

直接3D打印隐形矫治器的研究进展

张思佳^{1,2} 卢晓林² 朱秀娟¹

1. 正雅齿科科技(上海)有限公司临床医学系统 上海 201200;

2. 数字医学工程全国重点实验室 生物科学与医学工程学院 东南大学 南京 211102

[摘要] 三维(3D)打印是一种高效的增材制造技术,已用于直接打印口腔正畸隐形矫治器。这一技术能够克服传统热压法带来的材料特性改变、工艺周期长、耗材量大等弊端,实现隐形矫治器的高精度和高效制造,提供温和持久的矫治力。本文介绍隐形正畸领域常见的直接3D打印技术以及用于3D打印隐形矫治器的打印材料,并从制造精度、力学性能、物化性能和生物相容性方面对3D打印隐形矫治器的性能进行分析。随着技术的不断发展,直接3D打印隐形矫治器有望为正畸人群提供更高效率的正畸治疗方案。

[关键词] 3D打印; 隐形矫治器; 正畸; 打印工艺; 力学性能; 生物相容性

[中图分类号] R783.5 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2026636



本文链接

OSID 码

Research progress of directing three-dimensional printing technology in dental clear aligners

Zhang Sijia^{1,2}, Lu Xiaolin², Zhu Xiujuan¹

1. Dept. of Clinical Medicine, Shanghai Smartee Denti-Technology, Shanghai 201200, China; 2. State Key Laboratory of Digital Medical Engineering, School of Biological Science and Medical Engineering, Southeast University, Nanjing 211102, China

Supported by: Jiaxing Nanhu District Science and Technology Plan Project (SQ2025000034)

Correspondence: Zhu Xiujuan, Email: zhuxiujuan@smartee.cn

[Abstract] Three-dimensional (3D) printing, an efficient and advanced additive manufacturing technology, enables the direct fabrication of clear aligners. This approach successfully addresses the limitations of conventional thermocompression methodologies, including the compromising of material properties, extensive production cycles, and substantial material wastage. Direct 3D printing clear aligners can achieve high-precision, rapid manufacturing while delivering gentle and sustained orthodontic forces. In this review, common 3D printing technologies in the field of oral healthcare are introduced; resin materials used for direct 3D printing of clear aligners are examined; and research progresses in terms of manufacturing precision, mechanical performance, physical and chemical properties, and biocompatibility are explored. With the development and innovation of high-performance resins and 3D printing processing technology, 3D printing is expected to provide simplified, efficient, and personalized treatment services to orthodontic patients, thereby introducing new opportunities and advancements to the field of oral medical engineering.

[Key words] three-dimensional printing; clear aligners; orthodontic; printing process; mechanical property; biocompatibility

[收稿日期] 2025-11-21; **[修回日期]** 2026-07-08

[基金项目] 嘉兴市南湖区科技计划项目 (SQ2025000034)

[第一作者] 张思佳, 博士, Email: zsj1307@163.com

[通信作者] 朱秀娟, 研究员, 博士, Email: zhuxiujuan@smartee.cn

随着牙科科学的发展和人们对口腔健康日益增长的关注,隐形矫治器因其美观、方便的优点,成为正畸人群的首选^[1]。目前,主流隐形矫治器的制造仍以传统热压法为主。然而,传统热压法制造工艺材料和加工方式有限,工艺周期长,耗材

量大,会造成大量牙模废弃物。同时,矫治器膜片材料在热压成型过程中会发生特性改变,如矫治器透明度降低、材料机械性能弱化等,导致矫治器的力学性能难以满足临床需求。这些负面因素会影响患者佩戴的美观性、舒适度,难以确保有效的矫治力度^[2],延长矫治周期。因此,亟需寻求更高效、绿色的隐形矫治器制造方法来解决传统热压法的弊端。

3D打印,也称为增材制造,能够逐层制造零件,而不依赖机械加工、成型和减材方法^[3]。将3D打印技术应用到隐形矫治器领域,能够提高矫治器精度,减少工艺流程中的废料,降低生产成本,缩短制作时间^[4]。本文对正畸领域的直接3D打印隐形矫治器的技术以及用于3D打印的材料进行介绍,并从制造精度、力学性能、物化性能和生物相容性方面对3D打印隐形矫治器的性能进行分析。

