

· 综述 ·

# 全距骨置换术的研究进展<sup>△</sup>

吴威霏<sup>1</sup>, 王一品<sup>2</sup>, 秦雪萌<sup>3</sup>, 杨茂伟<sup>3\*</sup>

(1. 辽宁中医药大学, 辽宁沈阳 110000; 2. 辽宁中医药大学附属医院, 辽宁沈阳 110000;  
3. 中国医科大学附属第一医院, 辽宁沈阳 110000)

**摘要:** 随着3D打印技术在临床实践中的广泛应用, 使用定制假体进行全距骨置换(total talar replacement, TTR)已成为治疗踝关节疾病, 如距骨缺血性坏死(avascular necrosis, AVN)和骨关节炎的有效选择。过去20年来, TTR手术已取得成功, 并且总体存活率令人满意。然而, 目前对于距骨置换的研究仍处于初级阶段, 需要长期评估其效果。本综述旨在总结有关TTR的文献, 并提供历史调查、适应证和禁忌证的变化、3D打印技术在距骨假体中的应用、存活率以及功能结果方面最新进展。

**关键词:** 全距骨置换术, 3D打印, 全距骨假体, 稳定方式, 假体材料

**中图分类号:** R687.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-8478 (2025) 04-0324-05

**Advances in the study of total talus replacement** // WU Wei-fei<sup>1</sup>, WANG Yi-pin<sup>2</sup>, QIN Xue-meng<sup>3</sup>, YANG Mao-wei<sup>3</sup>. 1. Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang, Liaoning 110000, China; 2. Affiliated Hospital, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang, Liaoning 110000, China; 3. The First Hospital, China Medical University, Shenyang, Liaoning 110000, China

**Abstract:** With the widespread use of 3D printing technology in clinical practice, total talar replacement (TTR) using customized prostheses has become an effective option for the treatment of ankle disorders, such as talar avascular necrosis (AVN) and osteoarthritis. Over the past 20 years, TTR procedures have been conducted successfully with a satisfactory overall survival rate. However, the TTR is still in its infancy and need to be evaluated over time. The aim of this review is to summarize the literature on TTR and provide an recent advances on historical survey, indications and contraindications, the use of 3D printing technology in talar prosthetic manufacture, survival rates, and functional outcomes.

**Key words:** total talus replacement, 3D printing, prosthesis, stable mode, prosthetic materials

全距骨置换(total talar replacement, TTR)常用于治疗距骨缺血性坏死(avascular necrosis, AVN)和终末期踝关节炎等距骨严重缺损性踝关节疾病。既往治疗相关疾病常选择踝关节融合术, 且取得了较良好的临床效果<sup>[1, 2]</sup>。但与踝关节置换相比, 踝关节融合术后存在踝关节活动范围受限以及下肢生物力线改变等局限性<sup>[3]</sup>。如今随着3D打印技术的兴起, 人工关节手术量正在逐年递增<sup>[4]</sup>。TTR用于治疗距骨AVN也逐渐受到人们广泛的关注。3D打印能力的实质性进步使第4代TTR的利用率最大化, 与关节融合术相比, 患者可以更快地恢复活动, 并且术后疼痛和关节力学得到改善<sup>[5, 6]</sup>。

## 1 TTR的历史发展

距骨假体从最早的部分假体发展到3D打印全距骨假体大体经历了4代创新(表1)。早在1974年, Harnroongroj等<sup>[7]</sup>就已对终末期踝关节炎患者进行了部分距骨置换, 最初的置入物材质为不锈钢。在随后5~12.5年的随访期间, 需要翻修的患者失败率达8.3%~50%, 其主要失败原因与距骨假体的下沉和松动有关<sup>[8]</sup>。不久后Taniguchi等<sup>[5]</sup>从计算机断层扫描(CT)图像中开发了一种氧化铝陶瓷距骨体。1999年—2006年, 22例患者接受了陶瓷假体。其中有8例患者接受了将钉子固定在保留的距骨颈部和头部的第1代假体治疗; 其余14例患者接受了没有钉子的第2代假体治疗。平均随访时间为8.1年, 但整体效果都差强人意。使用第1代假体的8例患者中有6例在随访期内获得了较好的临床疗效, 但所有患者均存在假

