

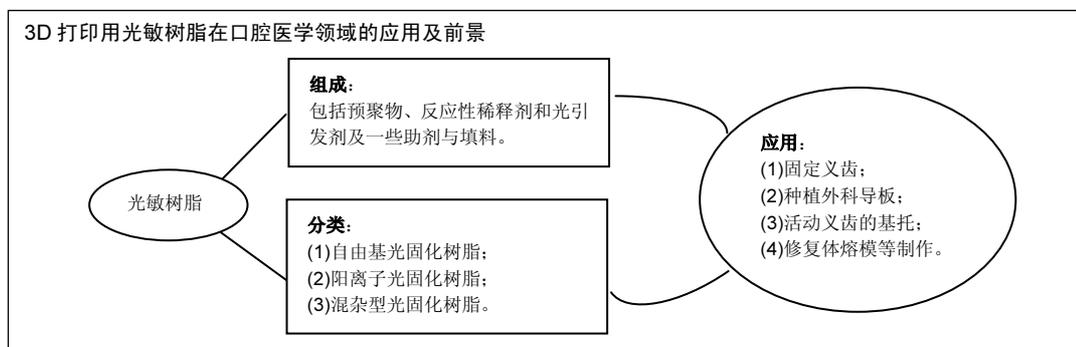
3D打印用光敏树脂材料及其在口腔医学领域的应用

朱丽莎, 陈宇明, 李鹤飞, 康宏(兰州大学口腔医学院, 甘肃省兰州市 730000)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.0078

ORCID: 0000-0002-9423-7222(朱丽莎)

文章快速阅读:



朱丽莎, 女, 1995年生, 安徽省宿州市人, 汉族, 兰州大学口腔医学院本科在读。

并列第一作者: 陈宇明, 男, 1995年生, 甘肃酒泉市人, 汉族, 兰州大学口腔医学院本科在读。

通讯作者: 康宏, 博士, 教授, 兰州大学口腔医学院, 甘肃省兰州市 730000

中图分类号:R318
文献标识码:A
稿件接受: 2017-09-04



文题释义:

光敏树脂: 即光固化树脂、UV树脂, 其作用机制是: 光引发剂在吸收适当能量的光后, 形成某一激发态, 若该激发态的能量大于键断裂所需要的能量, 即可生成初级活性种自由基或阳离子, 活化单体和活性齐聚物, 从而发生交联反应生成高分子固化物。

摘要

背景: 近年来, 数字化技术的应用是口腔医学领域的一大趋势, 以光敏树脂为材料的3D打印技术在口腔医学正畸、修复等方向的应用显得尤为关键。

目的: 综述3D打印用光敏树脂的组成、商业化各大系列及其在口腔医学领域的应用及前景。

方法: 以“3D printing, photosensitive resin, dentistry”为关键词检索PubMed数据库, 以“3D打印, 光敏树脂, 口腔医学”为关键词检索CNKI数据库, 检索1991至2016年关于3D打印技术发展、3D打印用光敏树脂分类与组成及3D打印用光敏树脂在口腔领域应用进展的研究。

结果与结论: 3D打印技术可实现数据的可视化, 具有个性化设计打印、小批量快速生产、高效、自由成型制造、易制造复杂造型产品的优点, 在各个领域得到快速发展, 以光敏树脂为原料的光固化快速成型技术是其中应用最为广泛的一种工艺。3D打印用光敏树脂可根据它的组成、商业化各大系列进行分类。目前3D打印用光敏树脂的发展, 满足了口腔医学领域对个性化设计的需求, 在口腔正畸、修复、种植、内科等领域得到快速发展, 可用于固定义齿、种植外科导板、活动义齿的基托及修复体熔模等制作。随着材料种类的不断拓展、材料性能逐渐的提升, 数字化口腔将成为未来口腔领域的一大趋势。

关键词:

光敏树脂; 生物材料; 3D打印; 快速成型技术; 个性化设计; 材料; 口腔医学

主题词:

口腔医学; 综述; 组织工程

基金资助:

兰州大学国家级大学生创新创业训练计划项目(201710730159)

Photosensitive resin used for 3D printing and its application in dentistry

Zhu Li-sha, Chen Yu-ming, Li He-fei, Kang Hong (Stomatology School of Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu Province, China)

Abstract

BACKGROUND: Nowadays, digitalization has become a major trend in the field of dentistry. It is highly important to apply 3D printing technology with the material of photosensitive resin to orthodontics, prosthodontics and so on.

OBJECTIVE: To review the composition of photosensitive resin for 3D printing and its main commercial series, and to discuss about applications and prospects of photosensitive resin in the field of dentistry.

METHODS: Using "3D printing, digitalization, photosensitive resin, dentistry" as key words in English and Chinese, the authors searched the database PubMed and CNKI, respectively, for articles addressing the development of 3D printing technology, classification and composition of photosensitive resin as well as the progress and application of photosensitive resin in the field of dentistry over the past 15 years (1991-2016).

