

- during development of an anterior part of the chicken eye[J]. Dev Dyn, 2006, 235(2): 496-505.
- [37] KAROLAK JA, GAMBIN T, RYDZANICZ M. et al. Accumulation of sequence variants in genes of Wnt signaling and focal adhesion pathways in human corneas further explains their involvement in keratoconus [J/OL]. PeerJ, 2020, 8: e8982. DOI: 10.7717/peerj.8982.
- [38] HAO XD, CHEN XN, ZHANG YY, et al. Multi-level consistent changes of the ECM pathway identified in a typical keratoconus twin's family by multi-omics analysis [J]. Orphanet J Rare Dis, 2020, 15(1): 227.
- [39] LAN L, WANG W, HUANG Y, et al. Roles of Wnt7a in embryonic development, tissue homeostasis, and human diseases [J]. J Cell Biochem. 2019, 120(11): 18588-18598.
- [40] XIE H, MA Y, LI J, et al. WNT7A promotes EGF-induced migration of oral squamous cell carcinoma cells by activating β -catenin/MMP9-mediated signaling [J]. Frontiers in Pharmacology, 2020, 11:98. DOI:10.3389/fphar.2020.00098.
- (收稿日期:2022-02-21, 修回日期:2022-03-16)

引用本文:李粤源,郭小玲,李思雨,等.多孔钽在骨科和口腔医学领域应用的研究进展[J].安徽医药,2023,27(3): 438-442. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6469.2023.03.004.



◇ 综述 ◇

多孔钽在骨科和口腔医学领域应用的研究进展

李粤源¹, 郭小玲^{2a}, 李思雨^{2b}, 刘凯楠^{2a}, 王茜^{2a}, 王志强¹

作者单位:¹华北理工大学附属医院骨科,河北 唐山 063000;²华北理工大学,^a基础医学院,
^b公共卫生学院,河北 唐山 063000

通信作者:王志强,男,主任医师,硕士生导师,研究方向为骨创伤修复及骨移植替代材料,Email:wzqde@163.com

基金项目:国家科技支撑计划课题资助项目(2012BAE06B03);河北省科技支撑资助项目(16277776D);

河北省医学科学研究重点课题计划(20180733)

摘要: 多孔钽小梁金属长期应用于骨科,可促进血管新生、伤口愈合和成骨;近期在钛合金牙种植体中多孔钽的应用也越来越多。多孔钽具有良好的生物相容性及与骨组织相似的弹性模量,与金属钛相比,它能明显促进原代成骨细胞的增殖和分化,促进骨结合,完成骨整合,从而显著提高种植体在骨组织中的二次稳定性,是目前已知最好的金属植入材料之一。现通过回顾以及分析相关文献,对多孔钽材料的特性以及其在骨科和口腔医学领域的应用研究进展作一综述。

关键词: 假体和植入物; 钽; 骨科临床; 口腔医学; 综述

Advances in the application of porous tantalum in orthopedics and stomatology

LI Yueyuan¹, GUO Xiaoling^{2a}, LI Siyu^{2b}, LIU Kainan^{2a}, WANG Qian^{2a}, WANG Zhiqiang¹

Author Affiliations:¹Department of Orthopedics, North China University of Science and Technology Affiliated Hospital, Tangshan, Hebei 063000, China; ^{2a}Basic Medical College, ^{2b}Public Health College, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei 063000, China

Abstract: Porous tantalum trabecular metal has long been used in orthopedics to promote angiogenesis, wound healing and osteogenesis. More recently, porous tantalum has been increasingly used in titanium alloy dental implants. Porous tantalum has become a popular graft material because of its good biocompatibility and elastic modulus similar to bone tissue. Compared with titanium, it can significantly promote the proliferation and differentiation of primary osteoblasts, and it is one of the best metal implant materials known at present. After implantation, porous tantalum can promote bone bonding and complete bone integration, thus significantly improving the secondary stability of implants in bone tissue. In this paper, relevant literature are reviewed and analyzed to introduce the properties of porous tantalum materials and their application in orthopedics and stomatology.