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.11053A

**△基金项目:** 沈阳市科学公共卫生研发项目(编号:22-321-32-12); 辽宁省科技厅应用基础研究基金项目(编号:2023JH2/101300039); 北京长江药  
学发展基金会项目(编号:BYPDF2431127)

**作者简介:** 吴威霏, 在读研究生, 研究方向: 足踝损伤与骨质疏松方向, (电子信箱)wuweifei2023@163.com

**\*通信作者:** 杨茂伟, (电子信箱)mwyang@cmu.edu.cn

体头颈连接部松动的情况；而在第 2 代的假体随访过程中，使用了没有骨钉的距骨体假体，14 例患者中 8 例取得了相对良好的临床疗效，但由于与第 1 代相比缺少了前钉的结构，该假体距骨头部位的受力太集中而容易引起骨折或塌陷<sup>[9]</sup>。

由于前两代假体都是由于假体结构而出现一些问题，因此 Taniguchi 团队开发了第 3 代氧化铝陶瓷全距骨假体并一直使用至今。从第 3 代开始，随后出现了第 4 代 3D 打印全距骨假体。新一代全距骨假体中融合了的各种最新创新，包括加入关节面涂层、联合距骨假体的全距骨置换（TATTR）、通过 3D 打印钻孔来完成关节固定术以及韧带插入部位的多孔涂层等创新，使得第 4 代全距骨假体个性化、匹配性和稳定性得到了进一步的提高<sup>[10]</sup>。

表 1. 从第 1 代到第 4 代距骨假体的演变

Table 1. Evolution of talus prostheses from the first to the fourth generation

类型	特点	缺点
第一代	距骨假体具有用于固定在天然距骨颈的前钉	固定接触部位易发生松动
第二代	距骨假体没有前钉结构	距骨头部位的受力太集中而容易引起骨折或塌陷
第三代	有距骨体和距骨颈，表面光滑，便于关节连接	无韧带连接，有距骨假体不稳定的风险
第四代	可结合全踝关节和 TTR，通过 3D 打印螺钉隧道进行距下或距舟关节融合术以及软组织插入部位的多孔涂层用于韧带修复和重建。	

## 2 TTR 的适应证和禁忌证的变化

目前 TTR 最常见的适应证是无法进行补救手术的距骨 AVN<sup>[11]</sup>。全球约 75% 的 TTR 病例通常是针对继发于特发性、糖皮质激素诱导或创伤后等病因的 AVN 进行的。此外，TTR 可用于距骨挤压、距骨骨折以及由于骨肿瘤、感染、类风湿性关节炎等各种原因导致的距骨丢失的患者<sup>[12, 13]</sup>。在过去的几年中，随着 3D 技术的发展，TTR 的适应证有所扩大。TTR 还可用作全踝关节置换术（total ankle arthroplasty, TAA）或关节融合术失败后的二级治疗。在 TAA 失败后距骨置入物下沉导致距骨破坏时，TTR 可与 TAA 的胫骨部件联合使用作为挽救性、运动保留手术<sup>[14]</sup>。Morita<sup>[15]</sup>称使用 TTR 翻修 TAA 是一种有效的

技术，有助于改善临床效果，具有出色的疼痛缓解和恢复踝关节运动范围。Anastasio 等<sup>[16]</sup>报道了 136 例患者（139 个踝关节）的数据，结果显示了科尔曼方法学评分（mCMS）为 70.4 分，其认为全距骨全踝关节置换（TATTR）是一种很有效的治疗方式，在短期内可改善缺血性坏死或创伤相关问题患者的功能结果。Kurokawa 等<sup>[17]</sup>比较了 10 例使用 TATTR 治疗的患者与 12 例标准 TAA 治疗终末期关节炎的患者，结果表明，TATTR 组的平均术后日本足外科学会（Japanese Society for Surgery of the Foot, JSSF）评分明显高于 TAA 组，但踝关节骨关节炎量表评分或自我管理足部评估问卷（Self-Administered Foot Evaluation Questionnaire, SAFE-Q）评分无差异。

