

特约专栏

无机-有机复合组织器官工程材料的微纳制造

仇志烨, 王江林, 周娇娇, 张胜民

(华中科技大学先进生物材料与组织工程研究中心, 湖北 武汉 430074)

摘要: 无机-有机复合组织器官工程支架的微纳制造是近年来兴起的生物材料研究领域, 相对传统的生物材料与组织工程材料制造技术, 微纳制造整合了微纳米技术、计算机辅助设计、数字化制造等先进技术手段, 为新型生物医用材料的开发以及生物材料制造新技术、新设备的研发提供了新的技术路线。综述了生物医用材料、特别是组织器官工程与组织修复材料微纳制造技术现状及发展趋势, 主要包括生物材料的微纳米化及实现途径、组织器官工程支架材料的数字化设计、组织器官工程支架材料的数字化制造新技术等, 对我国组织器官工程(修复)材料数字化微纳制造新技术的优先发展领域提出了展望。

关键词: 无机-有机复合材料; 组织工程支架; 微纳制造; 数字化制造; 纳米技术

中图分类号: R318.08; Q64 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3962(2011)04-0016-07

Micro/Nano Fabrication of Inorganic/organic Composite Scaffold for Tissue Engineering

QIU Zhiye, WANG Jianglin, ZHOU Jiaojiao, ZHANG Shengmin

(Advanced Biomaterials and Tissue Engineering Center,
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Micro/nano fabrication of inorganic/organic composite scaffold for tissue engineering is a biomaterial research field arisen in recent years. Compared to conventional fabrication technique for biomaterials and tissue engineering materials, micro/nano fabrication, which has been integrated with advanced techniques such as micron/nano technology, computer aided design and digital manufacturing, provides new technical routes for the development of novel biomedical materials. Current situation and developing trends of biomedical materials, especially micro/nano fabrication technique of tissue engineering and tissue repair materials, are reviewed, mainly including realizations and approaches of micro/nano-size biomaterials, digital design of tissue engineering scaffolds, as well as new techniques for digital manufacturing of tissue engineering scaffolds. Moreover, a strategic outlook is proposed for priority areas for development in new techniques of digital micro/nano fabrication of tissue engineering (repair) materials in China.

Key words: inorganic/organic composite; tissue engineering scaffold; micro/nano fabrication; digital manufacturing; nano technology

1 前言

近年来,随着生物医用材料研究和产业的快速发展及医用材料成型技术水平的提高,数字化设计制造技术逐渐在组织工程支架的设计和制造上获得应用,以手工制作作为主的传统生物材料与组织工程支架制造技术已难以满足当前的临床需要。因此,研究和开发集成了微纳米化技术、计算机辅助设计、数字化制造的生物材料和组织工程支架微纳制造新技术已成为当前生物材料和组织工程学科研究的热点之一^[1-7]。在无机-有机复合组

织器官工程支架的微纳制造技术层面主要涉及生物材料的微纳米化、组织工程支架材料的个性化数字设计及组织工程支架的数字化制造新技术等重要领域。

2 生物材料的微纳米化及实现途径

构成组织工程支架材料的基本单元或基础材料的微纳米化是实现微纳制造的前提和基础,它直接关系到微纳制造的精度甚至成败。以骨和软骨组织工程、组织修复支架材料为例,其基本构成材料主要为生物相容性Ca-P粉体材料及可降解高分子材料等,因此,将其微纳米化就成为需主要攻克的关键技术之一。

目前,纳米无机粉体材料的实验室制备方法主要有沉淀法、溶胶-凝胶法、水热法、干法等,这些制备多属间歇式工艺,所面临的最大障碍是难以实现连续化、

收稿日期: 2010-03-26

基金项目: 国家863计划项目(2006AA032439)和国家自然科学基金(30870624)资助

通信作者: 张胜民,男,1963年生,教授,博士生导师

规模化生产。华中科技大学课题组在国际上率先开发出可以进行连续化操作的 D-工艺纳米 Ca-P 生物材料快速规模化制备新技术及其装备^[8-9]，实现了纳米 Ca-P 粉