RESULTS AND CONCLUSION: Because of achieving the visualization of data, having advantages such as

Zhu Li-sha, Stomatology School of Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu Province, China

Chen Yu-ming, Stomatology School of Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu Province, China

Zhu Li-sha and Chen Yu-ming contributed equally to this work.

Corresponding author: Kang Hong, M.D., Professor, Stomatology School of Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu Province, China

personalized design printing, fast small batch production, efficient and free molding manufacturing and being easy to manufacture complex modeling products, 3D printing technology has been developed rapidly in various areas. Light-curing rapid prototyping technology (Stereo Lithography Apparatus, SLA), based on photosensitive resin, is one of the most widely used technological processes of 3D printing. Photosensitive resin for 3D printing can be classified by composition and the main commercial series. At present, the development of photosensitive resin for 3D printing meets the demand of personalized design in the field of dentistry. It has been developed rapidly in orthodontics, prosthodontics, oral implantology, and oral internal medicine. It can be used in fixed denture, implanted surgical guide, base for removable denture and fused model manufacture. With the continuous expansion of the types of materials and improvement of material performance, digital dentistry will become a major trend in the future.

Subject headings: Oral Medicine; Review; Tissue Engineering

Funding: the National Innovation and Entrepreneurship Action Plan Project of Lanzhou University, No. 201710730159

0 引言 Introduction

近年来, 数字化技术得到快速发展, 其中3D打印技术成为一个热门话题。3D打印技术又称为“增材制造技术”或“快速成型技术”, 是通过计算机辅助技术(computer aided design, CAD)设计数据, 采取逐层累加原料的方法制造目标产品的技术, 相对传统的减材技术, 是一种“自上而下”材料累加的制造方法^[1-2], 较减材技术在所用材料和几何构建上更具灵活性^[3]。目前应用较多的3D打印技术按照其制造方式的原理的不同可分为光固化快速成型、熔融沉积式、选择性激光烧结、分层实体制造、电子束自由成形制造及喷墨打印技术等^[4]。与传统的制造技术相比, 3D打印技术实现数据的可视化, 具有个性化设计打印、小批量生产快速、高效、自由成形制造, 容易制造复杂造型产品的优点, 在各个领域的应用得到快速的增长。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 以“3D printing, photosensitive resin, dentistry”为关键词检索PubMed 数据库, 以“3D打印, 光敏树脂, 口腔医学”为关键词检索CNKI数据库, 检索1991至2016年关于3D打印技术发展、3D打印用光敏树脂分类与组成及3D打印用光敏树脂在口腔领域应用进展的研究。

1.2 纳入与排除标准

纳入标准: 涉及3D打印技术的文章; 涉及光敏树脂材料种类及组成的文章; 涉及3D打印用树脂材料在口腔医学各领域应用的文章。

排除标准: 重复性研究。

1.3 数据提取 共检索到116篇文献, 研究内容由3人独立提取并通过讨论解决分歧, 按入选标准筛选, 排除与研究目的相关性差及内容陈旧、重复的文献69篇, 最终共纳入47篇文献进行综述。

1.4 质量评价 符合纳入标准的47篇文献中, 文献[1-5]探讨了3D打印技术的研究及发展, 文献[6-25]就3D打印用光敏树脂的组成及不同公司研究系列的分类, 文献[26-47]探讨了3D打印用光敏树脂在口腔医学领域的应用。

2 结果 Results

2.1 3D打印材料 打印材料根据打印方法的不同, 特点及具体应用场合不同而多种多样, 主要包括有机材料和无机材料两大类。前者主要包括一些工程塑料、光敏树

脂、橡胶类及高分子凝胶等, 后者主要包括金属、陶瓷及石膏等^[5]。随着3D打印技术在医学领域应用范围的拓展, 生物组织工程材料及细胞也逐渐应用于3D打印技术之中。但就目前的3D打印技术进展而言, 光固化立体成形是3D打印技术中发展最早、最成熟、应用最广泛的技术, 因此光敏树脂材料逐渐成为了3D打印技术研究的一个热点, 同时也是该工艺深入发展和应用的一个瓶颈^[6]。文章将重点阐述3D打印光敏材料的种类及其在口腔医学领域的应用发展。

2.2 3D打印用光敏树脂 3D打印光敏树脂即光固化树脂、UV树脂, 其作用机制是: 光引发剂在吸收适当能量的光后, 形成某一激发态, 若该激发态的能量大于键断裂所需要的能量, 即可生成初级活性种自由基或阳离子, 活化单体和活性齐聚物, 从而发生交联反应生成高分子固化物^[7-8]。依据其成型的方式不同可分为光固化快速成型、数字光处理、三维打印技术3种方式, 其中光固化快速成型技术在整个3D打印应用的比例中约占75%^[9], 光敏树脂又是光固化快速成型技术3D打印机的主要材料。能够得到广泛应用的光敏树脂, 对其性能要求的主要体现在液态树脂稳定性好、黏度低、固化速度快、一次性固化程度高、固化收缩率小、机械性能好、透射深度要求适中等方面^[10]。目前, 研究3D打印用光敏树脂材料的公司主要有美国3DSystem公司、以色列Object公司、Acroflex公司、Huntsman公司、DSM公司、VANTICO公司, 日本的C-MET公司、Denken公司、Meiko公司和瑞士的Ciba公司等^[11]。

