

血管化腓骨移植(VFG)在四肢骨缺损重建中的临床应用评价

伊力亚尔·吾买尔江*, 艾合买提江·玉素甫[#]

新疆医科大学第一附属医院显微修复与重建外科, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年4月29日; 录用日期: 2024年5月22日; 发布日期: 2024年5月29日

摘要

目的: 探讨血管化腓骨移植(VFG)在四肢骨缺损重建中的临床疗效。方法: 自2013年1月~2022年12月期间31例四肢骨缺损患者行血管化腓骨移植术。其中男22名(70.96%), 年龄(35.64 ± 17.01)岁。术前骨缺损长度(8.45 ± 3.96) cm, 血管化腓骨移植长度(10.79 ± 3.99) cm。术后随访时间超12个月记录骨愈合状态, 末次随访记录肢体长度差异(双上、下肢长度), 患肢功能评分(上肢ARAT评分、BBT评分, 下肢AOFAS足后踝评分量表、LEFS下肢功能评分), 腓骨肥大率与再骨折。结果: 31例患者平均随访时间(26.45 ± 11.06)月。96.78%患者得到初期骨性愈合。双上肢长度差异(1.31 ± 1.18) cm、双下肢长度差异(1.97 ± 2.10) cm。上肢ARAT评分(34.29 ± 8.38)分、BBT评分(27.00 ± 13.96)分, 下肢AOFAS评分(78.33 ± 11.00)分、LEFS评分(35.42 ± 19.41)分。腓骨肥大率(12.45 ± 8.34)%, 2 (6.45%)例再骨折。结论: 血管化腓骨移植治疗四肢大段骨缺损可取得良好疗效, 可一期快速补充大量骨质, 但术后仍存在肢体长度差异及肢体功能受限。可作为一期移植缩短治疗时长, 择期决定是否行肢体延长矫正。

关键词

血管化腓骨移植, 骨缺损, 修复重建, 显微外科技术

Clinical Evaluation of Vascularized Fibular Graft (VFG) in the Reconstruction of Limb Bone Defects

Yiliyaer Wumaierjiang*, Aihemaitijiang Yusufu[#]

Department of Microrepair and Reconstruction Surgery, First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

Received: Apr. 29th, 2024; accepted: May 22nd, 2024; published: May 29th, 2024

*第一作者。

[#]通讯作者。

文章引用: 伊力亚尔·吾买尔江, 艾合买提江·玉素甫. 血管化腓骨移植(VFG)在四肢骨缺损重建中的临床应用评价[J]. 临床医学进展, 2024, 14(5): 2013-2027. DOI: 10.12677/acm.2024.1451645

Abstract

Objective: To investigate the clinical efficacy of vascularized fibular grafting (VFG) in the reconstruction of limb bone defects. **Methods:** From January 2013 to December 2022, 31 patients with limb bone defects underwent vascularized fibular grafting. Among them, 22 were male (70.96%) with an average age of (35.64 ± 17.01) years. The preoperative bone defect length was (8.45 ± 3.96) cm, and the length of vascularized fibular grafting was (10.79 ± 3.99) cm. The bone healing status was recorded after a follow-up period of more than 12 months, and the final follow-up included recording the limb length discrepancy (difference in length between upper and lower limbs), functional scores of the affected limb (upper limb ARAT score, BBT score, lower limb AOFAS ankle-hindfoot score, LEFS lower limb function score), fibular hypertrophy rate, and re-fracture rate. **Results:** The average follow-up time for the 31 patients was (26.45 ± 11.06) months. 96.78% of patients achieved initial bony union. The discrepancy in length between the upper limbs was (1.31 ± 1.18) cm, and between the lower limbs was (1.97 ± 2.10) cm. The upper limb ARAT score was (34.29 ± 8.38) , BBT score was (27.00 ± 13.96) , lower limb AOFAS score was (78.33 ± 11.00) , and LEFS score was (35.42 ± 19.41) . The fibular hypertrophy rate was $(12.45 \pm 8.34)\%$, with 2 cases (6.45%) of re-fracture. **Conclusion:** Vascularized fibular grafting is effective in the treatment of large segment bone defects in limbs, allowing for rapid supplementation of bone mass in a single stage. However, limb length discrepancy and functional limitations may still exist postoperatively. It can be used to shorten the treatment duration in one stage, with the option to decide on limb lengthening correction at a later date.

Keywords

Vascularized Fibular Grafting, Bone Defect, Repair and Reconstruction, Microsurgical Techniques

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国社会与工业技术发展, 创伤性骨缺损(Gustilo III C 型开放性骨折)、良恶性肿瘤根治性切除术后大段骨缺损、感染性骨缺损(慢性骨髓炎)甚至先天性骨缺损的诊治越发常见, 常导致患肢功能严重受损甚至截肢(双下肢) [1]。大段骨缺损的常规治疗(单纯骨科固定及植骨)多疗效不佳[2]。目前主要治疗方式包括 Ilizarov 牵张成骨技术[3]、Masquelet 诱导膜技术[4]以及大段骨移植(自体[4]或同种异体骨[5])。Ilizarov 牵张成骨技术是最常用的方法, 利用环形外固定架和橄榄针提供 3D 固定, 通过牵张-应力法则促进新骨生成。然而, 该技术存在较高并发症发生率[3]。Masquelet 技术则利用 PMMA 骨水泥在第一阶段填充骨缺损刺激生物膜生长, 第二阶段取出骨水泥并植入松质骨完成重建。在大段骨缺损情况下, 需大量松质骨, 会对供区造成较大伤害且无法保证骨量充足[4]。同种异体骨移植则利用自体骨长入并替换骨质以修复缺损, 但仍不能完全避免免疫排斥的可能性[5]。

自体骨移植中, 常使用自体腓骨、髂骨和肋骨作为骨源。自体腓骨特别适合于移植, 并可以通过带蒂或显微血管吻合技术实现血管化腓骨移植(FVG), 通常用于大于 6 厘米的骨缺损重建[6]。血管化腓骨移植被广泛运用于各种骨缺损修复和重建中。随着显微血管吻合技术的进步, 它已成为一种可靠、有效的治疗方式, 能为患者提供良好的临床效果和改善生活质量[6] [7] [8] [9] [11] [12]。这种方法不仅可以

修复骨缺损, 提供稳定的皮质骨结构和血液供应, 还可以促进骨愈合和再生。通过移植腓骨, 可以填补骨缺损, 恢复骨的完整性和功能。移植的腓骨能够将大段骨缺损桥接为长骨, 且其愈合过程类似于普通骨折。这种手术技术在骨肿瘤切除术、复杂骨折修复和骨缺损修复等领域得到广泛应用[7]。然而, 血管化腓骨移植手术也存在一些挑战和风险。手术过程需要精细的解剖和显微外科技术, 以确保血管的完整性和功能。术后可能出现吻合血管并发症、感染、骨不愈合等并发症, 需要及时处理和干预。此外, 腓骨切取后的供区并发症也不容忽视。腓骨移植肥大至匹配受区管径需要数年时间, 如果肥大不全, 移植骨折不并非罕见[5] [7]。

本研究回顾了 2013 年 1 月至 2022 年 12 月期间进行的 31 例血管化腓骨移植(VFG)重建四肢骨缺损患者的情况, 记录了他们的术前和术后临床数据, 并评价了治疗效果。希望通过本研究, 为临床医生提供更多的参考和指导, 为 VFG 治疗提供更多样本。