体生物材料的低成本、高品质、大批量生产，制备出高纯纳米级钙磷系列生物材料产品(图 1, 2)，可满足不同的医学、生物学研究和应用需求。

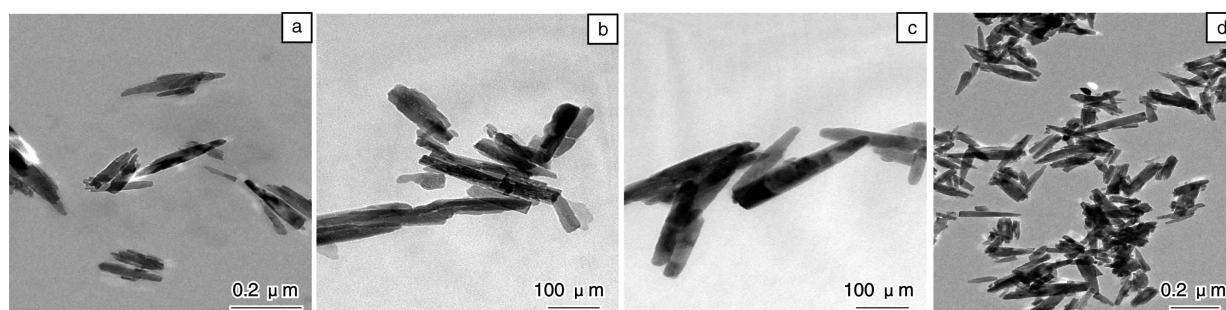


图1 系列纳米 Ca-P 生物材料：(a)纳米羟基磷灰石，(b)纳米含 Sr 羟基磷灰石，(c)纳米含 F 羟基磷灰石，(d)纳米含 Zn 羟基磷灰石

Fig. 1 Ca-P biomaterials series: (a) nano-sized hydroxyapatite, (b) nano-sized strontium-substituted hydroxyapatite, (c) nano-sized fluorine-substituted hydroxyapatite, and (d) nano-sized zinc-substituted hydroxyapatite



图2 纳米 Ca-P 生物材料系列产品：(a)纳米钙磷系列生物材料，(b)含氟纳米羟基磷灰石，(c)含镧纳米羟基磷灰石，(d)含锶纳米羟基磷灰石，(e)含锌纳米羟基磷灰石，(f)纳米羟基磷灰石

Fig. 2 Ca-P biomaterials products series: (a) nano-sized Ca-P biomaterials series, (b) nano-sized fluorine-substituted hydroxyapatite, (c) nano-sized lanthanum-substituted hydroxyapatite, (d) nano-sized strontium-substituted hydroxyapatite, (e) nano-sized zinc-substituted hydroxyapatite, and (f) nano-sized hydroxyapatite

微球技术是制备微纳米有机材料以及微纳米无机-有机复合生物材料的有力工具，粒径均一的微球材料也易于进一步加工。常用的微球制备方法主要有微乳液法、模板法、聚合法、自组装法、沉积法、喷雾干燥法等。这些微球材料被广泛应用于药物控制释放、靶向给药系统、组织工程支架的制备、基因转染载体等诸多领域^[10-15]。华中科技大学课题组制备出一系列无机-有机 HA/PDLLA、HA/PCL 复合微球材料(图 3)，并应用

于多种组织工程支架的构建及其生物活性和生物相容性的评价等。

利用模板诱导与自组装技术构建新型纳米生物医用支架材料是一个新趋势，华中科技大学课题组利用胶原-丝素蛋白双模板协同共组装新策略制备出胶原-丝素/羟基磷灰石 (Collagen-Silk Fibroin/Hydroxyapatite, COL-SF/HA) 复合仿生骨替代材料(图 4)，并对其矿化过程中多种有机模板成分协同诱导作用的机理进行了研