2.3 光敏树脂的组成 光敏树脂材料的组成包括预聚物、反应性稀释剂和光引发剂及一些助剂与填料^[12]。预聚体作为光敏树脂的主要组分, 在一定程度上决定了打印产品的力学性能。反应性稀释剂可调节树脂黏度, 控制固化物交联密度。良好的光引发剂具有引发效率高、热稳定性好、无暗反应、在单体和预聚物中具有较好溶解性、经过光照后黄变少或者无黄变、低毒环保等特性^[13-14]。助剂及填料则主要包括光敏剂、消泡剂、流平剂、无机粒子、高聚物。早期应用于光固化快速成型技术光敏树脂体系中的预聚物及稀释剂主要为丙烯酸酯类物质, 但其具有光固化时收缩率大、成型后器件变形严重、机械性能及耐温性差、实用价值小等缺点。故目前为丙烯酸酯和环氧化合物为主体的混合物, 自由基和阳离子光引发剂双重引发构成的物质体系所取代^[15]。

2.4 光敏树脂的分类 光敏树脂根据引发剂引发原理, 可将其分为3类^[12]: 自由基光固化树脂、阳离子光固化树脂和混杂型光固化树脂。同时, 光敏树脂根据商业化后的生产系列不同, 可以分为Vantico公司的SL系列、3D Systems公司的ACCURA系列、DSM公司Somos Next材料、Somos 11122材料、Somos 19120材料和环氧树脂、Ciba公司生产的CibatoolSL系列^[9]。

2.4.1 根据引发剂引发原理分类

自由基光敏树脂: 自由基体系以光引发剂的光激发, 进而产生自由基, 引发活性单体与预聚物交联聚合为基础的体系。用于自由基光固化的低聚物主要是各类丙烯酸树脂, 其中最常见的是环氧丙烯酸树脂、聚氨酯丙烯酸树脂, 均含不饱和双键, 如丙烯酰氧基、甲基丙烯酰氧基、乙烯基、烯丙基等^[16]。常用的活性稀释剂有N-乙烯基吡咯烷酮、1, 6-己二醇二丙烯酸酯和三丙二醇二丙烯酸酯^[17]。自由基光敏树脂的优点有成本低、固化速度快、韧性好、黏度低等。但具有固化时表面具有氧阻聚收缩率大, 打印产品翘曲变形严重, 反应固化速率较低, 精度低需二次固化的缺点。

阳离子型光敏树脂: 阳离子体系的预聚体主要是以环氧化合物和乙烯基醚为主, 在阳离子光引发剂的作用下, 发生开环聚合反应^[16]。而引发剂激发所产生的强质子酸可催化加速聚合, 使树脂发生固化。阳离子型光敏树脂的优势在于固化体积收缩率小, 反应程度高, 成型后无需二次固化, 不受氧的阻聚作用。故利用阳离子型光敏树脂制造的产品尺寸稳定, 力学性能优异, 精度高。但该型树脂固化反应速率低, 黏度高。其中乙烯基醚类临界曝光量高, 固化速度慢; 环氧类的固化物脆性大。

自由基/阳离子混杂型光敏树脂: 混杂型体系(丙烯酸脂-环氧树脂混杂体系)则混合了上述两种固化原理, 由阳离子引发剂和自由基引发剂共同发挥作用。混杂型光敏树脂主要由丙烯酸酯、乙烯基醚类和环氧树脂等预聚体组成, 被称为自由基-阳离子混杂光固化树脂体系。丙烯酸脂光固化诱导期短、韧性好、交联密度低, 但固化收缩率大、附着力较差^[18]; 而阳离子光固化诱导期较长、活性中间体寿命长、开环聚合体积收缩率小、附着力好。这两种材料的特性使得自由基-阳离子杂化光固化体系在光引发、体积变化互补及性能调节方面相互协调, 具有成本低、收缩率小, 固化结果好的特性。

2.4.2 根据商业化后的生产系列分类

Vantico公司的SL系列: Vantico公司的SL系列中的材料呈现乳白色, 质感好, 强度高, 但韧性较小, 小的物品要注意容易断裂^[19]。**表1**是各种SL系列树脂系列的性能比较。

3D Systems公司的ACCURA系列: 该系列光敏树脂主要有用于SLA Viper si2系统和SLA7000系统的SI10、SI20、SI30、SI40 Nd等^[19]。SI10强度较高、耐潮性好; SI20抗磨损性好; SI30具有延展性高且硬度适中, 适用于精细制作工艺; SI40 Nd强度较好, 而且耐