TTR 的绝对禁忌证包括足舟骨或跟骨 AVN、活动性感染、不可切除的肿瘤、神经病性骨关节或存在严重的循环病变的患者<sup>[18]</sup>。此外还需注意患者金属过敏情况，如果患者有记录的金属过敏，应避免使用某些金属合金<sup>[19]</sup>。相对禁忌证包括年龄较低、骨质差、糖尿病、吸烟和超重等。另外还有一项重要的考虑因素是患者的年龄和活动水平，以及相邻关节疾病的风险。有学者认为由于年轻患者有较多的体力需求和更多的体力活动，加速了假体部件的磨损，增加了对关节周围软组织与骨的影响，从而导致较差的临床效果<sup>[20-22]</sup>。因此，TTR 可能更适合年龄较大、需求较低的个体。

## 3 3D 打印技术在全距骨置换中的应用

由于距骨没有通过任何肌肉附着物稳定，其位置主要取决于周围骨骼和韧带的支撑，因此，假体存活的最重要因素是置入物与关节面的一致性<sup>[23]</sup>。而现有的 3D 打印技术可以解决骨重建的外形和精准匹配问题，真正实现了与距骨解剖结构精准匹配，并且可以满足不同患者的需求。尽管 3D 打印在短期的疗效调查中展现出了比较好的效果，但这项技术中包括假体的材料、关节面材料、假体的稳定方式、韧带修复与否及方法等都需要进一步研究。

### 3.1 距骨假体材料

3D 打印距骨假体的材料以及假体关节面材料的选择对距骨假体的设计至关重要。现有的大多数距骨假体使用的材料有不锈钢、氧化铝陶瓷、钴铬合金、钛合金等，距骨关节面材料使用有氮化钛涂层、氧化钛表面层、氧化铝陶瓷、钛合金、不锈钢等<sup>[7, 11, 15, 24-26]</sup>。不同材料有其各自的特点（表 2），

目前对于全距骨假体以及假体关节面的最佳材料组合尚未达成共识。

Harnroongroj 首次采用不锈钢材料制备初代距骨假体，并在术后取得相对良好效果<sup>[7]</sup>。Taniguchi 等<sup>[27-30]</sup>采用第 2、3 代距骨假体，所用材料为氧化铝陶瓷，与初代不锈钢假体相比，其连接强度与生物相容性更好。由于钴基合金摩擦浸蚀可能导致 Co、Ni 等离子溶出，引发细胞和组织坏死，导致患者出现疼痛、关节松动和下沉等并发症<sup>[31]</sup>。为防止钴铬合金的潜在危害，Kadokia 等<sup>[26]</sup>采用了表面有氮化钛涂层的钴铬合金全距骨假体，并且在短期随访中取得了良好的效果。目前国内最流行的距骨假体材料是钛合金。钛合金因其高强度、良好的延展性、强大的耐腐蚀性和接近人体骨骼的弹性模量，特别适合用于承受较大负重强度的下肢关节。然而，该合金的耐磨性仍有待提高，且合金中含有的有毒元素钒可能引起毒性反应。极少数患者对钛合金存在过敏现象。为了解决这些问题，通常需要在合金表面涂覆生物活性陶瓷层。近期有研究指出，氮化钛具有成为关节软骨首选替代材料的潜力<sup>[32]</sup>。

表 2. 不同假体材料的特点

Table 2. Characteristics of different prosthetic materials

材料类型	优点	缺点
不锈钢	高机械强度	抗腐蚀性差、缺乏生物活性、与正常骨组织差异性较大、易断裂
氧化铝陶瓷	高硬度、生物相容性好、耐腐蚀、耐磨损、润滑性好，良好的化学稳定性和生物活性	抗弯曲和冲击强度较低、较高的模量、易断裂
钴镍合金	较低的模量、高强度、弹性模量高、摩擦浸蚀可能拥有稳定的钝化膜	导致 Co、Ni 等离子溶出
钛合金	高强度、良好的延展性、强大的耐腐蚀性和接近人体骨骼的弹性模量	耐磨性仍有待提高，摩擦浸蚀可能会有有害金属离子析出、极少数患者会出现过敏反应