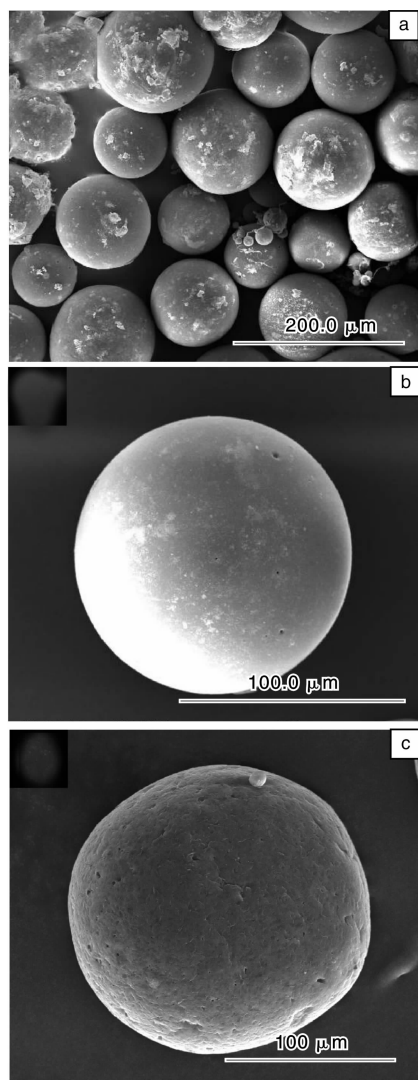


图3 HA/PDLLA 复合微球(a), 单个 HA/PDLLA 复合微球(b), HA/PCL 复合微球(c)的 SEM 照片

Fig. 3 SEM micrographs of HA/PDLLA composite microspheres (a), single HA/PDLLA composite microsphere(b), and HA/PCL composite microsphere(c)

究^[16]。结果表明,两种模板蛋白材料在相互诱导作用下二级结构发生明显改变,协同诱导钙磷材料的矿化,自组装所获得的复合纳米材料其有机/无机含量比例约为 20/80,比例接近人体自然骨。透射电镜结果进一步揭示,在两种纤维蛋白材料的协同作用下,所形成 HA 晶体与天然骨组织中羟基磷灰石的纳米针状结构类似。

3 组织工程支架材料的数字化设计

CT, NMR 等医学影像技术的不断进步,以及虚拟数字人技术的出现和发展,使得组织工程支架材料的数字化、个性化设计成为可能。具体可根据病人的原

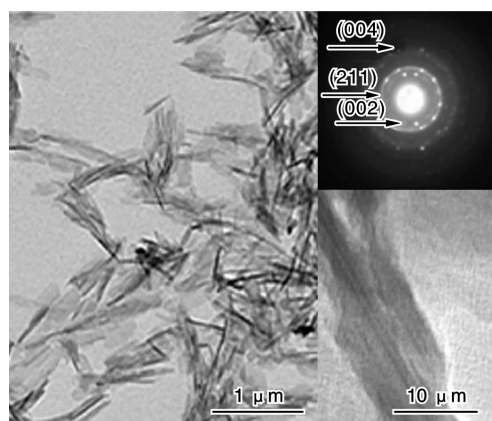


图4 胶原-丝素蛋白双模板协同共组装制备的COL-SF/HA 复合材料 TEM 照片和选区电子衍射花样

Fig. 4 TEM micrograph of COL-SF/HA composite prepared by a collagen/silk fibroin bi-template-induced co-assembly method and SAED pattern

始医学影像数据或虚拟数字人数据进行解剖学结构设计,同时结合待修复部位的特征进行微观结构设计(如层叠结构设计,孔隙设计等),从而完成病人缺损部位的个性化数字设计,然后选用适当的材料进行数字化微纳制造,最终获得与病人缺损部位相符的组织工程支架材料。图5给出了数字化构建组织工程支架材料的基本路线图^[1]。

利用计算机辅助设计(Computer-Aided Design, CAD)技术,可以根据各种途径获取的组织工程支架数据进行形状设计(图6),并且进一步设计支架的微观孔结构(图7),从而用于制造具有复杂结构的组织工程支架材料。

基于各种先进的医学影像数据,尤其是虚拟数字人技术数据构建微血管或多孔骨组织等具有复杂生理结构的组织工程支架材料,是当前数字化组织工程支架材料微纳设计和制造的研究重点和前沿,但面临更大挑战。

4 组织工程支架的数字化制造新技术

快速原型技术(Rapid Prototyping, RP)是近些年发展起来的一种数字化、自动化快速层叠制造技术。用 RP 技术能根据所设计模型构建具有重复微结构的支架,并且能制造出与待修复部位完全相同的三维支架材料,这是常规支架制备技术难以实现的,因此,RP 技术越来越多地被应用于组织工程支架材料,尤其是具有复杂结构的组织工程支架的制造。如利用三维细胞打印(3D Cell Printing)技术可以直接将细胞-材料混合物进行三维打印,构建含有细胞的组织工程支架材料。Y. N. Yan 等利用三维细胞打印技术,构建出具有通道结构的细胞/材料复合三维支架材料^[17]。