Key words: Prostheses and implants; Tantalum; Orthopedic clinic; Stomatology; Review

植入物的使用可以追溯到远古时代,随着时代的发展以及医学理论和技术的不断更新进步,现今对金属植入材料的研究受到更多关注。理想的植

入材料应该无毒、不致癌、无致热、无过敏且具有良好的生物相容性。植入材料的关键性能包括强度、耐久性和抗疲劳能力^[1]。钽是由瑞典的科学家和矿

物学家 Anders Gustav Ekeberg 于 1802 年在分析钽矿时发现的一种新元素,命名为 tantulas。钽(Tantalum)是一种金属元素,元素符号为 Ta,原子序数为 73,密度为 16.68 g/cm³,熔点为 2 980 °C,是仅次于钨、铼的第三个最难熔的金属,因此钽的化学性质极其稳定,不止具有显著的耐腐蚀性和耐磨性,还具有最佳的机械性能。与目前使用较多的金属植入材料钛相比,钽展示出更强的促细胞黏附、增殖能力,可更快形成细胞外基质,成为骨和牙齿组织工程应用的理想候选材料^[2-4],见表 1。近年来,金属多孔钽植入材料在医学领域的重要性与日俱增,因此如何完善以及优化多孔钽的性能将成为未来的研究热点。

1 多孔钽的制备

理想的植入材料植入人体需要承受短期和长期生理负荷,且具有良好的组织相容性,多孔钽金属可满足这种临床需要。最早的多孔钽金属由大约 99% 的钽和 1% 的玻璃碳(重量比)组成,该产品是通过化学气相渗透工艺制造,纯钽金属沉淀到网状玻璃质碳骨架上,从而将网状玻璃质碳骨架包裹在钽中。此材料具有 75%~85% 的空隙(孔隙体积)^[17],又称多孔钽小梁金属,具有与松质骨相似的结构,孔径在 300~600 μm,孔隙率为 75%~85%,其弹性模量(1.3~10 GPa)也与天然皮质骨(12~18 GPa)相似。它利于骨生长,并促进成骨,建立骨结合和骨整合,从而显著提高植入物的初始稳定性和骨再生策略的适用性^[18-19]。现今医用多孔钽的制备工艺日新月异,不止通过化学气相渗透工艺制备,还能通过真空等离子喷涂、选区激光熔融打印加工等技术制备。

2 多孔钽的优异性能

2.1 多孔钽的生物相容性 种植体的稳定性是实现和维持骨整合的前提条件,所以使用的植入材料必须具有良好的生物相容性^[20-21]。多孔钽具有可快速形成的表面氧化层,此表层可诱导材料在体内形成骨状磷灰石涂层,并为骨纤维提供优异的生长条件,允许骨组织和软组织快速附着。多孔钽植入人体后,可吸引骨组织和血管组织向多孔钽孔隙内生

长^[22-23]。有学者通过多孔钽培养成骨细胞,光学显微镜和扫描电镜观察细胞形态、黏附和增殖情况,结果发现多孔钽材料对成骨细胞没有毒性作用,成骨细胞在多孔钽上培养的第 10 天,多孔钽表面和内部孔隙中的细胞多层生长,分泌基质并完全覆盖多孔钽表面,提示多孔钽具有出色的生物相容性^[24]。

2.2 多孔钽的抗菌性 植入物感染是植入材料使用过程中最常见和最严重的并发症之一,会造成一系列严重的临床问题,感染往往会导致假体装置失效,需要更换植入物^[25],因此理想的植入材料不仅需要良好的生物相容性,还需要良好的抗菌性,开发具有抑菌潜力的新型植入材料非常必要。但是目前多孔钽的抗菌机制还未得到明确,本身是否具有抗菌性目前仍然存在较大的争议,抗菌性能的发挥多得益于其经过表面改性和修饰。有研究运用微弧氧化技术和直流磁控溅射技术相结合,使多孔钽表面具有抗菌活性,从而形成模拟骨形态和具有化学成分的多孔结构表面,并沉积锌纳米颗粒,进一步诱导其成骨性能并赋予其抗菌性能^[26]。结果表明与其他材料相比,多孔钽黏附细菌的数量明显减少。在体外实验中,TaCaP-Zn 不但具有对金黄色葡萄球菌的抗菌活性,还能减少浮游细菌及固着细菌。有学者开发了钽植入物的抗菌涂层,使用聚羧基烷酸酯作为携带活性成分的基质,应用了浸渍镀膜技术成功覆盖固体钽片,还采用新型 PHA 乳液流动工艺,用于多孔钽内表面的涂覆,并对生物聚合物涂层的抗菌性能和生物集成进行分析,结果发现多孔钽展现出良好的抗菌性能,表面含有抗生素的 PHAS 涂层可为多孔钽表面提供抗菌效果,保护植入物免受革兰阳性和阴性细菌的侵袭,通过使用可生物降解的 PHA,产生的药物输送系统确保了多孔钽植入人体后在一段时间内不受细菌感染^[27]。