2. 研究内容与方法

2.1. 研究对象

本研究选取 2013 年 1 月~2022 年 12 月期间就诊于新疆医科大学第一附属医院显微修复与重建外科行血管化腓骨移植重建四肢骨缺损的患者 31 例(31 次移植), 收集其术前术后临床数据进行回顾性研究, 术后随访 > 12 个月, 无失访者, 故纳入 31 例患者。

2.1.1. 病例诊断

骨缺损是指骨组织的部分或完全缺失, 主要是由于创伤、骨肿瘤、感染或手术等原因引起[1]。多数患者由慢性骨髓炎导致骨缺损, 其特征包括长期骨感染反复发作、死骨形成、窦道形成。原因包括骨折内固定感染、血行感染等, 常规手术往往无法根除感染灶, 这会导致患者持续出现反复感染、皮肤窦道形成伴排脓甚至排出死骨, 病理性骨折、全身毒性反应。对慢性骨髓炎患者长期使用抗生素不仅无法根除其病灶, 反而产生耐药菌甚至多重耐药菌为随后的治疗带来困难, 慢性骨髓炎发病率较 40 年前增加了近 2 倍, 达到了 21.8/100,000 例, 约 23% 的患者在骨移植前需 2 次以上清创, 最终约 6% 的患者因感染无法控制需要截肢[10]。慢性骨髓炎病骨段切除可降低其复发率, 但也产生了比感染区域更大的骨缺损[9]。骨肿瘤根治性切除术也会产生较大的骨缺损, 其诊断由术前术后病理学标本检查确诊。开放性骨折在高能损伤中可直接缺失骨质导致骨缺损[11] [12]。陈旧性骨不连出现骨折断端髓腔关闭、骨萎缩导致骨缺损[13]。先天发育异常导致的成骨不全如先天性胫骨假关节会在婴幼儿期出现骨成角畸形、自发性骨折、骨折断端萎缩进而出现骨缺损, 其治疗也包括假关节切除, 也会出现比病变长度更长的骨缺损[14]。关节结核的手术治疗若需要切除感染关节、行关节融合才能治愈, 切除术将形成骨缺损[15]。患者骨缺损长度由 X 线片正侧位测量。

2.1.2. 病例资料

将符合纳入标准的 31 例病人的术前术后资料收集。男性 22 例(70.96%), 接受手术年龄(6~68)岁, 平均年龄(35.64 ± 17.01)岁。随访时间(13~58)月, 平均时间(26.45 ± 11.06)月。患处骨缺损仅接受 1 次血管化腓骨移植术, 且只有一处骨缺损(表 1)。

2.2. 内容与方法

2.2.1. 纳入标准与排除标准

1) 纳入标准

- (a) X 线、CT 检查显示四肢存在骨组织部分或完全缺失;
- (b) 患处骨缺损首次接受血管化腓骨移植;
- (c) 供区腓骨骨量充足;
- (d) 患者年龄 > 3 岁;
- (e) 同意病历及影像学资料行医学研究者。

Table 1. Preoperative data of VFG patients
表 1. VFG 患者术前资料

患者编号	性别	年龄 (岁)	缺损原因	受区	缺损长度(cm)	腓骨移植 长度(cm)	固定方式	随访时 长(月)
1	女	28	骨巨细胞瘤	桡骨	9	9	钢板/螺钉	38
2	男	38	慢性骨髓炎	肱骨	10	12	钢板外置 + 钢板/螺钉	24
3	男	12	慢性骨髓炎	胫骨	10	15	单臂外固定 + 螺钉	28
4	男	32	横纹肌肉瘤	尺骨	8	9	钢板/螺钉	34
5	男	43	慢性骨髓炎	股骨	17	17	单臂外固定 + 螺钉	32
6	男	18	慢性骨髓炎	股骨	16	20	钢板/螺钉	13
7	男	52	慢性骨髓炎	股骨	13	16	单臂外固定 + 螺钉	13
8	男	40	软骨肉瘤	股骨	9	9	钢板/螺钉	24
9	男	41	慢性骨髓炎	胫骨	4	8	螺钉	30
10	女	46	陈旧性骨不连	胫骨	4	8	环形外固定 + 螺钉	15
11	女	6	先天性胫骨假关节	胫骨	4	10	髓内钉 + 螺钉	26
12	女	16	慢性骨髓炎	胫骨	8	12	单臂外固定 + 螺钉	58
13	男	33	慢性骨髓炎	股骨	8	8	单臂外固定 + 螺钉	44
14	男	36	开放性骨折	肱骨	4	6	钢板/螺钉	14
15	男	17	慢性骨髓炎	股骨	8	10	单臂外固定 + 螺钉	15
16	男	26	开放性骨折	跖骨	10	11	钢板/螺钉	19
17	男	44	慢性骨髓炎	胫骨	8	10	单臂外固定 + 螺钉	24
18	男	33	陈旧性骨不连	股骨	4	6	螺钉	17
19	男	56	腕关节结核	桡骨	4	6	钢板/螺钉	18
20	男	44	慢性骨髓炎	胫骨	6	8	单臂外固定 + 螺钉	20
21	男	40	膝关节结核	股骨	16	19	单臂外固定 + 螺钉	40
22	女	17	开放性骨折	股骨	9	12	单臂外固定 + 螺钉	22
23	男	12	陈旧性骨不连	锁骨	8	11	钢板/螺钉	19
24	女	62	骨巨细胞瘤	跖骨	8	13	钢板/螺钉	29
25	女	56	软骨肉瘤	股骨	18	19.5	髓内钉 + 钢板/螺钉	16
26	女	7	慢性骨髓炎	股骨	6	8	单臂外固定 + 螺钉	22
27	男	68	慢性骨髓炎	股骨	9	10	单臂外固定 + 螺钉	45
28	男	57	慢性骨髓炎	股骨	4	6	螺钉	27
29	女	41	慢性骨髓炎	胫骨	7	9	单臂外固定 + 螺钉	33
30	男	58	陈旧性骨不连	肱骨	6	8	钢板/螺钉	19
31	男	26	开放性骨折	胫骨	7	9	螺钉	42

2) 排除标准

(a) X 线、CT 检查显示四肢骨组织无明显缺损; (b) 患处多于一处骨缺损; (c) 血管化腓骨移植合并其他骨移植; (d) 感染未控制或肿瘤根治性切除失败患者; (e) 脊柱、肋骨、骨盆、颌面部及颅骨缺损患者; (f) 患者年龄 ≤ 3 岁; (g) 拒绝病历及影像学资料行医学研究者。

2.2.2. 手术相关

1) 术前准备

根据患者术前拍摄的患区正侧位 X 线片, CT 等检查, 测量骨缺损长度, 确定所需切取的血管化腓骨长度。受区及供区行彩色血管多普勒超声检查和 DSA (动脉血管造影) 定位供受区血管位置和排除血管发育不全、变异影响手术成功率。