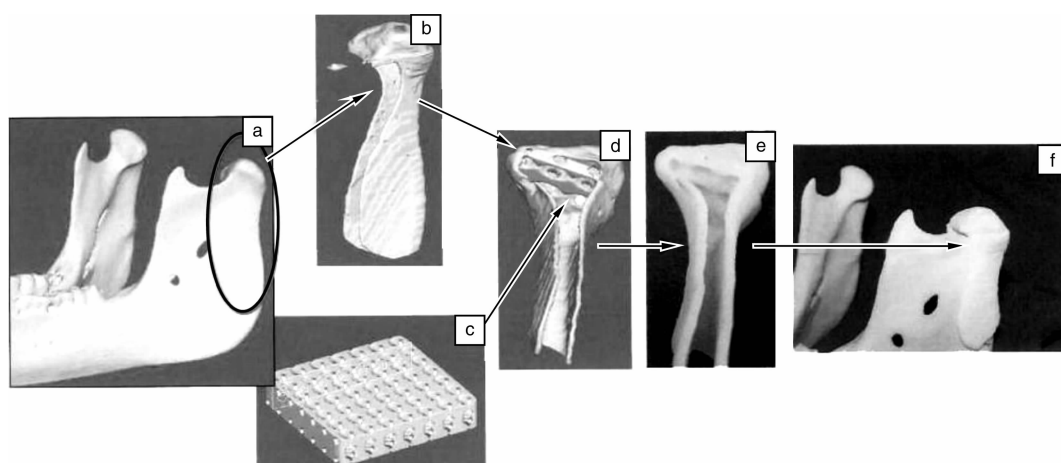


图5 数字化构建组织工程支架材料的基本路线：(a)病人原始影像数据或虚拟数字人数据，(b)解剖学结构设计，(c)微观结构设计，(d)个性化数字设计，(e)数字化微纳制造，(f)与缺损部位相符的支架材料

Fig. 5 Basic flow chart of digital fabrication of tissue engineering scaffold: (a) original medical Image data of the patients or digital human data, (b) anatomical structural design, (c) microstructural design, (d) personalized digital design, (e) digital micro/nano fabrication, and (f) the scaffold correspond with defect site

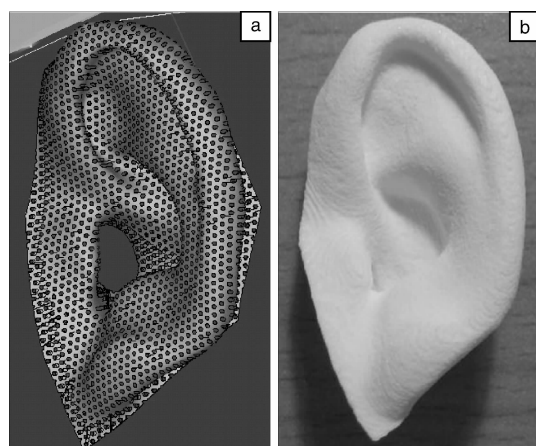


图6 根据中国数字人男1号数据构建的组织工程人工耳模型(a)和根据该模型制造的组织工程人工耳支架(b)

Fig. 6 Mathematical model of tissue engineering artificial ear built according to chinese digital human-male No. 1 data (a) and a tissue engineering artificial ear scaffold fabricated by using such model(b)

再如，选择性激光烧结 (Selective Laser Sintering, SLS) 可以在微米水平对粉体材料进行快速成型制造，并能够制备复杂结构的三维支架材料，成本低、效率高^[18-21]。为了获取更好的制造效果，华中科技大学课题组进一步将 SLS 技术与微球技术相结合，利用形状规整、尺寸均一的无机-有机复合微球为原料进行烧结，从而进行具有复杂孔结构的无机-有机复合组织工程支架材料的数字化微纳制造^[22-24]。研究表明，不规则 PDLLA 粉末烧结所得支架内连接状况较差，烧结不均匀(图 8a)，而利用 PDLLA 微球烧结制得的支架内连接

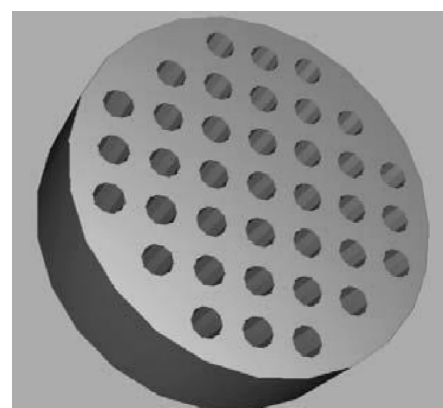


图7 利用 CAD 设计的具有一定孔结构的组织工程支架材料

Fig. 7 Tissue engineering scaffold with a certain porous structure designed by CAD