2.3 多孔钽的耐腐蚀性 钽在体内是相对惰性的,具有良好的耐腐蚀性,与钛和不锈钢植入物相比,钽在高度酸性环境中表现出优异的耐腐蚀性能,重量或粗糙度均没有明显变化,因为金属钽表面钝化且可形成氧化膜,该氧化膜可阻碍金属离子从基体中释放,从而防止其对组织细胞的不良反应。金属

表 1 多孔钽与金属材料钛相比的优势

钽	钛	实验研究/临床应用	钽与钛基金属相比的优势	参考文献
抛光钽板	抛光钛板	细胞实验	钽显著促进骨髓间充质干细胞黏附和增殖,更有利于新骨生长	[5-6]
钽涂层多孔钽	多孔钛	细胞及动物实验	钽涂层支架比纯钛支架更有利于血管的新生与新骨形成	[7-9]
多孔钽髌臼杯	多孔钛髌臼杯	髌关节置换术及翻修术	多孔钽髌臼杯更有利于机体完成骨整合,翻修术后假体的存活率更高,机械故障的发生率更低	[10-13]
多孔钽牙种植体	钛牙种植体	口腔牙槽种植牙	种植术后感染率更低,显著促进骨再生,种植体周围骨丢失较少	[14-16]

钽可形成两种形式的氧化物:五氧化二钽(Ta_2O_5)和二氧化钽(TaO_2)^[28], Ta_2O_5 最为稳定,可使钽金属植入人体后不发生其他的化学反应,因此病人手术后无须行再行二次手术取出植入物,可有效地减小手术创伤,利于病人康复。

3 多孔钽在骨科和口腔医学领域的应用

3.1 多孔钽在治疗股骨头坏死方面的应用 早在20世纪90年代初,多孔钽小梁金属就首次被引入骨科领域。玻璃碳的多孔支架被涂覆了钽,使材料的抗压强度和弹性模量接近天然周围骨的抗压强度和弹性模量,同时允许血管新生和骨生长。多孔钽小梁金属的硬度与骨骼相似,在骨科中应用时,可以防止周围骨骼中的应力遮挡。多孔钽在骨科中的应用取得了惊人的成就^[29],有学者通过研究60例非创伤性股骨头缺血性坏死的病人,发现髓核减压术联合多孔钽棒的植入能治疗非创伤性股骨头缺血性坏死,促进坏死区的血运重建,并能防止关节软骨逐渐塌陷,且效果比髓芯减压植骨更好^[30]。

3.2 多孔钽在修复骨与关节缺损方面的应用 有学者报道了1例诊断为慢性炎症、伴有骨缺损的胫骨假体松动和严重的骨质疏松症,通过3D打印的多孔纯钽垫辅助左全膝关节置换术治疗取得了满意的效果,证实3D打印的多孔钽假体可用于重建关节置换手术后慢性炎症病人的胫骨缺损^[31]。Panda等^[32]通过回顾性研究评估了79例全膝关节置换术病人应用多孔钽小梁金属锥体修复骨缺损的效果,术后膝关节活动度和膝关节协会评分均有明显改善,初次全膝关节置换组效果较好;所有病例均观察到完整的骨性融合,研究表明,多孔钽小梁金属锥体是治疗全髌关节置换术中严重骨缺损的有效选择,具有可预测的骨整合和良好的长期临床结果。多孔钽还可应用于颈椎前路手术和腰椎融合术,用于治疗退变颈椎间盘和腰椎间盘^[33-34]。Ling等^[35]发现初次全髌关节置换术中使用多孔钽假体重建髌臼缺损,可取得满意的临床和影像学结果,虽然这项回顾性研究的受试者数量有限,需要一项样本量更大的前瞻性对照研究,以进一步评价钽充填物在重建初次全髌关节髌臼缺损中与其他方法相比的效果。但总体来说,应用多孔钽假体重建髌臼缺损是成功的。