### 3.2 距骨假体的稳定方式

术后距骨假体的稳定性通常欠佳。在距骨周围韧带不完整的情况下，距骨假体稳定性主要取决于骨性结构的稳定。虽然通过回顾文献大多数置入物不会重新连接韧带，且很少出现不稳定、错位或位移的情况，大多报道的前中期临床疗效与重建韧带疗效和以往重建研究类似，但在 Harnroongroj 等<sup>[33]</sup>报道的大型回顾研究中，有 2 例患者由于尺寸不匹配而发生早

期假体失败。根据 Ando 等<sup>[34]</sup>的说法，由于距腓前韧带、三角韧带及距下关节韧带在手术过程中被破坏，所以全距骨置换手术至少在理论上还存在假体不稳定的风险。

为保证距骨假体的稳定性，Jennison 等<sup>[35]</sup>认为不要切除任何关节囊，当关节囊得到良好修复时，假体才会尽可能地稳定。Regauer 等<sup>[36]</sup>报告了第 1 例使用纤维带内支架重建距骨周围韧带的距骨假体案例，但其短期临床随访疗效与不重建韧带类似。Fang 等<sup>[37]</sup>考虑到距下关节的稳定性，使用了 2 枚螺钉将假体固定于跟骨之上。孙广超等<sup>[38]</sup>认为对于外翻畸形伴随平足及不稳定者，这时需要通过行后足融合手术来实现矫正。Stevens<sup>[23]</sup>建议在 ATFL 和三角韧带的主要韧带附着部位添加多孔涂层，以提高稳定性。关于韧带重建的方法，Anastasio 等<sup>[39]</sup>提出了改良 Brostrom 手术来解决 TTR 后韧带不稳定的问题。笔者认为修复韧带作为稳定距骨假体的措施从长远上是有效的而且是有必要的，但是目前研究较少，缺乏中长期的临床结果，需要后续大样本量、前瞻性的研究设计以及更长时间的随访来证实其临床效果。

## 4 全距骨置换的生存结局及并发症

随着全距骨假体术的普及，相关报道也在逐年增加。近期出现了新的证据描述了 TTR 的术后假体的功能结局及并发症<sup>[35]</sup>。通过收集至少随访 1 年的 TTR 患者的功能结局，共纳入 20 篇文章，涉及 161 名患者，总体并发症发生率为 9.3%。其中两项研究报告了术前和术后 ROM。Morita 等<sup>[15]</sup>发现 TTR 术后活动度有明显改善；而 Kadokia 等<sup>[26]</sup>研究术前和术后背屈、跖屈和总 ROM 方面没有显著差异。3 项研究分析了步态。Anghong 等<sup>[25]</sup>研究的 5 例患者中有 1 例距下关节僵硬，1 例因疼痛而负重受限。Abramson 等<sup>[24]</sup>发现 8 例患者中有 7 例距下活动度下降和轻微步态异常，其中 3 例还患有固定后足内翻，3 例踝关节运动不适。Katsui 等<sup>[40]</sup>发现 6 例患者中有 2 例 ROM 受限。关于放射学结局，个别患者会出现轻微胫骨磨损及胫距骨骨赘出现少量变化，但这些退行性变化的存在似乎并不影响临床评分<sup>[41]</sup>。

最常见的并发症是伤口不愈合、关节炎和内踝骨折。Katsui 等<sup>[40]</sup>报告 2 例患者需要进一步手术。1 例患者在手术后 3 个月出现背屈受限，需要后路松解术；另 1 例患者由于胫骨关节炎进展，然后进行胫骨置换术。Kadokia 等<sup>[26]</sup>报道了胫骨远端 AVN1 例，

浅表感染 1 例,腓浅神经神经瘤 1 例。此外,在这项研究中,有 2 个置入物失败。在这 161 例患者中仅 1 例因手术后持续疼痛和畸形在 TTR 后需要膝下截肢。尽管存在这些潜在的并发症,但 TTR 已被证明可以改善功能并缓解疼痛。在结局指标方面,多个系列发现患者踝关节功能评分改善,疼痛水平降低,患者报告的结局评分得到改善。

## 5 展 望

假体和手术技术的快速发展使得 TTR 的预后和假体的使用寿命不断提高,人均使用率亦不断增加。3D 打印技术与数字骨科相结合可以推动全距骨假体设计向个性化、匹配性和稳定性更好的方向发展,并且可以满足不同的需求,这项技术将成为距骨及其周围关节病变的重要治疗选择。但在假体的材料、关节面材料的选择、假体的稳定方式、韧带修复与否等各方面都需要进行持续的研究。