状况良好，烧结均匀(图 8b)；PDLLA/HA 机械混合材料烧结得到的支架材料松散易碎，不能成型，观察发现支架内材料烧结不均匀，无规则孔结构(图 9a)，而利用 PDLLA/HA 复合微球烧结得到的支架材料成型效果好，SEM 观察支架内材料烧结均匀，孔结构明显(图 9b)。SLS 制造过程中，有机成分分子量降低在 10% 以内，支架孔隙率可以高达 87.2%。因此，将 SLS 技术与微球技术相结合，克服了采用不规则粉末烧结过程中由于原料形状不规则、烧结中受热不均而导致的烧结产品精度差、结构松散甚至无法成形等问题，为无机-有机复合材料的组织工程支架快速制造开辟了新的途径。课题组还对 PDLLA 微球的 SLS 加工工艺进行了深入系统的研究，归纳总结出适合于不同尺寸微球的烧结参数

(表 1 ~ 3)。通过对组织工程支架的孔结构进行设计, 将 SLS 和微球技术联用, 进一步可以制造出具备所设计微观结构(如微米孔结构)的复杂支架材料(图 10)^[22]。

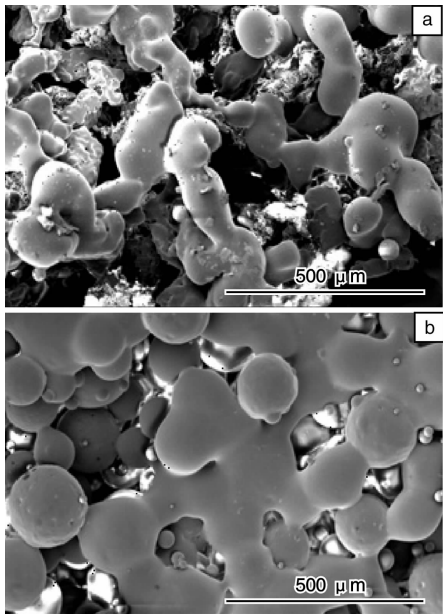


图 8 利用不规则 PDLLA 粉末材料 (a) 和 PDLLA 微球材料 (b) 进行 SLS 制造的支架的 SEM 照片

Fig. 8 SEM micrographs of scaffolds fabricated by using irregular PDLLA powders (a) and PDLLA microspheres (b)

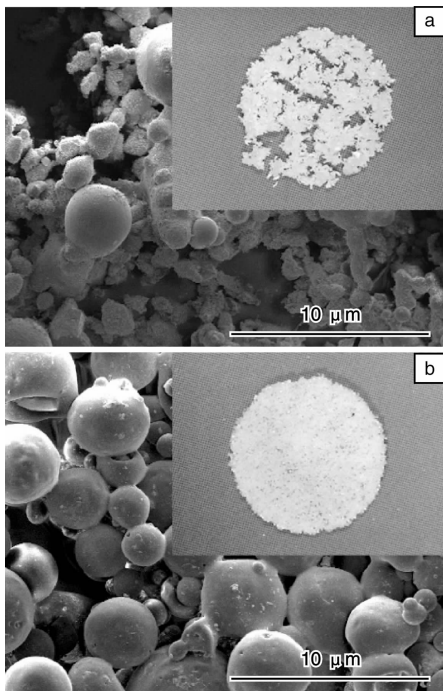


图 9 利用机械混合 PDLLA/HA 材料 (a) 和 PDLLA/HA 复合微球材料 (b) 进行 SLS 制造的支架的 SEM 照片

Fig. 9 SEM micrographs of scaffolds fabricated by using mechanically blended PDLLA/HA (a) and PDLLA/HA composite microspheres (b)

表 1 PDLLA 微球 (粒径 100 ~ 200 μm) 在不同烧结参数下的烧结现象

Table 1 Sintering phenomena of PDLLA microspheres (particle diameter: 100 ~ 200 μm) under different sintering parameters