高温, 又有韧性。**表2**是AVVURA系列树脂的性能分析。**DSM公司光敏树脂材料: Somos Next**材料颜色为白色, 韧性好、精度高, 基本上已达到选择性激光烧结技术制作所需尼龙材料的性能要求。由Somos Next材料制作的产品做工精致, 尺寸精确, 其刚度和韧性均为迄今最优, 在汽车、家电、电子消费品等领域得到广泛应用^[21], 市场价格每千克800-880元。

Somos 11122材料外观透明, 防水性佳, 尺寸稳定性高, 具有多种类似工程塑料的特性。DSM Somos的WaterShed XC树脂自推出就以其透明性好、耐久性和高的尺寸稳定性快速成为SL市场中的畅销产品。目前, WaterShed XC 11122树脂已通过美国药典标准USP Class VI的检验, 广泛用于医疗器材领域中^[22], 市场价格每千克800-880元。

Somos 19120材料为粉红色外观, 主要用于铸造, 可直接代替精密铸造的蜡膜原型, 降低了开发模具的风险, 生产周期缩短, 拥有精度高, 留灰烬少等特点^[24]。市场价格每千克2 000元。

Somos 8000这种材料打印的物件表面十分光滑, 可与注塑件媲美, 强度接近ABS, 有一定韧性, 尺寸精度高, 可打印出微小细节。

部分DSM公司光敏树脂材料的性能分析^[21, 23]

Somos Next 系列树脂性能	Somos11122 系列树脂性能	Somos8000 系列树脂性能
黏度 1 000 cps	黏度 260 cps	硬度 83 Shore D
密度 1.17 g/cm ³	密度 1.12 g/cm ³	拉伸强度 27-31 ksi
聚合度 5.8 mils	聚合度 6.5 mils	拉伸模量 2 189-2 395 ksi
弹性模量 12 mJ/cm ²	弹性模量 11.5 mJ/cm ²	弯曲强度 69-74 ksi
拉伸强度 6.12 ksi	拉伸强度 7.3 ksi	弯曲模量 2 692-2 775 ksi
拉伸模量 352.44 ksi	拉伸模量 401.03 ksi	断裂延伸率 12%-20%
弯曲强度 10.08 ksi	弯曲强度 9.95 ksi	密度 1.16 g/cm ³
弯曲模量 358.24 ksi	弯曲模量 319.81 ksi	玻璃化温度 143.6 F°
断裂延伸率 9%	断裂延伸率 15.5%	热变形温度 125.6 F°@66psi
冲击韧性 0.93 ft-lb/in	冲击韧性 0.47 ft-lb/in	冲击韧性 58-70 J/m
硬度 82 Shore D	硬度 0 Shore D	
玻璃化温度 113 F°	玻璃化温度 108.5 F°	
热变形温度 132.8F°@66psi	热变形温度 122.36F°@66psi	

Ciba公司生产的CibatoolSL系列: CibatoolSL系列有以下新品种: 用于SLA-3500的CibatoolSL-5510可达到较好的成形速度、防潮性能及成形精度, 适用于潮湿炎热的环境, 如水下作业条件^[25]。

2.5 3D打印用光敏树脂的评价 阳离子体系光固化速度慢, 固化样品表面出现细小皱纹, 并且厚度不均, 轮廓不规则, 尺寸精度差; 自由基体系固化速度快, 但固化时翘曲变形严重, 尺寸精度低, 不能单独用于光固化快

表 1 Vantico 公司 SL 系列树脂性能的分析^[20]

指标	型号						
	SL5195	SL5510	SL5530	SL7510	SL7540	SL7560	SL Y-C9100
外观特性	透明光亮	透明光亮	透明光亮	透明光亮	透明光亮	白色	透明
密度(g/cm ³)	1.16	1.13	1.19	1.17	1.14	1.18	1.12
黏度 cps ^① (@30 °C)	180	180	210	325	279	200	1 090
固化深度(mils ^②)	5.2	4.1	5.4	5.5	6	5.2	9.4
临界照射强度(mJ/cm ²)	13.1	11.4	8.9	10.9	8.7	5.4	8.4
肖氏硬度	83	86	88	87	79	86	75
抗拉强度(MPa)	46.5	77	56-61	44	38-39	42-46	45
拉伸模量(MPa)	2 090	3 296	2 889-3 114	2 206	1 538-1 662	2 400-2 600	1 315
弯曲强度(MPa)	49.3	99	63-87	82	48-52	83-104	
弯曲模量(MPa)	1 628	3 054	2 620-3 240	2 455	1 372-1 441	2 400-2 600	
延伸率(%)	11	5.4	3.8-4.4	13.7	21.2-22.4	6-15	7
冲击韧性(J/m ²)	54	27	21	32	38.4-45.9	28-44	
玻璃化温度 Tg(°C)	67-82	68	79	63	57	60	52
热胀率(10 ⁻⁶ /°C)	108(T<Tg) 189(T>Tg)	84(T<Tg) 182(T>Tg)	76(T<Tg) 152(T>Tg)		181(T<Tg)		
热传导率(W/m°C)	0.182	0.181	0.173	0.175	0.159		
固化后密度(g/cm ³)	1.18	1.23	1.25		1.18	1.22	1.18