**利益冲突声明** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 吴威霖:起草文章、实施研究、统计分析、论文写作;王一品:采集数据;秦雪萌:统计分析;杨茂伟:获取研究经费、指导工作

## 参考文献

- [1] 王业鑫,吴晓林,张海妮,等.两种固定方式踝关节融合的比较[J].中国矫形外科杂志,2021,29(11):990-994. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.11.07.  
Wang YX, Wu XL, Zhang HN, et al. Comparison of two fixation techniques used in ankle arthrodesis [J]. Orthopedic Journal of China, 2021, 29 (11): 990-994. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.11.07.
- [2] 朱绍阳,梁振雷,刘玉强.镜下融合术治疗终末期创伤性踝关节炎[J].中国矫形外科杂志,2022,30(3):281-283. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.03.20.  
Zhu SY, Liang ZL, Liu YQ. Arthroscopic ankle arthrodesis for treatment of end-stage traumatic ankle arthritis [J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30 (3): 281-283. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.03.20.
- [3] 朱善成,章超,乔晓红.创伤性踝关节炎置换与融合疗效的荟萃分析[J].中国矫形外科杂志,2023,31(14):1275-1279. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.14.06.  
Zhu SC, Zhang C, Qiao XH. Total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis for traumatic ankle arthritis: A meta analysis [J]. Orthopedic Journal of China, 2023, 31 (14): 1275-1279. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.14.06.
- [4] 陈继营,柴伟,郝立波.科技改变关节外科模式[J].中国矫形外科杂志,2022,30(22):2017-2021. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.22.01.  
Chen JY, Chai W, Hao LB. Science and technology change the model of joint surgery [J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30 (22): 2017-2021. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.22.01.
- [5] Taniguchi A, Takakura Y, Sugimoto K, et al. The use of a ceramic talar body prosthesis in patients with aseptic necrosis of the talus [J]. J Bone Joint Surg Br, 2012, 94 (11): 1529-1533. DOI: 10.1302/0301-620X.94B11.29543.
- [6] Scott DJ, Steele J, Fletcher A, et al. Early outcomes of 3D printed total talus arthroplasty [J]. Foot Ankle Spec, 2020, 13 (5): 372-377. DOI: 10.1177/1938640019873536.
- [7] Hamroongroj T, Vanadurongwan V. The talar body prosthesis [J]. J Bone Joint Surg Am, 1997, 79 (9): 1313-1322. DOI: 10.2106/00004623-199709000-00005.
- [8] Takakura Y, Tanaka Y, Kumai T, et al. Ankle arthroplasty using three generations of metal and ceramic prostheses [J]. Clin Orthop Relat Res, 2004, 424: 130-136. DOI: 10.1097/01.blo.0000131246.79993.ec.
- [9] Taniguchi A, Tanaka Y. An alumina ceramic total talar prosthesis for avascular necrosis of the talus [J]. Foot Ankle Clin, 2019, 24 (1): 163-171. DOI: 10.1016/j.fcl.2018.10.004.
- [10] Anastasio AT, Peairs EM, Tabarestani TQ, et al. Evaluating failure mechanisms for total talus replacement: contemporary review [J]. Foot Ankle Spec, 2023, 31: 19386400231206041. DOI: 10.1177/19386400231206041.
- [11] West TA, Rush SM. Total talus replacement: case series and literature review [J]. J Foot Ankle Surg, 2021, 60 (1): 187-193. DOI: 10.1053/j.jfas.2020.08.018.
- [12] Bischoff A, Stone R, Dao T, et al. Functional outcomes and complications associated with total talus arthroplasty: a systematic review [J]. Foot Ankle Spec, 2023, 16 (3): 259-266. DOI: 10.1177/19386400221118887.
- [13] Johnson LG, Anastasio AT, Fletcher AN, et al. Outcomes following total talus replacement: A systematic review [J]. Foot Ankle Surg, 2022, 28 (8): 1194-1201. DOI: 10.1016/j.fas.2022.08.010.
- [14] Bejarano-Pineda L, DeOrío JK, Parekh SG. Combined total talus replacement and total ankle arthroplasty [J]. J Surg Orthop Adv, 2020, 29 (4): 244-248.
- [15] Morita S, Taniguchi A, Miyamoto T, et al. Application of a Customized total talar prosthesis for revision total ankle arthroplasty [J]. JBJS Open Access, 2020, 5 (4): e20.00034. DOI: 10.2106/JBJS.OA.20.00034.
- [16] Anastasio AT, Bagheri K, Johnson L, et al. Outcomes following total ankle total talus replacement: A systematic review [J]. Foot Ankle Surg, 2024, 30 (3): 245-251. DOI: 10.1016/j.fas.2023.12.006.
- [17] Kurokawa H, Taniguchi A, Morita S, et al. Total ankle arthroplasty incorporating a total talar prosthesis: a comparative study against the standard total ankle arthroplasty [J]. Bone Joint J, 2019, 101-B (4): 443-446. DOI: 10.1302/0301-620X.101B4.BJJ-2018-0812.R2.
- [18] Akoh CC, Chen J, Adams SB. Total ankle total talus replacement