Particle diameter	Scanning speed /Laser power	Scaffold shaping	Stability of scaffold structure	Boder crimping
100 ~ 200 μm	5 080 mm · s ⁻¹ /15 W			
	5 080 mm · s ⁻¹ /20 W	✓		
	5 080 mm · s ⁻¹ /30 W	✓	✓	
	5 080 mm · s ⁻¹ /40 W	✓	✓	✓
	5 080 mm · s ⁻¹ /50 W	✓	✓	✓
	2 540 mm · s ⁻¹ /10 W			
	2 540 mm · s ⁻¹ /15 W	✓		
	2 540 mm · s ⁻¹ /20 W	✓	✓	
	2 540 mm · s ⁻¹ /30 W	✓	✓	✓
	2 540 mm · s ⁻¹ /40 W	✓	✓	✓
	1 905 mm · s ⁻¹ /10 W			
	1 905 mm · s ⁻¹ /15 W	✓	✓	
	1 905 mm · s ⁻¹ /20 W	✓	✓	✓
	1 905 mm · s ⁻¹ /30 W	✓	✓	✓
	1 270 mm · s ⁻¹ /5 W			
	1 270 mm · s ⁻¹ /10 W	✓		

表 2 PDLLA 微球 (粒径 30 ~ 100 μm) 在不同烧结参数下的烧结现象

Table 2 Sintering phenomena of PDLLA microspheres (particle diameter: 20 ~ 100 μm) under different sintering parameters

Particle diameter	Scanning speed /Laser power	Scaffold shaping	Stability of scaffold structure	Boder crimping
30 ~ 100 μm	5 080 mm · s ⁻¹ /15 W	✓		
	5 080 mm · s ⁻¹ /20 W	✓	✓	
	5 080 mm · s ⁻¹ /30 W	✓	✓	✓
	2 540 mm · s ⁻¹ /10 W	✓		
	2 540 mm · s ⁻¹ /15 W	✓	✓	
	2 540 mm · s ⁻¹ /20 W	✓	✓	✓
	1 905 mm · s ⁻¹ /10 W	✓		
	1 905 mm · s ⁻¹ /15 W	✓	✓	✓
	1 905 mm · s ⁻¹ /20 W	✓	✓	✓
	1 270 mm · s ⁻¹ /5 W			
	1 270 mm · s ⁻¹ /10 W	✓	✓	

表 3 PDLLA 微球 (粒径 <30 μm) 在不同烧结参数下的烧结现象
Table 3 Sintering phenomena of PDLLA microspheres (particle diameter <30 μm) under different sintering parameters

Particle diameter	Scanning speed /Laser power	Scaffold shaping	Stability of scaffold structure	Boder crimping
<30 μm	5 080 mm · s ⁻¹ /10 W	✓		
	5 080 mm · s ⁻¹ /15 W	✓	✓	
	5 080 mm · s ⁻¹ /20 W	✓	✓	✓
	2 540 mm · s ⁻¹ /10 W	✓		
	2 540 mm · s ⁻¹ /15 W	✓	✓	✓
	2 540 mm · s ⁻¹ /20 W	✓	✓	✓
	1 905 mm · s ⁻¹ /5 W	✓		
	1 905 mm · s ⁻¹ /10 W	✓	✓	
	1 905 mm · s ⁻¹ /15 W	✓	✓	✓
	1 270 mm · s ⁻¹ /5 W	✓		
	1 270 mm · s ⁻¹ /10 W	✓	✓	✓
	1 270 mm · s ⁻¹ /15 W	✓	✓	✓

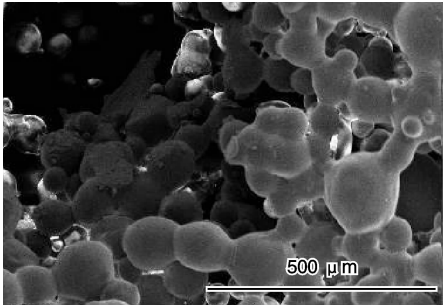


图 10 利用 SLS 技术制造的组织工程支架材料上的微观孔结构
Fig. 10 Microporous structure of tissue engineering scaffold fabricated by SLS

华中科技大学课题组利用我国“虚拟数字人男 1 号”数据，制造出可供组织培养的组织工程人耳、人鼻等复杂结构器官支架(图 11)，这一进展为我们利用医学数字人数据和技术发展组织器官修复支架提供了新借鉴。

目前，利用三维细胞打印技术构建均一组分组织工程支架的研究已经取得了一定进展，但是构建具有复杂形状及结构的细胞/材料复合组织工程支架材料还有待突破。组织工程支架微纳制造领域的研究将进一步与虚拟数字人技术、微球技术深度融合，利用快速原型制造技术的层叠加工特征，发展适用于特定待修复部位的个性化、多组分组织工程支架材料(如叠层梯度复合支架材料)的设计和制造，这也将成为组织器官工程支架材料数字化制造的新趋势之一。