1 3D打印技术

目前,用于齿科材料的3D打印技术有立体光刻成型(stereolithography, SLA)、数字光处理(digital light processing, DLP)、选择性激光烧结、选择性激光熔化、熔融沉积成型(fused deposition modeling, FDM)等。考虑到隐形矫治器的透明性、牙齿贴合度和力学性能等特性,可用于隐形矫治器的打印技术有SLA、DLP和FDM,以下分别详述其打印工艺。

1.1 SLA

SLA是最早商业化的3D打印技术之一,通过紫外激光逐层固化液态光敏树脂,实现从数字模型到三维实体的成型^[5]。将数字模型切片分割成薄层界面(层厚通常为0.05~0.25 mm),生成激光扫描路径。激光光束按照预设分层截面数据精确扫

描树脂表面,触发光聚合反应,使被扫描区域固化成层。每完成一层,构建平台移动一个层厚高度,重新涂覆液态树脂并确保层厚均匀,激光继续扫描固化新层面。此过程循环往复,逐层累积直至实体模型打印完成。SLA技术的打印精度高,能够通过控制光源强度(100~9 000 mW/cm²)、扫描速度(1~15 m/s)以及树脂单体(丙烯酸酯类、环氧树脂类等)和光引发剂(自由基型或混杂型)的数量等来调整产品性能^[6]。目前SLA技术已应用于临时和永久牙冠、桥等修复体、手术导板、模板和牙科模型复制品的制造^[7]。

1.2 DLP

DLP与SLA相似,在打印流程上同样涉及模型切片、投影固化、平台移动、后固化等环节,但DLP使用投影仪一次性曝光固化整个截面,而非SLA的激光逐点扫描。DLP技术中的数字微镜元件能够将来自光源的光作为单个像素投射到树脂表面,从而触发光聚合固化^[8]。DLP技术通过数字微镜元件控制像素级光源图案,分辨率高,能够实现高精度的面曝光成型,且打印速度优于逐点扫描的SLA技术。DLP技术多被应用于珠宝和牙科模型等精密构件的制造^[9],在打印牙科模型时,DLP单批次同步成型试样的数量可达SLA工艺的3倍。

1.3 FDM

FDM是将热塑性丝材(如丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物、聚乳酸等)经送丝机送入加热端至熔融状态,按分层路径将熔融材料挤出并沉积在工作台上,冷却后固化为薄层,重复熔融与沉积而逐层堆叠成型^[10]。FDM的打印材料一般为热塑性挤出材料,成本效益高,但打印精度有限。

不同3D打印技术在打印隐形矫治器领域应用的优缺点见表1。

表 1 不同3D打印技术打印隐形矫治器的优缺点

Tab 1 Advantage and disadvantage of 3D printing technology in the field of printing clear aligners

3D打印技术	优点	缺点	适用场景	参考文献
SLA	成型精度高,表面粗糙度低,材料透明性好	设备及树脂成本高,固化收缩率较高,厚件打印时间长	工业级量产(规模化), Active-Memory™形状记忆材料	[5-6]
DLP	逐层固化,打印效率高;精度高,表面质量优良,支持多种医用级树脂	树脂强度、刚度有限,支撑结构复杂,受限于成型尺寸,单次打印数量有限	桌面级批量生产精细件(个性化)	[8-9]
FDM	设备成本低,操作简单,打印材料丰富,可回收性好	精度低,层间结合力弱,表面粗糙度高,透明性差,成型强度差	功能改性热塑性树脂	[10]

2 用于3D打印隐形矫治器的材料

2.1 3D打印光固化树脂材料

传统热压法制备隐形矫治器使用的主要材料为热塑性材料,包括聚对苯二甲酸乙二醇酯-1,4-环己烷二甲醇酯 (polyethylene terephthalate-1,4-cyclohexanedimeth yleneterephthalate, PETG)、聚氨酯或聚合物共混材料等。用于正畸领域3D打印的材料包括丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物、聚乳酸、聚碳酸酯、铸造蜡、医用金属原料(银、不锈钢、钛合金)以及光固化光敏树脂等。隐形矫治器3D打印使用的光固化树脂材料由4种主要成分组成:光引发剂、丙烯酸酯低聚物、活性稀释单体、助剂/填料^[11]。