2) 手术方法

在带蒂血管化腓骨移植时, 主要移植至同侧胫骨, 无需行吻合血管, 但需观察血管蒂是否存在张力或扭转。取外侧切口, 严格止血下逐步分离皮下、肌肉组织及骨膜, 保护腓肠神经, 将腓骨上方剥离, 于骨间膜下探查至腓动静脉, 蒂部带有部分肌肉, 探查至腓动脉穿支进入腓骨, 将包含滋养孔腓骨切取适应长度。将腓骨瓣移植到同侧胫骨骨槽, 腓骨两端分别用两枚拉力螺钉固定游离腓骨, 可加用外固定支架或髓内固定甚至联合固定, 术中观察移植腓骨血运状况至少 30 分钟。将开槽的胫骨多余骨质植于胫骨骨折断端, 放置引流, 全层缝合。加压包扎供、受区。使用外固定患者可不打石膏或支具固定, 使用内固定患者必须术后石膏或支具固定防止早期再骨折。

在游离血管化腓骨移植时, 受区为四肢各处骨缺损, 需使用显微血管吻合技术并观察血运。血管蒂需游离 2~4 cm 满足显微血管吻合操作, 吻合血管蒂与受区血管时应避免产生张力及蒂部扭转导致血运受损, 根据受区血运情况可采取端端吻合或端侧吻合血管, 为降低手术时间可使用 Coupler 微血管吻合器 [14]。其余手术步骤同带蒂血管化腓骨移植。

2.2.3. 评价指标

1) ARAT 评分

动作研究手臂测试(Action Research Arm Test, ARAT)评估上肢功能障碍患者的上肢功能恢复程度 [16]。ARAT 评分包括四个子项, 每个子项都有一系列不同的任务, 根据患者完成任务的能力, 给予相应的分数。总分为 57 分, 分数越高表示上肢功能恢复程度越好。

2) BBT 评分

盒子和阻碍物测试(Box and Block Test, BBT)用于评估手部协调和精细动作能力 [17]。通常测试时间为 1 分钟。移动的方块数量越高表示手部和协调能力越好。这个评分工具常用于评估中风、脑损伤、神经肌肉疾病等患者的手部功能恢复程度, 以及评估康复治疗的效果和进展。正常人 BBT 评分平均值为 50 分。

3) AOFAS 评分

足踝评分量表(American Orthopaedic Foot & Ankle Society Score, AOFAS)评估脚踝和足部疾病、损伤或手术治疗后的功能恢复程度 [18]。AOFAS 评分系统包括多个子项, 每个子项都有一系列不同的问题或任务, 根据患者的回答或表现, 给予相应的分数。总分为 100 分, 分数越高表示脚踝和足部功能恢复程度越好。

4) LEFS 评分

下肢功能评分(Lower Extremity Functional Scale, LEFS)是一种常用的下肢功能评估工具, 用于评估下

肢疾病、损伤或手术治疗后的功能恢复程度[19]。LEFS 评分系统包括 20 个问题, 从 0 分(无法完成)到 4 分(无困难)进行评分。每个问题的分数相加, 得到评分, 评分范围为 0 到 80 分。分数越高表示下肢功能恢复程度越好。

5) 双上、下肢长度差异

X 线图像上标定一个已知长度的参考物与上下肢平行。测量双上肢长度差异: 从参考物体的位置开始, 沿着肩部、上臂、前臂, 直到手指末端。确保测量垂直于参考物体, 并且与图像的比例尺相匹配。分别计算左右上肢的长度, 得到双上肢长度差异的数值; 测量双下肢长度差异: 从参考物体的位置开始, 沿着髌关节、大腿骨、小腿骨, 直到脚趾末端。测量垂直于参考物体长度得到双下肢长度差异的数值。

6) 骨性愈合

在受移植区 X 线正侧位片中观测到 4 处骨皮质中的 3 处有骨皮质连接可认为骨性愈合。小于 3 处被认为骨化不全, 无骨皮质连接被认为骨不连。

7) 腓骨肥大率

移植腓骨体积会随移植时间的增加而逐渐增大, 其计算公式如下:

$$\text{肥大率}H(\%) = \frac{\frac{F2}{R2} - \frac{F1}{R1}}{\frac{F1}{R1}} \times 100\%$$

在术后首次和最后随访时, 测量移植腓骨受区的正侧位 X 线片上移植腓骨的中点横截面长度(F)和移植腓骨与受区骨近端连接点横截面长度(R)上确定平均值。使用 de Boer 和 Wood 的公式计算移植腓骨肥大程度[20]。

2.3. 质量控制

本研究所有血管化腓骨移植术由本科室主任医师完成, 减少了术中差异。所有参与者共同系统学习了数据收集方法, 所有患者随访数据由本科室门诊收集, 随访数据的相关评分与影像学测量计算由两名参与者共同测评, 取二者平均值为研究数据。

2.4. 统计学分析

本回顾性研究为病例系列研究, 对一组患者的病例进行回顾性分析, 以描述其特征、治疗方法和结果, 不涉及数据比较, 不计算统计学差异及显著性分析。计量资料使用均数 $\pm$ 标准差表示; 计数资料使用百分比表示。

3. 结果

所有纳入研究的患者完成顺利移植, 术后随访 > 12 个月, 无失访者, 受区无神经、血管损伤及手术相关感染, 未观察到供区并发症(表 2)。

3.1. ARAT 评分

本系列中 7 例上肢 VFG 患者中, ARAT 评分(20~45)分, 平均(34.29 $\pm$ 8.38)分。1 例陈旧性骨不连 45 分评为活动无受限; 5 例(骨巨细胞瘤 1 例, 慢性骨髓炎 3 例, 陈旧性骨不连 1 例)评定为轻度受限; 1 例腕关节结核 20 分评定为中度受限, 原因为切除关节病灶后行 VFG 桥接掌骨与桡骨完成关节融合, 故评

分较低。71.43%的患者 ARAT 评分在活动轻度受限区间(22~43)分内。

3.2. BBT 评分

本系列中 7 例上肢 VFG 患者中, BBT 评分(10~50)分, 平均(27.00 ± 13.96)分。2 例患者评分 > 31 分, 判定为无受限; 2 例患者评分在(21~30)分区间, 判定为轻度受限; 2 例患者评分在(11~20)分区间, 判定为中度受限; 1 例患者评分为 10 分, 判定为重度受限。71.43%的患者 BBT 评分判定存在不同程度的活动受限。