- using a 3d printed talus component: a case report [J]. *J Foot Ankle Surg*, 2020, 59 (6) : 1306–1312. DOI: 10.1053/j.jfas.2020.08.013.
- [19] Pinar N, Vernet E, Bizot P, et al. Total ankle arthroplasty in Western France: influence of volume on complications and clinical outcome [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2012, 98 (4 Suppl) : S26–30. DOI: 10.1016/j.otsr.2012.04.004.
- [20] Strand G, Juels C, Nowak J. Custom total talus replacement as a salvage option for failed total ankle arthroplasty: a prospective report of two cases [J]. *Foot Ankle Surg*, 2022, 2 (1) : 100113.
- [21] Lachman JR, Parekh SG. Total talus replacement for traumatic bone loss or idiopathic avascular necrosis of the talus [J]. *Tech Foot Ankle Surg*, 2019, 18 (2) : 87–98.
- [22] 罗富玉, 王杰, 刘军, 等. 全踝关节置换术的研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2024, 32 (4) : 345–349. DOI: 10.3977/j. issn.1005–8478.2024.04.10.
- Luo FY, Wang J, Liu J, et al. Research progress in total ankle arthroplasty [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2024, 32 (4) : 345–349. DOI: 10.3977/j. issn.1005–8478.2024.04.10.
- [23] Stevens BW, Dolan CM, Anderson JG, et al. Custom talar prosthesis after open talar extrusion in a pediatric patient [J]. *Foot Ankle Int*, 2007, 28 (8) : 933–938. DOI: 10.3113/FAI.2007.0933.
- [24] Abramson M, Hilton T, Hosking K, et al. Total talar replacements short–medium term case series, South Africa 2019 [J]. *J Foot Ankle Surg*, 2021, 60 (1) : 182–186. DOI: 10.1053/j.jfas.2020.08.015.
- [25] Anghong C, Rajbhandari P. Total talar prosthesis with and without ankle ligament reconstruction using the three–dimensional computer–aided design and computer numerical control manufacturing techniques [J]. *Orthop Rev (Pavia)*, 2020, 12 (3) : 8844. DOI: 10.4081/or.2020.8844.
- [26] Kadakia RJ, Akoh CC, Chen J, et al. 3D printed total talus replacement for avascular necrosis of the talus [J]. *Foot Ankle Int*, 2020, 41 (12) : 1529–1536. DOI: 10.1177/1071100720948461.
- [27] Taniguchi A, Takakura Y, Tanaka Y, et al. An alumina ceramic total talar prosthesis for osteonecrosis of the talus [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2015, 97 (16) : 1348–1353. DOI: 10.2106/JBJS.N.01272.
- [28] Sing SL, An J, Yeong WY, et al. Laser and electron–beam powder–bed additive manufacturing of metallic implants: A review on processes, materials and designs [J]. *J Orthop Res*, 2016, 34 (3) : 369–85. DOI: 10.1002/jor.23075.
- [29] Bairo F, Minguella–Canela J, Korkusuz F, et al. In vitro assessment of bioactive glass coatings on alumina/zirconia composite implants for potential use in prosthetic applications [J]. *Int J Mol Sci*, 2019, 20 (3) : 722. DOI: 10.3390/ijms20030722.
- [30] 王强, 郭高鹏, 宋国瑞, 等. 人工关节生物假体材料的研究进展 [J]. *医学研究杂志*, 2020, 49 (7) : 171–178. DOI: 10.11969/j. issn.1673–548X.2020.07.037.