3.3 多孔钽在治疗骨肿瘤方面的应用 多孔钽假体可应用于治疗髌臼周围转移瘤,Houdek等^[36]通过研究比较Harrington技术和钽髌臼假体重建术治疗髌臼周围转移瘤的疗效,发现接受全髌关节置换术的髌臼周围转移疾病病人中,与骨水泥Harrington式技术相比,利用高孔隙率的钽髌臼假体和假体成

功地为病人提供了更耐用的结构和更少的并发症。多孔钽作为一种新型的骨替代材料具有很高的骨科临床应用潜力。

3.4 在口腔医学的应用 口腔疾病在世界各地广泛流行,部分口腔疾病可能导致牙齿脱落,牙科植入物现在能够恢复无牙病人的部分功能。在牙科植入物选择中,多孔钽因其优良的生物相容性、机械和防腐性能入选牙科植入物^[37]。除此之外,多孔钽还可应用于颌骨的缺损修复,钟建鑫等^[38]通过构建颌骨骨缺损模型,分别应用多孔钽颗粒和Bio-oss骨粉分别填充比格犬下颌右侧骨缺损和比格犬左侧下颌骨缺损,3个月后通过X线片以及甲苯胺蓝组织染色表现证实了孔钽颗粒具有良好的诱导成骨能力,其修复颌骨骨缺损效果要优于Bio-oss骨粉的效果,虽然在本次实验研究中缺少样本以及空白对照组,但是为将来多孔钽应用于下颌缺损的研究奠定了基础。对于患有骨质疏松症、糖尿病等疾病导致机体组织愈合不良的病人而言,通过以多孔钽为基础的种植牙可显著提高病人的组织愈合率,最近有研究表明,多孔钽骨小梁种植体可能更有利于骨质疏松病人种植修复后的二期稳定性^[39-41]。多孔钽比钛更能增强成骨活性,细胞毒性更小。这些特性促进了骨的快速生长,形成了一种独特的骨-种植体界面模式“骨结合”,这将增强牙种植体在骨组织中的功能和稳定性,多孔钽在改善牙种植体的临床性能方面具有广阔的应用前景^[42-44]。刘洪臣教授^[45]还提出了一种人工种植牙全身给药系统的新理念,多孔钽人工种植牙有望通过机体的骨组织吸收并到达全身,为临床提供新的给药途径。

4 总结与展望

多孔钽作为植入材料在现阶段的关注度已经越来越高,因其优越的生物相容性将会广泛用于临床种植,与传统的种植体钛相比之下,多孔钽稳定性更好。然而良好的植入物整合并不能解决感染和相关的发病率问题,因此如何更好地提高多孔钽的生物相容性以及表面修饰技术并且获得更高的抗菌性能将会是未来研究的大方向,更好地实现临床应用的功能化。多孔钽植入材料现还处于迅速发展的阶段,目前的研究多局限于中短期的疗效,对于长期疗效还需进一步研究,需要长期的实验和临床评估来认证。虽然多孔钽在修复骨缺损方面优势独特,但是造价非常昂贵,仍然需要进一步突破材料制备工艺,开发性能优异以及成本低的医用多孔钽材料。随着医学和材料科学理论的进步和科技的创新,制造工艺的发展日趋成熟,多孔钽的应用必定会更加广泛,造福更多的病人。