Table 2. Postoperative data of VFG patients
表 2. VFG 患者术后资料

患者编号	愈合状态 (近远端)	双上肢不等 长(cm)	双下肢不等长 (cm)	ARAT 评分 (0~57)	BBT 评分 (0~50+)	AOFAS 评分 (0~100)	LEFS 评分 (0~80)	腓骨肥大 率(%)	再骨折
1	近端骨不连	2.2	(-)	40	25	(-)	(-)	5	否
2	骨性连接	1	(-)	35	20	(-)	(-)	20	否
3	骨性连接	(-)	1.2	(-)	(-)	85	52	45	否
4	骨性连接	3.3	(-)	30	22	(-)	(-)	15	否
5	骨性连接	(-)	0	(-)	(-)	85	44	20	否
6	骨性连接	(-)	3.5	(-)	(-)	85	26	5	是
7	骨性连接	(-)	5.5	(-)	(-)	75	12	2	否
8	骨性连接	(-)	0	(-)	(-)	85	44	5	是
9	骨性连接	(-)	2.5	(-)	(-)	85	44	11	否
10	骨性连接	(-)	2.2	(-)	(-)	65	12	5	否
11	骨性连接	(-)	0.5	(-)	(-)	85	76	18	否
12	骨性连接	(-)	3.2	(-)	(-)	65	22	10	否
13	骨性连接	(-)	0	(-)	(-)	90	72	10	否
14	骨性连接	0	(-)	30	20	(-)	(-)	5	否
15	骨性连接	(-)	0	(-)	(-)	85	44	15	否
16	骨性连接	(-)	0	(-)	(-)	75	30	5	否
17	骨性连接	(-)	0.5	(-)	(-)	85	30	5	否
18	骨性连接	(-)	0	(-)	(-)	85	22	5	否
19	骨性连接	1.5	(-)	20	10	(-)	(-)	15	否
20	骨性连接	(-)	1.8	(-)	(-)	85	44	10	否
21	骨性连接	(-)	7.2	(-)	(-)	55	8	15	否
22	骨性连接	(-)	2.3	(-)	(-)	85	44	11	否
23	骨性连接	0	(-)	45	50	(-)	(-)	8	否
24	骨性连接	(-)	0	(-)	(-)	85	52	13	否

续表

25	骨性连接	(-)	2.2	(-)	(-)	75	16	15	否
26	骨性连接	(-)	6	(-)	(-)	55	8	20	否
27	骨性连接	(-)	2.1	(-)	(-)	85	52	15	否
28	骨性连接	(-)	0	(-)	(-)	85	40	10	否
29	骨性连接	(-)	4.3	(-)	(-)	55	8	15	否
30	骨性连接	1.2	(-)	40	42	(-)	(-)	8	否
31	骨性连接	(-)	2.2	(-)	(-)	80	48	25	否

3.3. AOFAS 评分

本系列中 24 例下肢 VFG 患者中，AOFAS 评分(55~90)分，平均(78.33 ± 11.00)分。1 例患者评分 90 分，判定为足踝功能正常；15 例患者评分在(80~89)分区间，判定为功能轻度受限；3 例患者评分在(70~79)分区间，判定为功能中度受限；2 例患者评分在(60~69)分区间，判定为功能重度受限；3 例患者评分在(0~59)分区间，判定为功能极度受限。62.50%的患者存在足踝功能轻度受限，20.83%的患者存在足踝功能中度以上受限。

3.4. LEFS 评分

本系列中 24 例下肢 VFG 患者中，LEFS 评分(8~76)分，平均(35.42 ± 19.41)分。2 例患者评分于(61~80)分区间，判定为正常/轻度受限；10 例患者评分于(41~60)分区间，判定为中度受限；6 例患者评分位于(21~40)分区间，判定为重度受限；6 例患者评分位于(0~20)区间内，判定为极度受限。91.67%的患者存在中度以上下肢功能受限。

3.5. 双上肢、下肢长度差异

本系列中 7 例上肢 VFG 患者术后双上肢长度差异(0~3.3) cm，平均(1.31 ± 1.18) cm。5 (71.43%)例上肢 VFG 患者存在双上肢不等长；24 例下肢 VFG 患者术后双下肢差异(0~7.2) cm，平均(1.97 ± 2.10) cm，14 (58.33%)例患者存在双下肢不等长。31 例四肢骨缺损患者中 61.29%的患者存在肢体长度差异。

3.6. 骨性愈合及移植腓骨再骨折

本系列中 31 例 VFG 治疗四肢骨缺损病人中，30 (96.78%)例患者得到骨性愈合，1 例桡骨骨巨细胞瘤患者出现近端骨不连，二期行髂骨植骨术后得到愈合。2 (6.45%)例患者出现术后移植腓骨再骨折，均为 VFG 治疗股骨缺损病人(1 例为慢性骨髓炎，1 例为软骨肉瘤)，两名患者 2 期手术行髂骨植骨钢板内固定得到骨性愈合。所有外固定患者取出外固定架后行支具继续固定，内固定患者术后即开始石膏或支具固定。

3.7. 腓骨肥大率

根据公式计算得到 31 例患者末次随访时移植腓骨较术后即刻 X 片正侧位肥大(2~45)%，平均(12.45 ± 8.34)%。14 (45.16%)例患者腓骨肥大率在(0~10)%区间；15 例患者腓骨肥大率在(11~20)%区间；2 (6.45%)例患者腓骨肥大率 > 20%。

3.8. 典型病例

本研究的典型病例(见图 1)。

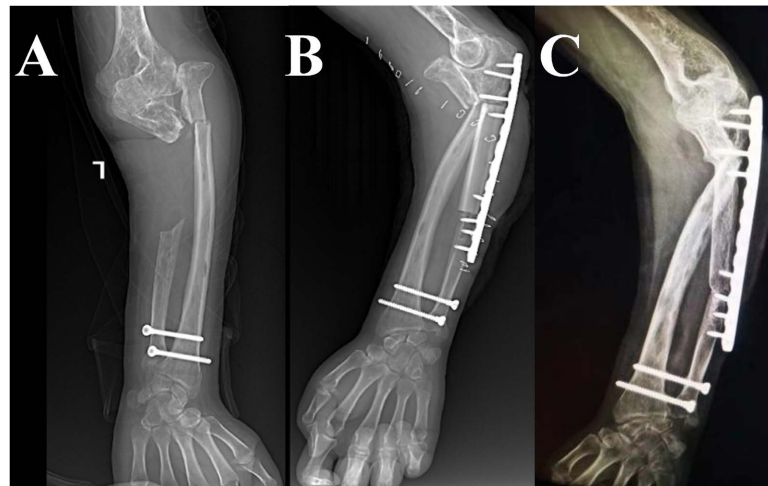


Figure 1. A 32-year-old patient with radical resection of rhabdomyosarcoma. (A) Before vascularized fibular grafting (VFG), a bone defect of 8 cm in length is seen after radical resection of the tumor in the ulna, with a concomitant fracture of the radius; (B) 1 day after VFG, the length of the transplant is 9 cm; (C) 32 months postoperatively, bone healing can be seen and the radius fracture is simultaneously healed

图 1. 32 岁横纹肌肉瘤根治性切除术病人。(A) VFG 术后可见肿瘤根治性切除后尺骨骨缺损长度 8 cm, 且桡骨同时存在骨折; (B) VFG 术后 1 天, 可见移植长度为 9 cm; (C) 术后 32 个月, 可见骨性愈合且桡骨骨折被同时治愈

4. 讨论

骨移植的历史可追溯至 17 世纪记载了已知的首次骨移植[21]。1884 年 Hahn 建议使用同侧腓骨移位治疗胫骨骨缺损, 1903 年 Huntington [22]在截断同侧腓骨一端后成功使用螺钉加压使腓骨紧贴腓骨外侧实施此术。1975 年 Taylor 首次成功实施游离血管化腓骨移植(Free Vascularized fibular graft, FVFG)重建了 12.5 cm 的创伤性胫骨缺损[6]。常规骨移植依赖局部血供完成骨重塑, 局部缺血会引起移植骨坏死[23]; 然而血管化骨移植骨重塑通常有单纯骨折相似的愈合过程, 原因是 VFG 可以将骨缺损转变为骨的双骨折。当下发现的血管化骨源包括: 腓骨、髌骨、肋骨、桡骨、尺骨、肩胛骨、股骨、肱骨、耻骨、跖骨(以腓骨及髌骨最常用), 血管化移植分带血管蒂或游离血管化移植[6]。自 1975 年 FVFG 报道以来, 不断发展出了新的术式、新的移植部位, 已经成为组织修复重建的重要手段。但是手术的疗效和供受区并发症仍然具有争议。在四肢骨缺损中, 目前主要修复重建手段有三种: 1) Ilizarov 牵张成骨[3]; 2) Masquelet 二阶段成骨[4]; 3) 血管化骨移植[6]。本文重点讨论 VFG。