- Wang Q, Guo GP, Song GR, et al. Advances in the study of bioprosthetic materials for artificial joints [J]. *Journal of Medical Research*, 2020, 49 (7) : 171–178. DOI: 10.11969/j. issn.1673–548X.2020.07.037.
- [31] 吴骁, 何本祥, 檀亚军. 髌关节假体材料的分类及应用进展 [J]. *中国骨伤*, 2016, 29 (3) : 283–288. DOI: 10.3969/j.issn.1003–0034.2016.03.019.
- Wu X, He BY, Tan YJ. Classification of hip prosthesis materials and progress in application [J]. *China Journal of Orthopaedics and Traumatology*, 2016, 29 (3) : 283–288. DOI: 10.3969/j.issn.1003–0034.2016.03.019.
- [32] van Hove RP, Sierevelt IN, van Royen BJ, et al. Titanium–nitride coating of orthopaedic implants: a review of the literature [J]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 485975. DOI: 10.1155/2015/485975.
- [33] Harnroongroj T, Harnroongroj T. The talar body prosthesis: results at ten to thirty–six years of follow–up [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2014, 96 (14) : 1211–1218. DOI: 10.2106/JBJS.M.00377.
- [34] Ando Y, Yasui T, Isawa K, et al. Total talar replacement for idiopathic necrosis of the talus: a case report [J]. *J Foot Ankle Surg*, 2016, 55 (6) : 1292–1296. DOI: 10.1053/j.jfas.2015.07.015.
- [35] Jennison T, Dalgleish J, Sharpe I, et al. Total talus replacements [J]. *Foot Ankle Orthop*, 2023, 8 (1) : 24730114221151068. DOI: 10.1177/24730114221151068.
- [36] Regauer M, Lange M, Soldan K, et al. Development of an internally braced prosthesis for total talus replacement [J]. *World J Orthop*, 2017, 8 (3) : 221–228. DOI: 10.5312/wjo.v8.i3.221.
- [37] Fang X, Liu H, Xiong Y, et al. Total talar replacement with a novel 3D printed modular prosthesis for tumors [J]. *Ther Clin Risk Manag*, 2018, 14: 1897–1905. DOI: 10.2147/TCRM.S172442.
- [38] 孙广超, 尹刚, 赵永杰, 等. 跟骨截骨距舟关节融合治疗扁平足合并距舟关节炎 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (21) : 1959–1962. DOI: 10.3977/j.issn.1005–8478.2020.21.09.
- Sun GC, Yin G, Zhao YJ, et al. Calcaneus osteotomy combined with talonavicular fusion for flatfoot with talonavicular arthritis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (21) : 1959–1962. DOI: 10.3977/j.issn. 1005–8478.2020.21.09.
- [39] Anastasio AT, Tabarestani TQ, Schweitzer KM Jr. Exploring the possibilities of the custom total ankle total talus replacement (TAT–TR) : short–form technique for adjunctive lateral ligamentous reconstruction with TATTR [J]. *Foot Ankle Orthop*, 2023, 8 (1) : 24730114231153141. DOI: 10.1177/24730114231153141.
- [40] Katsui R, Takakura Y, Taniguchi A, et al. Ceramic artificial talus as the initial treatment for comminuted talar fractures [J]. *Foot Ankle Int*, 2020, 41 (1) : 79–83. DOI: 10.1177/1071100719875723.
- [41] Morita S, Taniguchi A, Miyamoto T, et al. The long–term clinical results of total talar replacement at 10 years or more after surgery [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2022, 104 (9) : 790–795. DOI: 10.2106/JBJS.21.00922.

(收稿:2024–06–13 修回:2024–09–02)  
(同行评议专家:谭英华, 郭宝磊)  
(本文编辑:宁桦)