Tera Harz TC-85是韩国 Graphy 公司开发的3D打印树脂,是一种甲基丙烯酸酯功能化的聚氨酯聚合物材料,具有良好的生物相容性,不含危害健康的双酚A,可用于直接打印隐形矫治器。Lee等^[12]研究发现,Tera Harz TC-85打印的隐形矫治器在暴露于80℃高温和弯曲测试后仍具有形状稳定性和恢复特性,37℃下1h后形变恢复率达96%,表明TC-85材料具有优异的形状记忆功能。

Dental LT树脂是美国 Formlabs 公司开发的3D打印树脂。Jindal等^[13]使用Dental LT树脂打印出厚度为0.75 mm的隐形矫治器,与传统热压成型的隐形矫治器相比,其具有更高的几何精度,能够在低位移条件下实现可逆弹性形变。

2.2 功能改性光固化树脂材料

对光固化树脂材料进行功能改性,原位赋予打印产品特有功能,是目前3D打印齿科材料的研究热点之一。在打印材料中加入抗菌、防龋、除味等功能因子,旨在改良树脂特性,拓宽3D打印隐形矫治器的应用。Wu等^[14]利用异磷酮二异氰酸酯、羟乙基甲基丙烯酸酯和氯化胆碱合成含有季铵基团的抗菌剂,将其加入到3D打印光敏树脂中,采用DLP技术打印隐形矫治器,结果表明,该矫治器具有良好的硬度、抗拉性能、抗菌特性以及抗菌耐久性,且无细胞毒性。

3 3D打印隐形矫治器的性能分析

3.1 制造精度

在3D打印成型过程中的多重步骤和影响因素

(如树脂层厚度、打印机精度和打印工艺等)都会导致最终成品的不精确性,传统热成型矫治器亦存在明显的几何不准确性、不均匀的局部厚度和低尺寸稳定性^[15-18]。Venezia等^[18]研究表明,SLA工艺在打印用于热成型的牙模时具有最低的误差,并且可以减少过度构建,而DLP工艺打印具有最高的打印精度。McCarty等^[19]和Boyer等^[20]分别使用Dental LT、Grey V4树脂进行3D打印,结果均表明打印方向会影响其准确性,90°打印组具有最高的尺寸精度,打印偏差低于250 μm,符合临床可接受的水平,且单个打印作业打印数量最多。而Camenisch等^[21]使用TC-85树脂打印隐形矫治器,结果表明打印方向并不会影响矫治器的机械性能。Park等^[22]以聚对苯二甲酸乙二醇酯 (polyethylene terephthalate glycol) 和共聚酯-弹性体 (copolyester-elastomer combination) 为热压膜片,以TC-85为3D打印树脂,对比成品矫治器与数字模型间厚度的差异,结果表明3D打印技术会导致矫治器更厚。Edelmann等^[23]使用Dental LT树脂、Grey V4树脂打印也得到了同样的结果。厚度较大的矫治器具有更好的刚度和更均匀的应力分布,但会影响佩戴舒适性,引发黏膜溃疡等。

3.2 力学性能

隐形矫治器的制备材料应同时具有较小的弹性模量和较低的应力松弛速率,才能提供温和而持久的矫治力,以确保良好的正畸效果^[24-25]。Can等^[26]和Mattle等^[27]报道了由TC-85树脂制成的3D打印矫治器的机械性能,结果表明,3D打印矫治器的马氏硬度低于热成型矫治器,弹性模量高于热成型矫治器,可以更有效地施加矫治力和抵抗应变。McKay等^[28]研究认为,3D打印矫治器具有更强的力学控制性。Lee等^[29]研究发现,与PETG热成型矫治器相比,TC-85制备的3D打印矫治器的柔韧性和应力松弛性更高。Shirey等^[2]研究发现,潮湿环境会影响3D打印矫治器的机械性能,矫治器在干燥环境下的弹性模量高于潮湿环境;潮湿环境下施加2%的形变2h后,3D打印矫治器的残余应力小于热成型矫治器。此外,3D打印矫治器具有可逆形变能力,能够在更长的时间内保持有效性,与弹性范围较低的PETG热成型矫治器相比,能够提高牙齿移动步距,而不会使矫治器永久变形,有希望缩短正畸患者的矫治周期。

3.3 物化性能

与热成型矫治器相比,TC-85树脂打印矫治

器的机械性能（压痕模量、弹性模量等）不受口内老化环境的影响，但表面粗糙度和孔隙率增加^[30-31]。直接3D打印能够在确保几何准确性的前提下，针对性地增加矫治器的局部厚度^[16,32]，以调整不同牙齿所需矫治力。在3D打印后处理阶段，氮气气氛下固化易导致3D打印成品厚度增加，后固化时间对厚度影响较小^[33]，不同后固化时间成品的最终误差均在允许范围内^[19]。