4.1. VFG 的应用解剖学

腓骨可认为是一种长骨瓣并具有良好骨量, 解剖上为三皮质轮廓、骨质大小可达 3×40 cm [24], 腓骨与尺桡骨管径相似, 也可置于较大长骨(肱骨、股骨、胫骨)的髓腔内增加强度[7] [24] [25] [26]。

腓骨干有来自腓动脉的直接血供, 其骨内血管由腓动脉分叉下 6~14 cm 处发出滋养动脉, 由骨干中 1/3 段的滋养孔进入腓骨形成上升/下降支骨内膜动脉。腓动脉、胫骨前动脉在腓骨干中 1/3 段发出骨膜支, 形成骨膜动脉。腓侧皮肤有腓动脉的 4~8 个皮肤穿支, 可供切取皮瓣尺寸可达 10×20 cm, 故可形成复合皮瓣[23] [27]。

可行双侧 FVFG (双管式)得到两个较长的血管化腓骨并且匹配股骨缺损横径, 减少外固定带架时间; 还可游离血管化腓骨骨髓移植至儿童长骨来维持受区骨骼生长, 缓解肢体长度差异等畸形[7]。腓骨头周围有丰富的血管网络, 由膝下外侧动脉和胫前动脉的分支组成, 两种血管均可作为血管化腓骨骨髓移植的血管蒂, 但当需切取较长腓骨干或腓骨血管蒂时, 应首选胫前动脉作为血管蒂部[28]。

4.2. VFG 术后肢体功能

本系列中上肢骨缺损病人术后 ARAT 评分平均值(34.29 ± 8.38)分, 该评分满分为 57 分。上肢 BBT 评分平均值(27.00 ± 13.96)分, 正常人评分为 50 以上。可见患者术后手精细动作仍无法达到常人水平, 而手臂的粗大动作可接近常人的 50% 水平, 虽不能认为恢复良好, 但较截肢的结局仍算足以接受。在关于精细动作恢复差的原因: ① VFG 术区涉及腕关节、肘关节; ② VFG 术区涉及肌肉附着点; ③ 术前即存在关键肌腱、肌肉缺损。

下肢骨缺损病人术后 AOFAS 评分平均值(78.33 ± 11.00)分, 认定活动不受限需 ≥ 90 分, 大部分患者存在踝关节活动轻度受限。LEFS 评分(35.42 ± 19.41)分, 几乎所有病人都存在中至重度的下肢功能受限。与上肢不同, 下肢体后功能恢复并不理想, 除去与上肢相同的原因, 还有以下因素: ① 下肢多为胫骨、股骨这类承重骨, 移植腓骨肥大不全导致术后承重能力差; ② 几乎所有患者都丧失了跳跃能力, 而其在 LEFS 评分中占有 36 分; ③ 患者随访时间不足, 未给予足够的腓骨增生时间。

腓骨供区并发症在以往报道中: ① 足部疼痛和踝内/外翻: 当踝关节处于中立位时, 远端腓骨残端的轴向移动发生显著变化, 这解释了部分足部疼痛的原因。在供区不进行腓骨剩余残端固定或留余腓骨太少的情况下, 易出现踝外翻畸形; ② 供区踮趾屈趾功能受损; ③ 供侧腿远期萎缩(骨、肌肉)。本研究中我们严格遵循切取血管化腓骨后, 近端腓骨残余量 $> 6\text{ cm}$ 维持膝关节功能, 远端腓骨残余量 $> 4\text{ cm}$ 维持踝关节功能, 同时分离组织时显微操作降低了组织损伤。故没有观察到供区并发症。

4.3. VFG 术后肢体长度差异

上肢 VFG 患者双上肢不等长平均(1.31 ± 1.18) cm, 但与上肢功能恢复的直接联系有限; 然而下肢 VFG 患者双下肢不等长平均值(1.97 ± 2.10) cm, 这将影响下肢功能, 尤其当双下肢不等长 $> 5\text{ cm}$ (儿童 $\geq 4\text{ cm}$) 时即可导致跛行。并且我们发现即使在术中将急性骨缺损 1 期 VFG 修复至等长后, 仍会逐渐出现双下肢不等长。而陈旧的肢体短缩伴骨缺损时, VFG 只能修复骨缺损而无法矫正肢体短缩。这种情况下的肢体短缩只能依靠肢体延长术(Ilizarov 技术)完成修复。本研究认为, 当同时存在肢体短缩和大段骨缺损($\geq 6\text{ cm}$) 时, 1 期使用 VFG 快速修复骨缺损把患者转为单纯肢体短缩, 当移植腓骨肥大后再择期于非移植骨段行肢体延长术可以降低手术难度及带架时长。

4.4. 骨性愈合/再骨折与腓骨肥大率

因 VFG 可以将骨缺损转变为一般长骨双骨折, 所以其愈合过程与骨折相似。本研究中 96.78% 得到骨性愈合, 1 例桡骨骨巨细胞瘤切除术后 VFG 患者出现近端骨不连, 二期手术未见移植腓骨血运障碍, 行髂骨植骨后得到骨性愈合。

再骨折率不能与腓骨肥大率分别讨论, 因为骨性愈合后腓骨越肥大, 再骨折的发生率必然下降。本研究中的 2 例 VFG 修复股骨骨缺损患者出现移植腓骨再骨折, 其原因为钢板弯曲, 不可忽视的是两个患者腓骨肥大率为 5%。

本研究的随访时间平均(26.45 ± 11.06)月, 腓骨肥大率平均(12.45 ± 8.34)%, 54.84% 的患者腓骨肥大率 $> 10\%$ 。不过腓骨肥大的通常需要更长的时间完成, 相关文献报道过随访 40 年的 FVFG, 其腓骨肥大到甚至超过受区骨的横截面积。本研究随访时间最长病人为 58 个月, 其移植至胫骨的腓骨肥大率为 10%; 然而一名 12 岁儿童在血管化腓骨移植至胫骨时, 第 28 个月随访时发现其腓骨肥大率达 45%。所以其余病人仍然需要更长时间的随访来观察腓骨肥大率。

4.5. VFG 的适应证

骨缺损(创伤、感染及肿瘤切除后的重建)、各种原因引起的骨不连、先天性发育畸形、股骨头坏死、

关节固定术及特殊情况(变性手术等)。

VFG 的注意事项

① 术前排除外周血管疾病、深静脉血栓、既往血管损伤, 应行受/供区 DSA (动脉血管造影)。解剖学中发现人群中有 8% 存在血管发育不全, 主要表现为胫骨前、后动脉缺失一个或者双缺, 这些患者的足部血供由单一动脉供给, 若切取游离血管化腓骨时会影响到远端血运[23] [26], 需更换手术策略。