表 2 3D Systems 公司 AVVURA 系列树脂的性能分析^[20]

指标	型号					
	AUCCRA 10	AUCCRA 40Nd	AUCCRA 50	AUCCRA 60	AUCCRA BLUESTONE	AUCCRA ClearVue
外观	透明光亮	透明光亮	非透明自然色或灰色	透明光亮	非透明蓝色	透明光亮
固化前后密度(g/cm ³)	1.16、1.21	1.16/1.19	1.14/1.21	1.13/1.21	1.70/1.78	1.1/1.17
黏度 cps ^① (@30 °C)	485	485	600	150-180	1 200-1 800	235-260
固化深度(mils ^②)	6.3-6.9	6.6-6.8	4.5	6.3	4.1	4.1
临界照射强度(mJ/cm ²)	13.8-17.7	20.1-20.7	9	7.6	6.9	6.1
抗拉强度(MPa)	62-76	57-61	48-50	58-68	66-68	46-53
拉伸模量(MPa)	3 048-3 532	2 628-3 321	2 480-2 690	2 690-3 100	7 600-11-700	2 270-2 640
弯曲强度(MPa)	89-115	92.8-97	72-77	87-101	124-154	72-84
弯曲模量(MPa)	2 827-3 186	2 618-3 044	2 210-2 340	2 700-3 000	8 300-9 800	1 980-2 310
延伸率(%)	3.1-5.6	4.8-5.1	5.3-15	5-13	1.4-2.4	1.4-2.4
冲击韧性(J/m ²)	14.9-27.7	22.3-29.9	16.5-28.1	15-25	13-17	40-58
玻璃化温度 Tg(°C)	62	62-65.6	62	58	71-83	62
热胀率(10 ⁻⁶ /°C)	64/170	87/187	73/164	71/153	33-44/81-98	122/155
(T<Tg)/(T>Tg)						
肖氏硬度	86	84	86	86	92	80

速成型。阳离子/自由基固化样品外观平整、光滑, 无明显翘曲变形, 层与层之间黏结较强, 尺寸精度高, 冲击强度低于自由基体系, 与DSM公司的Somos14120相当。阳离子/自由基体系固化样品拉伸强度和断裂伸长率明显优于阳离子树脂体系, 体积收缩率远低于自由基体系; 硬度与阳离子体系基本相同。混杂固化样品较自由基和阳离子体系具有更宽的阻尼平台和更高的损耗因子, 阻尼性能较好, 更适用于光固化快速成型。

目前, 各大商业化系列的光敏树脂制作工被国外的几大公司垄断, 例如德国EOS公司、美国的3D system, Huntsman、日本CMET公司等, 应用较为广泛的是国外的光固化快速成型系列, DSM公司的Somos、Huntsman SLP系列等, 其中韧性好的光敏树脂是DMXTMSL的SL100, 固化收缩率低的光敏树脂是18系列(18120、18420、18920), 透明的光敏材料有Watershed11120,

白色的有Somos14120, 目前国内外应用最广泛的光固化树脂是Somos14120^[9]。国内研究光敏树脂的机构主要是清华大学、西安交通大学、南京理工大学、华中科技大学、中科院沈阳自动化所等, 国内的研究现状问题主要在于产品品种单一, 未形成系列化产品, 研究不够深入系统。而随着时代的发展, 3D打印在国内的各个领域的广泛应用, 光敏树脂材料的国有化将成为了未来的一大趋势, 材料种类也必将随着应用领域的拓展逐渐的丰富。

2.6 3D打印光敏树脂在口腔医学领域的应用 3D打印用光敏树脂的发展, 满足口腔医学领域对个性化设计的需求, 在口腔正畸、修复、种植、内科等领域得到快速发展, 可用于固定义齿、种植外科导板、活动义齿的基托及修复体熔模等制作^[26]。

2.6.1 光敏树脂在正畸学的应用 光固化树脂材料在

口腔正畸领域主要应用于数字化模型、隐形矫治器等制作。利用计算机技术及三维扫描技术获得精确的数字化模型,同时运用快速成型技术让虚拟的正畸模型变成实体模型,实现对模型的精确扫描和虚拟重现,完全达到临床的诊断和需要^[27]。Kasparova团队^[28]对石膏模型进行扫描获取数字模型,并将石膏模型与数字化模型进行对比,得出3D打印的数字模型比石膏模型更精确,更快速,将来可以取代传统的石膏模型的结论。刘筠等^[29]利用OrthoDS软件及solidworks软件进行计算机三维重建系统形成数字化模型和托槽,利用快速成型技术光固化工艺将带有数字化托槽的数字化模型导出,制成实际大小的带有托槽的光固化模型。

