T. Scaphoid Fracture/Nonunion. *J Wrist Surg.* 2024;13(3):193.
- BASSO MA, SMERAGLIA F, OCAMPOS-HERNANDEZ M, et al. Scaphoid fracture non-union: a systematic review of the arthroscopic management. *Acta Biomed.* 2023;94(5):e2023194.
- GUZZINI M, LANZETTI RM, PROIETTI L, et al. The role of vascularized flaps in the treatment of proximal pole avascular necrosis in scaphoid non-unions. *Acta Biomed.* 2019;90(12-s):64-68.
- VAN NEST D, ILYAS AM. Scaphoid Nonunion: A Review of Surgical Strategies. *Orthopedics.* 2022;45(5):e235-e242.
- DUCKWORTH AD, JENKINS PJ, AITKEN SA, et al. Scaphoid fracture epidemiology. *J Trauma Acute Care Surg.* 2012;72(2):E41-5.
- KAKAR S, BISHOP AT, SHIN AY. Role of vascularized bone grafts in the treatment of scaphoid nonunions associated with proximal pole avascular necrosis and carpal collapse. *J Hand Surg.* 2011;36(4):722-725; quiz 5.
- FUJIHARA Y, YAMAMOTO M, HIDAKA S, et al. Vascularised versus non-vascularised bone graft for scaphoid nonunion: Meta-analysis of randomised controlled trials and comparative studies. *JPRAS open.* 2023;35:76-88.
- AL-JABRI T, MANNAN A, GIANNOUDIS P. The use of the free vascularised bone graft for nonunion of the scaphoid: a systematic review. *J Orthop Surg Res.* 2014;9:21.
- 曹树明, 张建兵, 詹海华, 等. 陈旧性腕舟状骨骨折的治疗进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021,29(15):1392-1395.
- STEINMANN SP, ADAMS JE. Scaphoid fractures and nonunions: diagnosis and treatment. *J Orthop Sci.* 2006;11(4):424-431.
- REIGSTAD O, GRIMSGAARD C, THORKILDSEN R, et al. Scaphoid non-unions, where do they come from? The epidemiology and initial presentation of 270 scaphoid non-unions. *Hand Surg.* 2012;17(3):331-335.
- 陈山林, 田光磊. 舟骨骨折不愈合的植骨术 [J]. *中华关节外科杂志 (电子版)*, 2010,4(2):150-154.
- DUSTMANN M, BAJINSKI R, TRIPP A, et al. A modified Matti-Russe technique of grafting scaphoid non-unions. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137(6):867-873.
- TAVAKOLIAN PA, ADAMS NS, EDWARDS SG. Scaphoid Nonunion Volar Plating with Pure Nonvascularized Cancellous Autograft. *JBJS Essent Surg Tech.* 2021;11(2):e20.00029.
- MAHAPATRA S, AGGARWAL P, MISHRA P, et al. Outcome of Scaphoid Nonunion Using Open Reduction and Internal Fixation With Iliac Crest Bone Graft (Fisk-Fernandez Technique). *Cureus.* 2023;15(2):e34661.
- FISK GR. Carpal instability and the fractured scaphoid. *Ann Royal Coll Surg Eng.* 1970;46(2):63-76.
- 刘泳君, 闫立伟, 周翔, 等. 植骨术治疗舟骨骨折不愈合的研究进展 [J]. *中华创伤骨科杂志*, 2021,23(5):453-457.
- 殷铭东, 刘光东, 张新宇, 等. 深低温冷冻同种异体骨植入治疗腕舟骨陈旧性骨折 [J]. *中华骨科杂志*, 1995(7):479.
- SANDOW MJ. Proximal scaphoid costochondral replacement arthroplasty. *J Hand Surg (Edinburgh, Scotland).* 1998;23(2):201-208.
- YASUDA M, ANDO Y, MASADA K. Treatment of scaphoid nonunion using volar biconcave cancellous bone grafting. *Hand Surg.* 2007;12(2):135-140.