② 切取腓骨瓣时滋养动脉多于腓骨中 1/3 段的滋养孔进入腓骨, 但滋养孔入口可能变异(如在腓骨近 1/3 段), 切取时必须将这一段骨段包含在内[26]。

③ 切取时应在供区留下一定长度的腓骨维持下肢功能, 成人因身高差异可切取的长度在 22~26 cm。即使如此, 应在近端至少保留 6 cm 骨段维持膝关节功能、远端至少保留 8 cm 骨段维持踝关节功能[6]。在此前提下供区远期随访中双下肢不等长不明显, 踝关节稳定性无差异, 患者生活质量无明显下降[27]。

④ 手术入路的选择上, Taylor [6]最初使用后侧入路, 随后改进为侧方入路。行腓骨肌瓣、腓骨肌皮瓣及近端骨骺瓣时应行相应的入路更改[8]。

4.6. VFG 的相关疗效报道

4.6.1. 手足部

2021 年谭琪等[29]在 7 例前臂 FVFG (复合组织瓣)治疗前臂大段骨与软组织缺损中获得 100% FVFG 存活率; 足部的疗效报道中: 2021 年袁炜庆等[30]在 9 例足部骨与软组织缺损患者中获得 100% FVFG 存活率。

4.6.2. 颌面部

2021 年 Kuan-Ying Wang *et al.* [11]的一项对比 FVFG 头颈部肿瘤重建术中放射性骨坏死和骨髓炎的研究中, 85 位患者降低了骨髓炎或骨坏死发生率, 差异具有显著性($P = 0.02$)。2016 年 G. Ian Taylor *et al.* (FVFG 之父) “关于血管化骨 40 年的经验”一文中记载 FVFG 修复 287 例颌面部骨缺损获得 95% 的治愈率, 提出腓骨最适合于长骨或角对角下颌骨重建, 尤其适用于无牙患者, 对短而直的 6~8 cm 骨缺损重建有优势[6]。

4.6.3. 骨盆周围

2018 年 Kiiski *et al.* [12]对 21 例因原发肿瘤行骶骨切除的患者行回顾性分析, 发现行 FVFG 获得良好疗效。2022 年 Wu SH *et al.* [31]报道 FVFG 行生理女性变性为男性 24 例得出 FVFG 女变男术中具有最低并发症发生率。

4.6.4. 尺桡骨

2021 年 Toros *et al.* [32]指出, 在修复外伤性骨缺损时, 使用 FVFG 修复尺桡骨缺损 6~8 cm 可获得良好的疗效。2020 年 Pierluigi *et al.* [33]报道了 3 例肿瘤切除后采用 FVFG 合并舟月骨融合术进行桡骨远端重建术, 末次随访时, 术区无残余疼痛, 临床和放射学评估痊愈, 随访期间无感染、骨不连或肿瘤复发。

4.6.5. 锁骨及肩关节

2009 年 Taylor *et al.* [34]报道了一种锁骨重建的新术式, 在 FVFG 的基础上行二头肌腱移位重建喙锁韧带, 并使用定制的锁骨钢板防止肩锁关节脱位, 9 年后随访病人见移植腓骨肥大且肩关节功能评分为 77 分。在 FVFG 治疗锁骨干缺损或先天畸形时并不使用此术式, 仅使用 FVFG 重建锁骨干。原因在于肩锁关节完整, 且无骨缺损的肩锁关节损伤应通过保守或关节镜治疗来治愈[35]。

4.6.6. 特殊的关节重建及融合

2021 年 Will Alexander *et al.* [36]切除了胫骨近端及髌骨肉瘤, 重建时使用巨型膝关节假体伴 FVFG, 值得注意的是血管化腓骨并未参与骨缺损重建, 而是用于重建髌腱使用, 获得了良好疗效。2018 年 Abellan *et al.* [37]治疗胸椎败血症骨不连合并食道脊髓瘘时使用 FVFG 肌肉瓣同时修补食道脊髓瘘与胸椎骨不连。

4.6.7. 先天发育畸形或骨不连

2020 年 Stefanie *et al.* [14]报道了 7 处通过 FVFG 联合大段同种异体骨移植治疗 CPT(先天性胫骨假关节), 避免了较高的初期再骨折率和外固定。2017 年 Vigouroux *et al.* [38]在 1 项 9.5 年的长期随访报道 8 例血管化腓骨移植治疗 CPT, 其中 7 例(88.9%)得到治愈 1 例最终截肢。但是有关 CPT 的最终转归仍需要更多病例证明, 与骨缺损修复相似, CPT 的治疗方式同样包含 Ilizarov 牵张成骨、Masquelet 技术和 VFG, 三种方式都存在早期愈合良好但远期并发症高发生率的不足。

4.6.8. 胫骨

重建胫骨时主要使用带蒂移植, 但在患侧血管受损、腓骨骨量不足时仍需游离血管化移植重建。

1974 年 Taylor *et al.*汇报了一例创伤性胫骨骨缺损, 此病例被认为是记载的首次微血管吻合骨移植(FVFG), 作者持续进行了 40 年跟踪随访后发现: 术后 6 周时 DSA 证明吻合血管通畅, 9 个月时发现再骨折, 在 4 周保守治疗下愈合, 1 年时整个腓骨骨膜下迅速肥大, 术后 40 年移植腓骨的原始髓腔仍可见, 新生皮质骨已增生完全填补骨缺损[6]。2017 年 El-Negery *et al.* [39]在 14 例胫骨恶性肿瘤根治性切除后行 VFG 修复骨缺损获得 100%的愈合率, 提出了同侧腓骨中心化(中间化)的概念。2021 年 Ma CH *et al.* [40]在 8 例 VFG 联合外固定钢板(钢板外置)治疗胫骨大段骨缺损, 得到 100%治愈且移植物肥大指数为 98.2%, 作者认为钢板外置与外固定架疗效一致的结论, 即使钢板外置仍存在争议, 但提供了 VFG 新的固定选择。

2018 年 Meselhy 等[41]用 14 例 Ilizarov 外架横向腓骨搬运修复创伤性大段胫骨缺损, 骨缺损长度(13.2 ± 2.6) cm。得到 100%治愈, 外固定平均时长 32.42(± 4.32)周。2016 年 Houdek MT *et al.* [42]在同种异体骨联合 FVFG (Capanna 技术)在 18 例青少年骨肿瘤患者中获得了 94%的保肢率, 作者认为锁定钢板可获得更好的疗效(目前对于内固定钢板外置仍存在争议, 一般认为此固定方式只适用于战时急救使用)。

4.6.9. 股骨

2019 年 Liu T *et al.* [43]对 15 例股骨中段骨肉瘤患者行根治性切除, 采用巴氏灭菌自体骨联合 FVFG 重建骨缺损。末次随访时, 所有患者均实现了骨性愈合。FVFG 近端愈合时间平均 8.7 个月(6.0~13.0 个月), 远端的愈合时间平均 9.2 个月(6.0~12.0 个月)。这种治疗方法与胫骨的治疗方法(Capanna 技术[42])相似。2021 年 Richard MJ *et al.* [44]报道了 72 例股骨头缺血性坏死患者, 其中 64%的患者成功保髋。末次随访中, 保髋成功患者平均 HHS 评分从 56.7%提高到 77.3%。2023 年 Yang Y *et al.* [45]使用了平行重建血管化腓骨自体移植物联合大段同种异体骨移植治疗 7 处(5 名病人), 在增加移植腓骨与同种异体骨的接触面积后, 得到了 100%的骨性愈合。目前在使用血管化髂骨瓣或血管化腓骨瓣治疗股骨头缺血性坏死存在争议, 但两种血管化骨瓣均为重建血运而使用, 区别在于血管化髂骨瓣可以行带蒂移植。