而数字化隐形矫治器的制作则是基于3D打印数字模型的基础上,进行计算机辅助诊断及设计,模拟牙齿的移动,打印模拟后的牙颌模型,最后利用真空热压膜制作矫治器^[30]。随着3D打印技术的不断成熟,矫治器和模型的打印会更加精确,并且可降低生产成本,具有良好的应用前景。

2.6.2 光敏树脂在修复学的应用 早在20世纪90年代,3D打印光敏树脂就已被应用于口腔修复学。Maeda^[30]在1994年利用3D激光扫描仪和电荷耦合摄像机采集硅橡胶印模及个别托盘制成上下颌印模,并通过光固化树脂技术,制作数字化全口义齿基托。2003年,金树人等^[31]借助计算机数控机床激光扫描系统,三维数字重建金属全冠蜡型,并用激光快速成型机制作磨牙树脂全冠。Williams等^[32]于2004年运用机械手反馈设计及快速原型技术制作获得下颌肯氏III类牙列缺损的树脂支架。诸森阳等^[33]利用光固化快速成型技术完成环氧树脂义齿支架蜡型熔模,为进一步研发中国具有自主知识产权的口腔临床可摘局部义齿修复方面CAD/CAM系统奠定了基础。牛茂等^[34]则利用3DP技术制作可摘局部义齿支架树脂,表明其在牙合支托和连接体适合性良好,而在卡环部位精确度有待提高。王忠东等^[35]利用3D打印技术制作出了个性化桩核,桩核可精密就位,为个性化修复开辟了新的途径。陈炜等^[36]利用CT扫描和激光移位测量法获得了桩核体的数字模型,通过光固化快速成型技术制作出实体桩核。李玥团队^[37]在锥形束CT重建三维模型上进行虚拟手术及3D咬合板设计,并借助光固化技术打印树脂咬合板(图1)。新型打印材料的发明,加之3D打印技术迅速、便捷、准确的特质,3D打印技术在口腔医学领域必将得到更加广泛地应用。

2.6.3 光敏树脂在种植学的应用 由于每个患者的牙槽骨情况不同,对种植的精确性和功能要求也不同,3D打印技术制作的个性化种植导板和种植体应运而生。通过CT扫描,利用软件进行三维模型重建,重建的模型可清晰显示解剖特点并具有重新组装的特点^[38],可根据患者手术部位实际条件,设计出最适合患者的种植导板和种植体^[39],使手术简便和精确。赵雪竹等^[40]通过3D打印技术打印11例与人体1:1比例的树脂仿真颌骨模型,并在模型上进行设计、预手术,完成种植导板,帮助医学生

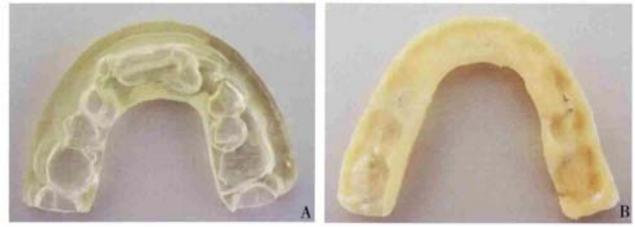


图1 3D打印用光敏树脂制作的咬合板和传统咬合板
图注:图中A为3D打印用光敏树脂制作的咬合板,B为传统咬合板。

完成从理论学习到实际操作的跨越,为口腔种植的临床教学提供帮助。向梅^[41]则利用Mimics10.0, Geomagic studio2012及NX6.0软件成功设计出了数字化的种植导板,并将设计好的数字化种植导板输入3D打印机,应用3D打印机成功打印出种植导板,并与传统种植导板进行精度比较,得出3D打印种植导板制作速度快、精确性较高、节省了时间和费用,优于传统种植导板的结论。

2.6.4 光敏树脂在口腔内科学的应用 Kfir等^[42]遇到1例复杂三类牙内陷的患者,为了保护牙髓的活力,他们通过CT获得牙体根管的解剖,然后制作出树脂模型,在树脂模型上制定手术计划并模拟操作,最终成功在未破坏髓腔情况下填充内陷的空腔。宋颖等^[43]为建出可大批量复制的仿真牙齿模型以替代离体牙,利用显微CT尝试对离体牙进行扫描并对获得的影像数据进行图像分析,然后将数据导入三维重建软件Mimics 10.01软件建立具有不同根管的牙齿模型,并根据根管成型能力测试结果,修饰离体牙三维模型,最后打印出E-Dent光敏树脂牙齿模型,通过这种形态仿真性研究可探讨3D打印牙齿模型在临床操作培训和术前模拟等方面的应用前景。