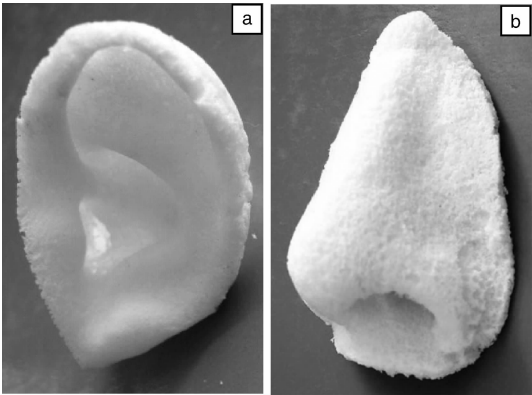


图 11 基于虚拟数字人数据制造的组织工程人工耳(a)和组织工程人工鼻(b)
Fig. 11 tissue engineering artificial ear (a) and tissue engineering artificial nose (b) fabricated according to digital human data

5 关于发展我国组织工程材料数字化微纳制造新技术的建议

根据当前微纳制造技术发展现状和生物医用材料的临床应用需求，我国近中期组织工程数字化微纳制造新技术发展应着重于以下几个方面。

- (1)结合现有纳米生物材料制造领域的研究积累，研究和发展组织工程材料微纳米制造的基础及关键共性技术，为实现个性化组织修复及产品的规模和标准化制造提供技术支撑。
- (2)通过微纳制造技术改进传统生物材料工艺，显著提高目前临床上现有和已经应用的骨、软骨替代材料与组织工程修复材料的制造精度和质量。
- (3)结合虚拟数字人技术、快速原型制造技术等前沿数字化技术，力求在复杂器官的数字化设计和微纳制造(如孔及血管网络化)上获得突破。

参考文献 References

[1] Hollister S J. Porous Scaffold Design for Tissue Engineering [J]. *Nature Materials*, 2005(4): 518 - 524.

[2] Park H, Cannizzaro C, Vunjak-Novakovic G, *et al.* Nanofabrication and Microfabrication of Functional Materials for Tissue Engineering [J]. *Tissue Engineering*, 2007, 13 (8): 1 867 - 1 877.

[3] Lu Y, Chen S C. Micro and Nano-Fabrication of Biodegradable Polymers for Drug Delivery [J]. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2004, 56: 1 621 - 1 633.

[4] Leong K F, Cheah C M, Chua C K. Solid Free Form Fabrication of Three-Dimensional Scaffolds for Engineering Replacement Tissues and Organs [J]. *Biomaterials*, 2003, 24(13): 2 363 - 2 378.