4.7. VFG 的骨科固定

包括外固定(单臂外固定架、环形外固定架[3] [41]、组合式外固定架)和内固定(螺钉[6] [41]、钢板[7] [8] [41]、髓内钉[25])及联合固定。目前尚无报道明确证明特定固定方式最优, 但无论哪种固定方式都旨在维持力学稳定, 防止移植的腓骨再骨折, 争取 VFG 增生肥大以匹配骨缺损的宽度(长度在一期手术中

修复)。本研究中并未针对特定固定方式进行分析。

5. 总结

1) VFG 是治疗四肢骨缺损, 尤其大段骨缺损的有效方法之一。

2) VFG 术后受区肢体功能恢复仍取决于术前受区软组织损伤的严重程度。合适的血管化腓骨切取并不会对供区产生明显的并发症。

3) VFG 只能在非肢体短缩的前提下完成一期修复重建, 并且术后下肢将随时间推移逐渐出现不同程度的肢体长度差异。

4) VFG 的增生肥大需要以年为单位观察, 难以满足早期下肢承重。使用外固定可避免移植骨再骨折, 但代价是更长带架时间。

5) 对一些复杂运动系统畸形病人, 一期使用 VFG 快速补充骨缺损, 二期再行矫形及肢体延长术是值得探索的修复重建方案。

6) 本次研究的不足为病例缺乏对照组, 将会在今后的工作中不断完善和总结。

参考文献

- [1] Sun, L., Niu, H., Wu, Y., *et al.* (2024) Bio-Integrated Scaffold Facilitates Large Bone Regeneration Dominated by Endochondral Ossification. *Bioactive Materials*, **35**, 208-227. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2024.01.019>
- [2] 李明恒, 黄谋璋, 陈功群, 等. 单边外固定支架骨搬运治疗胫骨大段骨缺损的疗效分析[J]. 中华创伤骨科杂志, 2023, 25(11): 999-1002.
- [3] Paul, S., Vathulya, M., Kandwal, P., *et al.* (2023) Comparative Analysis of Free Vascularized Fibula Grafting and Ilizarov Bone Transport in Management of Segmental Long Bone Defect of the Lower Limb: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedics*, **50**, 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2023.12.001>
- [4] Gannamani, S., Rachakonda, K.R., Tellakula, Y., *et al.* (2024) Combining Non-Vascularized Fibula and Cancellous Graft in the Masquelet Technique: A Promising Approach to Distal Femur Compound Fracture Management with Large Defects. *Injury*, **55**, Article 111233. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.111233>
- [5] Singh, M., Byrne, R., Chang, K., *et al.* (2024) Distal Tibial Allograft for the Treatment of Anterior Shoulder Instability with Glenoid Bone Loss: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The American Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1177/03635465231223124>
- [6] Taylor, G.I., Corlett, R.J. and Ashton, M.W. (2016) The Evolution of Free Vascularized Bone Transfer: A 40-Year Experience. *Plastic and Reconstructive Surgery*, **137**, 1292-1305. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000002040>
- [7] Boretto, J.G., Holc, F., Gallucci, G.L., *et al.* (2023) Fibula Flap in Upper Extremity Segmental/Critical Size Bone Defects Fixed with Locking Plates. Single-Institution Observational Cohort. *Injury*, **54**, Article 110737. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.04.024>
- [8] Chang, Y.M., Tsai, C.Y. and Wei, F.C. (2023) Fibula Jaw-during-Admission. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, **82**, 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2023.01.010>
- [9] 夏文阳, 严良, 周祖彬, 细菌生物膜与慢性骨髓炎的关系[J]. 中华创伤骨科杂志, 2020, 22(5): 455-455.
- [10] Tuon, F.F., Mendonça, C.J.A., Gasperin, W., *et al.* (2024) Prevalence of Radiographic Findings in Chronic Osteomyelitis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **25**, Article No. 75. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-07121-2>
- [11] Wang, K.Y., Liu, W.C., Chen, C.F., *et al.* (2021) Osteomyocutaneous Free Fibula Flap Prevents Osteoradionecrosis and Osteomyelitis in Head and Neck Cancer Reconstruction. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, **37**, 524-529. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1722647>
- [12] Kiiski, J., Kuokkanen, H.O., Kääriäinen, M., *et al.* (2018) Clinical Results and Quality of Life after Reconstruction Following Sacrectomy for Primary Bone Malignancy. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, **71**, 1730-1739. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2018.08.008>
- [13] El Sewify, O., Abi-Rafeh, J., Legler, J., *et al.* (2024) Clinical, Radiologic, and Functional Outcomes Following Bone Grafting for Metacarpal Non-Unions: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 1148. <https://doi.org/10.3390/jcm13041148>
- [14] Van Den Heuvel, S.C.M., Winters, H.A.H., Ultee, K.H., *et al.* (2020) Combined Massive Allograft and Intramedullary