2.6.5 光敏树脂在口腔颌面外科学的应用 在颌面外科最主要是应用于原型制造、模型外科,由此设计个性化修复体^[44]。医生在术前可以通过1:1的精确复制的模型,更清楚直观地看到整个病变组织;同时,由于颌面部骨骼的不规则,大块金属切削制作颌面部修复体的传统工艺不能保证精确性,3D打印技术的应用不仅获得了更高的精度,使面部形态和功能恢复的较理想,还减轻了金属修复体的质量。可利用液态光敏树脂打印成生物可降解组织工程支架,有学者以光敏分子修饰的PPF为原料,利用光固化快速成型技术制备的支架具有与人松质骨相似的力学性能,同时具有促进成纤维细胞黏附与分化的作用^[45]。上海交通大学第九人民医院利用3D打印的耳廓做支架,结合皮瓣移植修复外耳的动物实验已获得成果^[46]。

3 讨论 Discussion

随着数字化口腔的发展,3D打印技术及光敏树脂材料在口腔修复、正畸、口腔内科,种植等领域都有着广阔的前景,其应用也会加普遍。同时,光固化树脂材料的发展推动着口腔医学的发展,使得口腔医学更加精准,个性化。但目前应用于口腔领域的高分子材料及陶瓷材料有限^[47],树脂材料大多依赖国外进口,国内的光固化树脂材料尚不能满足医学所需。材料发展制约着技术进步,未来

中国3D打印技术在口腔领域的快速发展必定依赖于国产材料的研发。而随着材料种类的不断拓展,材料性能逐渐的提升,数字化口腔将成为未来口腔领域的一大趋势。

作者贡献: 第一作者构思并设计本综述,其他作者共同分析起草文稿,通讯作者指导项目进行与审校论文。

经费支持: 该文章接受了“兰州大学国家级大学生创新创业训练计划项目(201710730159)”的资助。所有作者声明,经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突: 所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

伦理问题: 文章的撰写与编辑修改后文章遵守了《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA 指南)。

文章查重: 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审: 文章经国内小同行外审专家双盲外审,符合本刊发稿宗旨。

作者声明: 朱丽莎、陈宇明对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁,可接受核查。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

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3.0”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。