- BAE JY, CHOI SW, LEE W, et al. Cancellous bone graft from the distal radius and headless screw fixation for unstable scaphoid waist nonunion. *Int Orthop.* 2024;48(2):487-493.
- SCHÄFER RC, NUSCHE A, EINZMANN A, et al. The corticocancellous press fit iliac crest bone dowel for recalcitrant scaphoid nonunion: analysis of union rate and clinical outcome. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(9):6001-6010.
- HEGAZY G, ALSHAL E, ABDELAAL M, et al. Kirschner wire versus Herbert screw fixation for the treatment of unstable scaphoid waist fracture nonunion using corticocancellous iliac bone graft: randomized clinical trial. *Int Orthop.* 2020;44(11):2385-2393.
- MARKOWICZ A, BACZKOWSKI B, LORCZYŃSKI A, et al. Evaluating degenerative changes in the wrist after surgical treatment for scaphoid pseudarthrosis using a corticocancellous graft for anatomical reconstruction. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2006;8(5):495-506.
- HEGAZY G, MASSOUD AH, SEDDIK M, et al. Structural Versus Nonstructural Bone Grafting for the Treatment of Unstable Scaphoid Waist Nonunion Without Avascular Necrosis: A Randomized Clinical Trial. *J Hand Surg.* 2021;46(6):462-470.
- SAYEGH ET, STRAUCH RJ. Graft choice in the management of unstable scaphoid nonunion: a systematic review. *J Hand Surg.* 2014;39(8):1500-1506.e7.
- KIM JY, LEE SL, PARK SY, et al. A Comparison of Non-vascularized Bone Grafting and Internal Fixation in the Treatment of Unstable Scaphoid Waist Nonunion. *J Hand Surg Asian.* 2021;26(4):697-704.

- [28] SEVERO AL, LEMOS MB, LECH OLC, et al. Bone graft in the treatment of nonunion of the scaphoid with necrosis of the proximal pole: a literature review. *Rev Bras Ortop*. 2017;52(6):638-643.
- [29] TAMBE AD, CUTLER L, MURALI SR, et al. In scaphoid non-union, does the source of graft affect outcome? Iliac crest versus distal end of radius bone graft. *J Hand Surg (Edinburgh, Scotland)*. 2006;31(1):47-51.
- [30] DUNCUMB JW, ROBINSON PG, WILLIAMSON TR, et al. Bone grafting for scaphoid nonunion surgery: a systematic review and meta-analysis. *Bone Joint J*. 2022; 104-b(5):549-558.
- [31] SHIN SC, KIM NY, KANG HJ, et al. Comparison of corticocancellous bone graft from the anterolateral metaphysis of the distal radius versus iliac crest for the treatment of unstable scaphoid nonunion with humpback deformity. *BMC musculoskelet Disord*. 2024;25(1):20.
- [32] TESTA G, LUCENTI L, D'AMATO S, et al. Comparison between Vascular and Non-Vascular Bone Grafting in Scaphoid Nonunion: A Systematic Review. *J Clin Med*. 2022;11(12):3402.
- [33] 刘建寅, 郭强, 王丹, 等. 桡动脉茎突返支为蒂桡骨茎突骨瓣植入术治疗舟骨骨折不愈合 [J]. *中华创伤骨科杂志*, 2004(4):48-50.
- [34] MOHIUDDIN M, DAS BK, MANZUR RM, et al. The Outcome of Scaphoid Fracture Nonunion Managed by 1,2 Intercompartmental Supraretinacular Artery (1,2 ICSRA) Vascularized Bone Graft. *Cureus*. 2023;15(10):e47489.
- [35] 王成琪, 张永亮, 任志勇, 等. 带蒂的桡骨筋膜瓣移植治疗陈旧性舟状骨骨折 [J]. *解放军医学杂志*, 1987(3):225.
- [36] 田光磊. 用于舟骨骨折的桡骨瓣及其血管 [J]. *中华外科杂志*, 2007,23(6):321-326.