- Vascularized Fibula Transfer: The Capanna Technique for Treatment of Congenital Pseudarthrosis of the Tibia. *Acta Orthopaedica*, **91**, 605-610. <https://doi.org/10.1080/17453674.2020.1773670>
- [15] Vielgut, I., Putzl, L., Thomüller, I., *et al.* (2023) Musculoskeletal Tuberculosis Revisited: Bone and Joint Tuberculosis in Austria. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **143**, 3845-3855. <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04615-x>
 - [16] Fernández-Solana, J., Pardo-Hernández, R., González-Bernal, J.J., *et al.* (2022) Psychometric Properties of the Action Research Arm Test (ARAT) Scale in Post-Stroke Patients-Spanish Population. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article 14918. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214918>
 - [17] Liang, K.J., Chen, H.L., Shieh, J.Y. and Wang, T.N. (2021) Measurement Properties of the Box and Block Test in Children with Unilateral Cerebral Palsy. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 20955. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00379-3>
 - [18] Goh, G.S., Tay, A.Y.W., Rikhray, I.S. and Koo, K. (2021) Defining the Patient Acceptable Symptom State for the American Orthopaedic Foot & Ankle Society Score Following Hallux Valgus Surgery. *Foot and Ankle Surgery*, **27**, 528-534. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2020.06.013>
 - [19] Kim, Y.C., Lee, K.H., Kim, G.L., *et al.* (2021) Improvements in Lower-Extremity Patient-Reported Outcomes after Lumbar Interbody Fusion. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **36**, 8-15. <https://doi.org/10.3171/2021.2.SPINE201494>
 - [20] Kim, M.B., Kim, K.W., Lee, S.H. and Lee, Y.H. (2023) Use of Three-Column Reconstruction and Free Vascularized Fibular Grafts for the Repair of Large Tibial Defects after Tumor Resection. *Clinics in Orthopedic Surgery*, **15**, 1029-1035. <https://doi.org/10.4055/cios22298>
 - [21] Sparks, D.S., Wagels, M. and Taylor, G.I. (2018) Bone Reconstruction: A History of Vascularized Bone Transfer. *Microsurgery*, **38**, 7-13. <https://doi.org/10.1002/micr.30260>
 - [22] Xu, S., Liu, Y., Zhu, G., *et al.* (2022) Evaluation of the Efficacy of Ipsilateral Fibular Transfer for Reconstruction of Large Tibial Defects in Children: A Retrospective Study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **17**, Article No. 142. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03021-8>
 - [23] Mao, Y., Yao, L., Li, J., Li, J. and Xiong, Y. (2024) No Superior Bone Union Outcomes with Allografts Compared to No Grafts and Autografts Following Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy: A Retrospective Cohort Study. *Orthopaedic Surgery*, **16**, 363-373. <https://doi.org/10.1111/os.13961>
 - [24] Trilles, J., Chaya, B.F., Daar, D.A., *et al.* (2022) Double-Barrel versus Single-Barrel Fibula Flaps for Mandibular Reconstruction: Safety and Outcomes. *Laryngoscope*, **132**, 1576-1581. <https://doi.org/10.1002/lary.29927>
 - [25] Lenze, U., O'Sullivan, M., McCombe, D., *et al.* (2022) Intramedullary Fixation of Double-Barrel Vascularised Fibula Grafts with Subsequent Lengthening for Reconstruction of the Distal Femur in Patients with Osteosarcoma. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, **42**, e674-e681. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000002147>
 - [26] 张永强, 刘光军, 杨磊, 等. 游离腓骨皮瓣串联第二足趾组合甲瓣移植修复桡骨并拇指缺损[J]. 中华手外科杂志, 2021, 37(3): 183-185.
 - [27] Attia, S., Diefenbach, J., Schmermund, D., *et al.* (2020) Donor-Site Morbidity after Fibula Transplantation in Head and Neck Tumor Patients: A Split-Leg Retrospective Study with Focus on Leg Stability and Quality of Life. *Cancers*, **12**, Article 2217. <https://doi.org/10.3390/cancers12082217>
 - [28] Lu, Y., Xiao, X., Li, M., *et al.* (2021) Use of Vascularized Fibular Epiphyseal Transfer with Massive Bone Allograft for Proximal Humeral Reconstruction in Children with Bone Sarcoma. *Annals of Surgical Oncology*, **28**, 7834-7841. <https://doi.org/10.1245/s10434-021-10032-y>
 - [29] 谭琪, 张保燕, 张永强, 等. 游离腓骨(皮)瓣在上肢大段复合组织缺损修复中的临床应用[J]. 中华显微外科杂志, 2021, 44(2): 157-160.
 - [30] 袁炜庆, 杨渊. 游离腓骨复合组织瓣修复足部骨与软组织缺损九例[J]. 中华显微外科杂志, 2021, 44(6): 659-662.
 - [31] Wu, S.H., Shen, B.H., Perng, C.K., *et al.* (2022) Complications of Free-Flap Procedures for Phalloplasty in Female-to-Male Transgender Surgery: 25-Year Experience at a Single Medical Center. *Journal of the Chinese Medical Association*, **85**, 341-345. <https://doi.org/10.1097/JCMA.0000000000000677>
 - [32] Toros, T. and Ozaksar, K. (2021) Reconstruction of Traumatic Tubular Bone Defects Using Vascularized Fibular Graft. *Injury*, **52**, 2926-2934. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.08.013>
 - [33] Tos, P., Odella, S., Crosio, A., *et al.* (2020) Fibulo-Scapho-Lunate Fusion after Resection of the Distal Radius: Case Series, Review of the Literature and Critical Analysis of Bone Fixation. *Injury*, **51**, 2893-2899. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.03.017>
 - [34] Ye, L. and Taylor, G.I. (2017) A 10-Year Follow-Up of a Free Vascularized Fibula Flap Clavicle Reconstruction in an Adult. *Plastic and Reconstructive Surgery—Global Open*, **5**, e1317. <https://doi.org/10.1097/GOX.00000000000001317>
 - [35] Beard, D.J., Carr, A.J. and Cook, J.A. (2018) Can Shoulder Arthroscopy Work? (CSAW) Trial—Authors' Reply. *The*

- Lancet*, **392**, 281-182. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30773-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30773-6)
- [36] Alexander, W., Overland, J., Thomason, P., *et al.* (2021) Pedicled Fibular Transfer for Biologic Knee Extensor Tendon Reinsertion Following Proximal Tibial Resection in Pediatric Osteosarcoma: Long-Term Outcomes. *Microsurgery*, **41**, 753-761. <https://doi.org/10.1002/micr.30802>
 - [37] Abellan Lopez, M., Iniesta, A., Brioude, G., *et al.* (2018) Osteocutaneous Free Transfer of Vascularized Fibula in Cervico-Thoracic Spinal Reconstruction with Filling of an Esophageal Fistula: A Case Report. *Neurochirurgie*, **64**, 434-438. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2018.06.001>
 - [38] Vigouroux, F., Mezzadri, G., Parot, R., *et al.* (2017) Vascularised Fibula or Induced Membrane to Treat Congenital Pseudarthrosis of the Tibia: A Multicentre Study of 18 Patients with a Mean 9.5-Year Follow-Up. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **103**, 747-753. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.05.005>
 - [39] El-Negery, A., Elmoghazy, N.A., Abd-Ellatif, M.S., *et al.* (2017) Vascularized Fibular Medialization for Reconstruction of the Tibial Defects Following Tumour Excision. *International Orthopaedics*, **41**, 2179-2187. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3474-6>
 - [40] Ma, C.H., Chiu, Y.C., Wu, C.H., *et al.* (2021) Ipsilateral Vascularised Fibula with External Locking Plate for Treatment of Massive Tibial Bone Defects. *Injury*, **52**, 1629-1634. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.02.052>
 - [41] Meselhy, M.A., Singer, M.S., Halawa, A.M., *et al.* (2018) Gradual Fibular Transfer by Ilizarov External Fixator in Post-Traumatic and Post-Infection Large Tibial Bone Defects. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **138**, 653-660. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-2895-z>
 - [42] Houdek, M.T., Wagner, E.R., Stans, A.A., *et al.* (2016) What Is the Outcome of Allograft and Intramedullary Free Fibula (Capanna Technique) in Pediatric and Adolescent Patients with Bone Tumors? *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **474**, 660-668. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4204-2>
 - [43] Liu, T., Ling, L., Zhang, Q., *et al.* (2019) Evaluation of the Efficacy of Pasteurized Autograft and Intramedullary Vascularized Fibular Transfer for Osteosarcoma of the Femoral Diaphysis. *Orthopaedic Surgery*, **11**, 826-834. <https://doi.org/10.1111/os.12528>
 - [44] Richard, M.J., DiPrinzio, E.V., Lorenzana, D.J., *et al.* (2021) Outcomes of Free Vascularized Fibular Graft for Post-Traumatic Osteonecrosis of the Femoral Head. *Injury*, **52**, 3653-3659. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.04.005>
 - [45] Yang, Y., Li, B., Li, Z., *et al.* (2023) Parallel Reconstruction of Vascularized Fibula Autograft for Treatment of Complications after Resection of Malignant Tumor from the Thigh. *Plastic and Reconstructive Surgery*. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000011031>