参考文献

- [1] KEDUX. Implantable materials update [J]. Clin Podiatr Med Surg, 2019, 36(4):535-542.
- [2] USLU E, ÖZTATLI H, GARIPCAN B, et al. Fabrication and cellular interactions of nanoporous tantalum oxide[J]. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2020, 108(7):2743-2753.
- [3] FAN H, DENG S, TANG W, et al. Highly porous 3D printed tantalum scaffolds have better biomechanical and microstructural properties than titanium scaffolds [J]. Biomed Res Int, 2021, 2021:2899043. DOI:10.1155/2021/2899043.
- [4] 苏可欣,季平,王涵,等.3D打印多孔钽种植体对骨整合影响的实验研究[J].华西口腔医学杂志,2018,36(3):291-295.
- [5] LU MM, WU PS, GUO XJ, et al. Osteoinductive effects of tantalum and titanium on bone mesenchymal stromal cells and bone formation in ovariectomized rats [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2018, 22(21): 7087-7104.
- [6] LU M, ZHUANG X, TANG K, et al. Intrinsic surface effects of tantalum and titanium on integrin $\alpha 5\beta 1$ /ERK1/2 pathway-mediated osteogenic differentiation in rat bone mesenchymal stromal cells[J]. Cell Physiol Biochem, 2018, 51(2): 589-609.
- [7] WANG F, WANG L, FENG Y, et al. Evaluation of an artificial vertebral body fabricated by a tantalum-coated porous titanium scaffold for lumbar vertebral defect repair in rabbits [J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 1-11.
- [8] WANG L, HU X, MA X, et al. Promotion of osteointegration under diabetic conditions by tantalum coating-based surface modification on 3-dimensional printed porous titanium implants[J]. Colloids Surf B Biointerfaces, 2016, 148: 440-452.
- [9] DOU X, WEI X, LIU G, et al. Effect of porous tantalum on promoting the osteogenic differentiation of bone marrow mesenchymal stem cells in vitro through the MAPK/ERK signal pathway [J]. J Orthop Translat, 2019, 19: 81-93.
- [10] TOKARSKI AT, NOVACK TA, PARVIZI J. Is tantalum protective against infection in revision total hip arthroplasty? [J]. Bone Joint J, 2015, 97(1): 45-49.
- [11] WEGRZYN J, KAUFMAN KR, HANSEN AD, et al. Performance of porous tantalum vs. titanium cup in total hip arthroplasty: randomized trial with minimum 10-year follow-up [J]. J Arthroplasty, 2015, 30(6): 1008-1013.
- [12] VUTESCU ES, HSIUE P, PAPROSKY W, et al. Comparative survival analysis of porous tantalum and porous titanium acetabular components in total hip arthroplasty [J]. Hip Int, 2017, 27(5): 505-508.
- [13] JAFARI SM, BENDER B, COYLE C, et al. Do tantalum and titanium cups show similar results in revision hip arthroplasty? [J]. Clin Orthop Relat Res, 2010, 468(2): 459-465.
- [14] BENCHARIT S, MORELLI T, BARROS S, et al. Comparing initial wound healing and osteogenesis of porous tantalum trabecular metal and titanium alloy materials [J]. J Oral Implantol, 2019, 45(3): 173-180.
- [15] EDELMANN AR, PATEL D, ALLEN RK, et al. Retrospective analysis of porous tantalum trabecular metal - enhanced titanium dental implants [J]. J Prosthet Dent, 2019, 121(3): 404-410.
- [16] HEFNI EK, BENCHARIT S, KIM SJ, et al. Transcriptomic profiling of tantalum metal implant osseointegration in osteopenic patients [J]. BDJ Open, 2018, 4(1): 1-10.
- [17] ZARDIACKAS LD, PARSELL DE, DILLON LD, et al. Structure, metallurgy, and mechanical properties of a porous tantalum foam [J]. J Biomed Mater Res, 2001, 58(2): 180-187.
- [18] KANG C, WEI L, SONG B, et al. Involvement of autophagy in tantalum nanoparticle-induced osteoblast proliferation [J]. Int J Nanomedicine, 2017, 12: 4323.
- [19] 张书童,何帆,王一川,等.多孔钽涂层种植体在成骨特性中的研究进展[J/CD].全科口腔医学电子杂志,2019,6(28):35-36. DOI: 10.16269/j.cnki.cn11-9337/r.2019.28.022.
- [20] KUMAR BS, ANDRA S, JEEVANANDAM J, et al. Emerging marine derived nanohydroxyapatite and their composites for implant and biomedical applications [J]. J Mech Behav Biomed Mater, 2021: 104523. DOI:10.1016/j.jmbbm.2021.104523.
- [21] KIM DG, HUJA SS, TEE BC, et al. Bone ingrowth and initial stability of titanium and porous tantalum dental implants: a pilot canine study [J]. Implant Dent, 2013, 22(4): 399-405.
- [22] 杨柳,王富友.医学3D打印多孔钽在骨科的应用[J].第三军医大学学报,2019,41(19):1859-1866.
- [23] ZHAO D, MA Z, WANG T, et al. Biocompatible porous tantalum metal plates in the treatment of tibial fracture [J]. Orthop Surg, 2019, 11(2): 325-329.
- [24] WANG Q, ZHANG H, LI Q, et al. Biocompatibility and osteogenic properties of porous tantalum [J]. Exp Ther Med, 2015, 9(3): 780-786.
- [25] ARCIOLA CR, CAMPOCCIA D, MONTANARO L. Implant infections: adhesion, biofilm formation and immune evasion [J]. Nat Rev Microbiol, 2018, 16(7): 397-409.
- [26] FIALHO L, GRENHO L, FERNANDES MH, et al. Porous tantalum oxide with osteoconductive elements and antibacterial core-shell nanoparticles: a new generation of materials for dental implants [J]. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2021, 120: 111761. DOI:10.1016/j.msec.2020.111761.
- [27] RODRÍGUEZ-CONTRERAS A, GUILLEM-MARTI J, LOPEZ O, et al. Antimicrobial PHAs coatings for solid and porous tantalum implants [J]. Colloids Surf B Biointerfaces, 2019, 182: 110317. DOI:10.1016/j.colsurfb.2019.06.047.
- [28] BLACK J. Biologic performance of tantalum [J]. Clin Mater, 1994, 16(3): 167-173.
- [29] SAGHERIAN BH, CLARIDGE RJ. The use of tantalum metal in foot and ankle surgery [J]. Orthop Clin North Am, 2019, 50(1): 119-129.
- [30] PENG K, WANG Y, ZHU J, et al. Repair of non-traumatic femoral head necrosis by marrow core decompression with bone grafting and porous tantalum rod implantation [J]. Pak J Med Sci, 2020, 36(6): 1392.
- [31] WANG F, CHEN H, YANG P, et al. Three-dimensional printed porous tantalum prosthesis for treating inflammation after total knee arthroplasty in one-stage surgery-a case report [J]. J Int Med Res, 2020, 48(3):300060519891280. DOI:10.1177/0300060519891280.
- [32] PANDA I, WAKDE O, SINGH H, et al. Management of large bone defects around the knee using porous tantalum trabecular metal cones during complex primary and revision total knee arthroplasty [J]. Seminars in Arthroplasty, 2018, 29(3): 265-271.