[5] Yeong W Y, Chua C K, Leong K F, *et al.* Rapid Prototyping in

- Tissue Engineering: Challenges and Potential [J]. *Trends in Biotechnology*, 2004, 22(12): 643–652.
- [6] Wan Y, Cao X Y, Zhang S M, *et al.* Fibrous Poly(Chitosan-G-DL-Lactic Acid) Scaffolds Prepared via Electro-Wet-Spinning [J]. *Acta Biomaterialia*, 2008, 4(4): 876–886.
- [7] Zhang Shengmin(张胜民). *A Gradient Multilayer Composite Scaffold Based on Biomimetic Structure and the Preparation Method of the Same*(一种基于仿生结构的叠层梯度复合支架材料及其制备方法): CN ZL200610124909.3 [P]. 2008–10–01.
- [8] Zhang Shengmin(张胜民). *Preparation of Nano-Apatite by a Dialysis Method*(透析法制备纳米磷灰石): CN ZL200610018593.X [P]. 2007–08–29.
- [9] Zhang Shengmin(张胜民), Qiu Zhihua(仇志烨). *Production Apparatus for Preparing Ca-P Biomaterials by Purification Method of Dialysis and Separation*(透析分离纯化法制备钙磷生物材料的生产装置): CN 200710051993.5 [P]. 2009–11–04.
- [10] Matsumoto T, Okazaki M, Inoue M, *et al.* Hydroxyapatite Particles as a Controlled Release Carrier of Protein [J]. *Biomaterials*, 2004, 25(17): 3 807–3 812.
- [11] Laurencin C T, Attawia M A, Lu L Q, *et al.* Poly(Lactide-Co-Glycolide)/Hydroxyapatite Delivery of BMP-2-Producing Cells: a Regional Gene Therapy Approach to Bone Regeneration [J]. *Biomaterials*, 2001, 22(11): 1 271–1 277.
- [12] Liu J, Jiang Z Z, Zhang S M, *et al.* Poly(ω -PentadecalAcetone-Co-Butylene-Co-Succinate) Nanoparticles as Biodegradable Carriers for Camptothecin Delivery [J]. *Biomaterials*, 2009, 30(29): 5 707–5 719.
- [13] Liu J, Zhang S M, Chen P P, *et al.* Controlled Release of Insulin from PLGA Nanoparticles Embedded within PVA Hydrogels [J]. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2007, 18(11): 2 205–2 210.
- [14] Liu J, Qiu Z Y, Wang S Q, *et al.* A Modified Double-Emulsion Method for the Preparation of Daunorubicin-Loaded Polymeric Nanoparticle with Enhanced in Vitro Anti-Tumor Activity [J]. *Biomedical Materials*, 2010, 5(6): 065 002.
- [15] Zhang Shengmin(张胜民), Liu Jie(刘杰), Wang Yifan(王一帆). *Degradable Daunorubicin-Loaded Polymeric Nanospheres and the Preparation Method Thereof*(可降解聚合物载柔红霉素纳米微球及其制备方法): CN ZL200610125367.1 [P]. 2009–06–24.
- [16] Wang J L, Zhou W, Zhang S M, *et al.* Collagen/Silk Fibroin Bi-Template-Induced Biomimetic Bone-Like Substitutes [J]. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, DOI: 10.1002/jbm.a.32 602.
- [17] Yana Y N, Wang X H, Pan Y Q, *et al.* Fabrication of Viable Tissue-Engineered Constructs with 3D Cell-Assembly Technique [J]. *Biomaterials*, 2005, 26(29): 5 864–5 871.
- [18] Tan K H, Chua C K, Leong K F, *et al.* Scaffold Development Using Selective Laser Sintering of Polyetheretherketone-Hydroxyapatite Biocomposite blends [J]. *Biomaterials*, 2003, 24: 3 115–3 123.
- [19] Chua C K, Leong K F, Tan K H, *et al.* Development of Tissue Scaffolds Using Selective Laser Sintering of Polyvinyl Alcohol/Hydroxyapatite Biocomposite for Craniofacial and Joint Defects [J]. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2004, 15(10): 1 113–1 121.
- [20] Williams J M, Adewunmi A, Schek R M, *et al.* Bone Tissue Engineering Using Polycaprolactone Scaffolds Fabricated via Selective Laser Sintering [J]. *Biomaterials*, 2005, 26(23): 4 817–4 827.
- [21] Wiria F E, Leong K F, Chua C K, *et al.* Poly- ϵ -Caprolactone/Hydroxyapatite for Tissue Engineering Scaffold Fabrication via Selective Laser Sintering [J]. *Acta Biomaterialia*, 2007, 3(1): 1–12.
- [22] Zhou J J, Zhang S M, Qiu Z Y, *et al.* Scaffold of Poly(D, L-lactide)/Nano-Hydroxyapatite Microspheres for Bone Defects via Selective Laser Sintering [C]. 8th World Biomaterials Congress, Amsterdam; the Editorial Committee of This Proceeding, 2008.
- [23] Zhou W Y, Lee S H, Wang M, *et al.* Selective Laser Sintering of Porous Tissue Engineering Scaffolds from Poly(L-Lactide)/Carbonated Hydroxyapatite Nano Composite Microspheres [J]. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2008, 19(7): 2 535–2 540.
- [24] Zhang Shengmin(张胜民), Zhou Jiaojiao(周娇娇), Qiu Zhiye(仇志烨). *A method for preparing tissue engineering scaffold via selective laser sintering by using macromolecular microspheres*(用高分子微球进行选择激光烧结的组织支架的制造方法): CN 200710053225.3 [P], 2008–3–12.

更正

2011 年《中国材料进展》第 2 期 P44 刊登的名为《可降解医用镁基生物材料的研究进展》一文,在出版前请作者审核清样,作者对文章进行修改后,由于我们的疏漏,出版时只修改了作者改动的文字,遗漏了作者在“5.1 开发高纯镁合金和新合金”一栏中修改的图 5 及新增的图 6, 7; 现原文中图 6, 7 应该为图 8, 9, 位置位于“5.4 氯化物的化学合成处理”一栏中。修改后文章详情请见 2011 年第 2 期电子版。在此谨向文章作者袁广银老师致以我们诚挚的歉意。