- [37] ZAIDEMBERG C, SIEBERT JW, ANGRIGIANI C. A new vascularized bone graft for scaphoid nonunion. *J Hand Surg*. 1991;16(3):474-478.
- [38] SHEETZ KK, BISHOP AT, BERGER RA. The arterial blood supply of the distal radius and ulna and its potential use in vascularized pedicled bone grafts. *J Hand Surg*. 1995; 20(6):902-914.
- [39] ÇOLAK I, AKGÜN E, KILIÇ Z, et al. Vascularized Bone Grafting in the Treatment of Scaphoid Nonunion: A Clinical and Functional Outcome Study. *J Wrist Surg*. 2022;11(4):288-294.
- [40] 邢志利, 孙捷, 诸葛天瑜, 等. 桡动脉茎突返支骨瓣移位治疗舟状骨不连 [J]. *中国骨伤*, 2010,23(2):147-149.
- [41] 李宏维, 吴卓, 王栓科. 手术治疗腕舟状骨骨折不愈合的研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2014,22(24):2261-2263.
- [42] BRAUN RJOT. Pronator pedicle bone grafting in the forearm and proximal carpal row. 1983;7:35.
- [43] KAPOOR S, PAWAR I, KAPOOR S. Posttraumatic osteonecrosis and nonunion of distal pole of scaphoid. *Indian J Orthop*. 2013;47(4):425-428.
- [44] LEE SK, PARK JS, CHOY WS. Scaphoid fracture nonunion treated with pronator quadratus pedicled vascularized bone graft and headless compression screw. *Annals of plastic surgery*. 2015;74(6):665-671.
- [45] ÖZDEMİR MA, BAYRAM S, AYIK Ö, et al. Comparison of clinical outcomes of autologous bone graft versus pronator quadratus pedicled vascularized bone graft in the treatment of scaphoid nonunion. *Acta orthopaedica Belgica*. 2022;88(3): 447-455.
- [46] 马玉林, 夏宁晓, 郭建斌, 等. 带血管蒂第二、三掌骨骨瓣转移治疗腕舟骨陈旧性骨折 [J]. *中华外科杂志*, 1996(S1): 22-23.
- [47] SAWAIZUMI T, NANNO M, NANBU A, et al. Vascularised bone graft from the base of the second metacarpal for refractory nonunion of the scaphoid. *J Bone Joint Surg Br*. 2004;86(7):1007-1012.
- [48] 周家顺. 股骨内髁游离骨瓣治疗腕舟骨近侧骨折块坏死 [J]. *实用手外科杂志*, 2023,37(4):475-478+490.
- [49] KORİEM I, AGINA AA, EL GHAWAY AK. Treatment of failed scaphoid nonunion fixation using free medial femoral condyle vascularized bone grafting. *SICOT J*. 2023; 9:7.
- [50] ZHOU KJ, GRAHAM DJ, STEWART D, et al. Free Medial Femoral Condyle Flap for Reconstruction of Scaphoid Nonunion: A Systematic Review. *J Reconstr Microsurg*. 2022;38(8):593-603.
- [51] HARPF C, GABL M, REINHART C, et al. Small free vascularized iliac crest bone grafts in reconstruction of the scaphoid bone: a retrospective study in 60 cases. *Plast Reconstr Surg*. 2001;108(3): 664-674.
- [52] 邹阳平, 张树新, 张小平, 等. 吻合血管游离髂骨瓣治疗陈旧性舟骨骨折 [J]. *深圳中西医结合杂志*, 2019,29(23): 128-129.
- [53] 彭亚静, 张奕华, 高婷婷. 疲劳和营养不良对腕舟状骨骨折不愈合术后恢复的影响 [J]. *局解手术学杂志*, 2024,33(4): 330-334.
- [54] 何智灵, 王超, 何斌, 等. 高压氧联合桡骨瓣治疗腕舟状骨骨折不愈合的临床疗效 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2024, 39(3):315-317.

(责任编辑: 关丹, 邱杨, 张楠)