- [33] FERNÁNDEZ-FAIREN M, ALVARADO E, TORRES A. Eleven-year follow-up of two cohorts of patients comparing stand-alone porous tantalum cage versus autologous bone graft and plating in anterior cervical fusions [J]. *World Neurosurg*, 2019, 122: e156-e167. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.09.160.
- [34] PAPACCI F, RIGANTE L, FERNANDEZ E, et al. Anterior cervical discectomy and interbody fusion with porous tantalum implant. Results in a series with long-term follow-up [J]. *J Clin Neurosci*, 2016, 33: 159-162.
- [35] LING TX, LI JL, ZHOU K, et al. The use of porous tantalum augments for the reconstruction of acetabular defect in primary total hip arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(2): 453-459.
- [36] HOUDEK MT, FERGUSON PC, ABDEL MP, et al. Comparison of porous tantalum acetabular implants and Harrington reconstruction for metastatic disease of the acetabulum [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2020, 102(14): 1239.
- [37] PIGLIONICO S, BOUSQUET J, FATIMA N, et al. Porous tantalum vs. titanium implants: enhanced mineralized matrix formation after stem cells proliferation and differentiation [J]. *J Clin Med*, 2020, 9(11): 3657.
- [38] 钟建鑫, 节云峰, 罗金英, 等. 多孔钽颗粒在下颌骨缺损修复中的作用 [J]. *第三军医大学学报*, 2015, 37(12): 1277-1280.
- [39] 卢波, 刘炳昊. 纳米钽对成骨细胞增殖能力及相关基因表达的影响 [J]. *口腔颌面外科杂志*, 2020, 30(5): 295-299.
- [40] 何帆, 张新, 彭巍, 等. 多孔钽涂层在牙种植体中的应用及研究进展 [J]. *大连医科大学学报*, 2019, 41(5): 458-462.
- [41] BONDARENKO S, DEDUKH N, FILIPENKO V, et al. Comparative analysis of osseointegration in various types of acetabular implant materials [J]. *Hip Int*, 2018, 28(6): 622-628.
- [42] LIU YD, BAO CY, WISMEIJER D, et al. The physicochemical/biological properties of porous tantalum and the potential surface modification techniques to improve its clinical application in dental implantology [J]. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 2015, 49: 323-329.
- [43] EDELMANN AR, PATEL D, ALLEN RK, et al. Retrospective analysis of porous tantalum trabecular metal - enhanced titanium dental implants [J]. *J Prosthet Dent*, 2019, 121(3): 404-410.
- [44] 张杉, 张晓, 姬洋, 等. 多孔钽在口腔临床中的应用与发展 [J]. *河南外科学杂志*, 2019, 25(1): 161-163.
- [45] 刘洪臣. 口腔种植修复的医学属性与发展导向 [J]. *中华口腔医学杂志*, 2021, 56(12): 1155-1158.