隐形矫治器因其无色透明的外观而成为众多正畸患者的首选。在3D打印过程中，后处理的清洗方式会对隐形矫治器的透明度造成影响。Park等^[22]以传统聚对苯二甲酸乙二醇酯和共聚酯-弹性体为热压膜片，以TC-85为打印树脂，探究乙醇清洗和离心2种后处理清洗方式对热压矫治器和3D打印矫治器透明度的影响，研究结果表明，2种处理方式对热压矫治器的透明度几乎无影响，且透明度均高于3D打印隐形矫治器，而对于3D打印隐形矫治器，离心处理方式的透明度高于乙醇清洗。异丙醇清洗可以提高隐形矫治器的耐磨性能^[34]。

3.4 生物相容性

3D打印液态光敏树脂在打印前具有毒性，聚合后毒性逐渐降低。正确的后固化和处理对降低3D打印隐形矫治器的毒性至关重要。TC-85树脂聚合后临床毒性低，不含双酚A，符合口腔生物相容标准，可用于直接打印矫治器。Alessandra等^[35]使用TC-85树脂，采用2种不同的后固化方式，分别为Tera Harz Cure 2（THC，氮气气氛）处理14 min和Form Cure（FC，常压大气环境，未隔绝氧气）处理30 min，结果表明，THC后固化方式具有更好的生物相容性，FC后固化方式具有中度细胞毒性。Pratsinis等^[36]使用TC-85树脂，采用Cure M固化机（氮气气氛）后固化内外处理24 min后，浸泡在无菌去离子水（37℃）中14 d，最终未检测到细胞毒性。

3D打印隐形矫治器口内老化后，表面粗糙度与孔隙率增加，容易导致细菌生物膜黏附，影响患者牙周健康。生物活性玻璃（bioactive glass, BAG）是一种由SiO₂、CaO、Na₂O、P₂O₅等成分组成的硅酸盐玻璃材料，能够抑制细菌堆积，降低矫治期间的釉质脱矿并促进再矿化。Raszewski等^[37]将BAG加入到3D打印树脂中，结果显示能够降低细胞毒性，紫外固化30 min后，细胞存活率为85%。

4 总结及展望

3D打印技术以快速、高效、精准的优势，在隐形矫治器制造领域发挥着日益重要的作用。随着3D打印技术和材料的不断发展，在确保矫治力的同时可达到更高的舒适度，缩短正畸周期，并减少耗材的浪费，降低生产与医疗成本。未来，3D打印技术在隐形矫治器制造领域具有广阔发展前景。1) 开发兼具高强度与低应力松弛特性的光敏材料，提高隐形矫治器的舒适性与矫治力，实现厚度均匀性与局部精准施力，延缓口内老化进程，降低应力衰减，缩短正畸疗程；2) 引入功能性打印材料（如抗菌等），降低正畸治疗过程中的牙周病与龋病患率，减少口腔不良反应；3) 优化3D打印工艺与设备，降低矫治器实体与数字模型间的尺寸偏差，提高表面质量（降低粗糙度，减少层纹等）和打印精度；4) 融合人工智能技术，辅助治疗方案设计，结合3D打印工艺实现个性化正畸治疗。综上，直接3D打印隐形矫治器已成为隐形正畸领域的发展趋势，将为临床提供更高效的正畸治疗方案。

致谢：感谢数字医学工程全国重点实验室对本论文工作的支持与帮助！

利益冲突声明：作者声明本文无利益冲突。

5 参考文献

- [1] 汪骐, 罗婷, 陆威, 等. 数字化技术在口腔正畸监控中的应用进展[J]. 口腔疾病防治, 2025, 33(1): 75-81.
Wang Q, Luo T, Lu W, et al. Advances in the application of digital technology in orthodontic monitoring[J]. J Prev Treat Stomatol Dis, 2025, 33(1): 75-81.
- [2] Shirey N, Mendonca G, Groth C, et al. Comparison of mechanical properties of 3-dimensional printed and thermoformed orthodontic aligners[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2023, 163(5): 720-728.
- [3] Ligon SC, Liska R, Stampfl J, et al. Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing[J]. Chem Rev, 2017, 117(15): 10212-10290.
- [4] Tartaglia GM, Mapelli A, Maspero C, et al. Direct 3D printing of clear orthodontic aligners: current