4 参考文献 References

- [1] 伏欣.国内增材制造(3D打印)技术发展现状与研究趋势[J].中国高新技术企业,2016,23(24):27-28.
- [2] Yeong WY,Chua CK,Leong KF,et al.Rapid prototyping in tissue engineering: challenges and potential.Trends Biotechnol. 2004;22(12):643-652.
- [3] Barazanchi A,Li KC,Al-Amleh B,et al.Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry.J Prosthodont. 2017; 26(2):156-163.
- [4] 张云波,乔雯钰,张鑫鑫,等.3D打印用高分子材料的研究与应用进展[J].上海塑料,2015,43(1):1-5.
- [5] 张胜,徐艳松,孙姗姗,等.3D打印材料的研究及发展现状[J].中国塑料,2016,30(1):7-14.
- [6] 丁云雨.3D打印用光敏树脂的制备及膨胀单体改性光敏树脂[D].青岛科技大学,2016.
- [7] 刘丹丹,王欣,刘甜,等.快速成型光固化树脂用光引发剂的种类与应用[J].精细与专用化学品,2014,22(1):47-50.
- [8] Ibrahim IA,Mohamed FA,Lavernia EJ.Particulate reinforced metal matrix composites-a review.J Mater Sci.1991;26(5):1137-1156.
- [9] 于然,黄伟.3D打印用光敏树脂[A].北京粘接学会.北京粘接学会第二十四届学术年会暨粘接剂、密封胶技术发展研讨会论文集[C].北京粘接学会,2015:5.
- [10] 张恒,许磊,胡振华.光固化3D打印用光敏树脂的研究进展[J].合成树脂及塑料,2015,32(4):81-84.
- [11] 张学军,唐思熠,肇恒跃,等.3D打印技术研究现状和关键技术[J].材料工程,2016,44(2):122-128.
- [12] 陈小文.快速成型光固化树脂体系的研究[D].华南理工大学,2011.
- [13] 何岷洪,宋坤,莫宏斌,等.3D打印光敏树脂的研究进展[J].功能高分子学报,2015,28(1):102-108.
- [14] Pang Z,Ling X.Study on Relative Internal Stress and Shrinkage of Cured Volume for UV-curing Coatings. J Beijing Univ Chem Technol. 1995;22(4):22-25.
- [15] 郭天喜,陈道.用于光固化三维快速成型(SLA)的光敏树脂研究现状与展望[J].杭州师范大学学报(自然科学版),2016,15(2):143-148.
- [16] 张洪.阳离子及混杂光固化树脂体系研究与应用[D].华南理工大学,2013.
- [17] 闵玉勤,王浩仁,黄伟,等.适应3D打印技术的聚合物材料研究进展[J].粘接,2016,37(1):36-41.
- [18] 谢璇.紫外光固化成形用混杂光敏树脂的研制[D].华中科技大学,2004.
- [19] 王延庆,沈竟兴,吴海全.3D打印材料应用和研究现状[J].航空材料学报,2016,36(4):89-98.
- [20] 王延庆.3D打印材料应用和研究现状.2016-11-18. <https://wenku.baidu.com/view/d22bf99bdf5ef7ba0d4a7302768e9951e76eb1.html>.
- [21] 杜宇雷,孙菲菲,原光,等.3D打印材料的发展现状[J].徐州工程学院学报(自然科学版),2014,29(1):20-24.
- [22] 中国3d打印网.Somos Next-3D打印材料.2014-3-10. <http://www.3ddayin.net/3ddayincailliao/resuxingcailliao/5078.html>.
- [23] 中国3d打印网.Somos WaterShed XC 11122-3D打印材料.2014-3-10. <http://www.3ddayin.net/3ddayincailliao/resuxingcailliao/5081.html>.
- [24] 中国3d打印网.ABSplus-3D打印材料.2014-1-7. <http://www.3ddayin.net/3ddayincailliao/resuxingcailliao/5082.html>.
- [25] 马兆允.快速成型工艺用光固化功能性材料的研究[D].南京理工大学,2003.
- [26] Dawood A,Marti BM,Sauret-Jackson V,et al. 3D printing in dentistry.Br Dent J.2015;219(11):521-529.
- [27] 张涛,杨四维,徐晓梅.快速成型技术在口腔正畸中的应用进展[J].现代诊断与治疗,2015,26(1):60-62.
- [28] Kasparova M,Grafova L,Dvorak P,et al. Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models.Biomed Eng Online. 2013;31:12-49.
- [29] 刘筠,郭宏铭.计算机辅助设计制作舌侧托槽间接粘接系统的研究[J].北京口腔医学,2009,17(4):220-222.
- [30] Jiafeng Gu,Jack Shengyu Tang,Brennan Skulski,Henry W. Fields,F. Michael Beck,Allen R. Firestone,Do-Gyoon Kim,Toru Deguchi. Evaluation of Invisalign treatment effectiveness and efficiency compared with conventional fixed appliances using the Peer Assessment Rating index[J]. American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics,2016.
- [31] 金树人,姚月玲,高勃,等.应用快速成型法制作磨牙树脂全冠[J].第四军医大学学报,2003,24(8):700-702.
- [32] Williams RJ,Eggbeer D,Bibb R,et al.A technique for fabricating patterns for removable partial denture.J Prosthet Dent.2004;90(1):85-88.
- [33] 诸森阳,蔡玉惠,戴宁,等.可摘局部义齿铸造支架铸型CAD/CAM 技术的临床初步应用研究[J].口腔医学,2009,29(3):126-129.
- [34] 牛茂,许在俊,李月.基于三位打印技术制作可摘局部义齿支架树脂熔模的适合性研究[J].重庆医学,2015,44(9):1235-1238.
- [35] 王忠东,吴纪楠,凌均荣.应用反求工程和快速成型技术制作个性化桩核的研究//周学东.中国口腔医学年鉴(2008年卷)[M].成都:四川科学技术出版社,2009:50-52.
- [36] 陈炜,李国华,龚振宁等.快速成型制造技术制作个性化桩核的适合性分析[J].中华口腔医学研究杂志(电子版),2011,5(3):47-50.
- [37] 李玥,曾融生,郑广森.3D咬合板的临床应用与精确性评价[J].中国口腔颌面外科杂志,2014,12(4):311-317.
- [38] Torjensen I. New 3D virtual human model aims to transform surgical training.BMJ.2015;351:h6071.
- [39] 戴振宇,张宇,黄文华.3D打印技术在口腔种植领域的应用进展[J].中国医学物理学杂志,2016,33(9):952-954.
- [40] 赵雪阳,唐志辉,许卫华,等.仿真颌骨模型结合牙种植手术导航在口腔种植教学中的应用[J].中国医学教育技术,2016,30(3):313-316.
- [41] 向梅.传统种植导板与3D打印种植导板的设计制作及精确性的分析[D].南方医科大学,2015.
- [42] Kfir A,Telishevsky-Strauss Y,Leitner A, et al. The diagnosis and conservative treatment of a complex type 3 dens invaginatus using cone beam computed tomography (CBCT) and 3D plastic models.Int Endod J.2013;46(3):275-288.
- [43] 宋颖,唐雷,吴补领,等.构建 3D 打印牙齿模型及其形态仿真性研究[J].中国临床解剖学杂志,2016,34(3):298-302.
- [44] 胡敏,谭新颖,廖荣曾,等.3D打印技术在口腔颌面外科领域中的应用进展[J].中国实用口腔科杂志,2014,7(6):335-339.
- [45] Meseguer-Olmo L,Vicente-Ortega V,Alcaraz-Ba os M.In-vivo behavior of Si-hydroxyapatite/ polycaprolactone/DMB scaffolds fabricated by 3D printing. J Biomed Mater Res A.2013;101(7):2038-2048.
- [46] 黄俊辉,刘桂,姚志刚,等.3D打印技术在口腔颌面修复中的应用[J].中华口腔医学研究杂志(电子版),2015,9(3):252-255.
- [47] Alghazzawi TF.Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation.J Prosthodont Res.2016;60(2):72-84.