(收稿日期: 2021-12-23, 修回日期: 2022-01-28)

◇ 编读往来 ◇

稿件插图的处置要求

作为形象语言和视觉文字,科技期刊经常要求作者投稿时提供高清晰度的插图(线条图和照片图),将文字无法描述的情况直观地表现得一目了然。

插图同表格一样,都应在正文中标明“见图X。”字样。利用人像应取得当事人授权,遮盖可辨识个体来源及非必须的隐私部分(如病案号,双眼,会阴部)。病理图要注明染色方法和放大倍数。

只有一个图仍编号为图1、图号后无标点,空一格写图题。图题应独立于正文,含有足够的信息,能准确得体、简短精炼地表达插图含义,富有说明性和专指性(自明性)。插图可以有分图题(序号用A、B、C···)。图注顺时针(从左下起)安排序号,采用“阿拉伯数字编码,加一字线”形式,即“注:1—XXX;2—XXX;3—XXX。”

除了上述的图序、图题、图注,线条图组成还有标目、标值、坐标轴。标目是说明坐标轴物理意义的,由物理名称(或物理量名称符号)和相应的单位组成,以“量名称(或量符号)/单位”表示,如“时间/小时”“压力 p/MPa”。标值是坐标轴定量表达的尺度。切记不能使用不规整的实测数值直接做标值。纵横坐标轴要标明原点值。

照片图讲究两个指标:清晰度,对比度。码率一定时,清晰度高低与分辨率大小成正比。矢量图没有分辨率问题。要保证位图(栅格图)高分辨率,必须原图就是高清晰度。

另外,注意几点技术细节:(1)为美观计,插图高宽比5:7为宜。又因期刊单栏(one-column)宽为8 cm。故要求插图单栏宽度小于7.5 cm。(2)要使原图缩小到30%以下图中配文仍是6号字大小(7.5磅),则原植入字号应达25磅(一号字,26磅;小一号字,24磅)[按原始字号(磅)=7.5÷缩小率,1磅≈0.35 mm计]。(3)为减少失真、便于编辑加工,提交插图文件格式为矢量图EPS、PDF;彩照dpi(点/英寸)>300, TIFF、JPG;计算机绘图dpi>1 000, TIFF、JPG;组合图dpi>500, TIFF、JPG。

郝希春