- state and future possibilities[J]. *Materials* (Basel), 2021, 14(7): 1799.
- [5] Huang JG, Qin Q, Wang J. A review of stereolithography: processes and systems[J]. *Processes*, 2020, 8(9): 1138.
- [6] Ngo TD, Kashani A, Imbalzano G, et al. Additive manufacturing (3D printing): a review of materials, methods, applications and challenges[J]. *Compos Part B Eng*, 2018, 143: 172-196.
- [7] Hazeveld A, Huddleston Slater JJR, Ren YJ. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2014, 145(1): 108-115.
- [8] Pan YY, Zhou C, Chen Y. A fast mask projection stereolithography process for fabricating digital models in minutes[J]. *J Manuf Sci Eng*, 2012, 134(5): 051011.
- [9] Khorsandi D, Fahimipour A, Abasian P, et al. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: printing techniques, materials, and applications [J]. *Acta Biomater*, 2021, 122: 26-49.
- [10] Jain P, Kuthe AM. Feasibility study of manufacturing using rapid prototyping: FDM approach[J]. *Procedia Eng*, 2013, 63: 4-11.
- [11] Layani M, Wang XF, Magdassi S. Novel materials for 3D printing by photopolymerization[J]. *Adv Mater*, 2018, 30(41): 1706344.
- [12] Lee SY, Kim H, Kim HJ, et al. Thermo-mechanical properties of 3D printed photocurable shape memory resin for clear aligners[J]. *Sci Rep*, 2022, 12: 6246.
- [13] Jindal P, Juneja M, Siena FL, et al. Mechanical and geometric properties of thermoformed and 3D printed clear dental aligners[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2019, 156(5): 694-701.
- [14] Wu TY, Ding XQ, Liu TH, et al. Advancements in developing biomaterials for 3D printing photosensitive resins containing quaternary ammonium molecules for enhanced oral healthcare[J]. *Next Mater*, 2024, 4: 100211.
- [15] Grassia V, Ronsiville V, Isola G, et al. Accuracy (trueness and precision) of 3D printed orthodontic models finalized to clear aligners production, testing crowded and spaced dentition[J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23: 352.
- [16] Aruanno B, Barone S, Bordegoni M, et al. A digital workflow for the design and additive manufacturing of multi-thickness dental aligners[J]. *Comput Aid Des Appl*, 2022, 20: 111-121.
- [17] Ryu JH, Kwon JS, Jiang HB, et al. Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners[J]. *Korean J Orthod*, 2018, 48(5): 316-325.
- [18] Venezia P, Ronsiville V, Rustico L, et al. Accuracy of orthodontic models prototyped for clear aligners therapy: a 3D imaging analysis comparing different market segments 3D printing protocols[J]. *J Dent*, 2022, 124: 104212.
- [19] McCarty MC, Chen SJ, English JD, et al. Effect of print orientation and duration of ultraviolet curing on the dimensional accuracy of a 3-dimensionally printed orthodontic clear aligner design[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2020, 158(6): 889-897.
- [20] Boyer RA, Kasper FK, English JD, et al. Effect of print orientation on the dimensional accuracy of orthodontic aligners printed 3-dimensionally[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2021, 160(5): 732-742.e1.
- [21] Camenisch L, Polychronis G, Panayi N, et al. Effect of printing orientation on mechanical properties of 3D-printed orthodontic aligners[J]. *J Orofac Orthop*, 2025, 86(4): 226-233.
- [22] Park SY, Choi SH, Yu HS, et al. Comparison of translucency, thickness, and gap width of thermoformed and 3D-printed clear aligners using Micro-CT and spectrophotometer[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 10921.
- [23] Edelmann A, English JD, Chen SJ, et al. Analysis of the thickness of 3-dimensional-printed orthodontic aligners[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2020, 158(5): e91-e98.
- [24] 夏玉, 韦靖婧, 杨顺洪, 等. 齿科隐形正畸矫治器用膜片的力学性能研究[J]. *中国新技术新产品*, 2024 (507): 51-53.
- Xia Y, Wei JJ, Yang SH, et al. Research on mechanical properties of film sheets for dental invisible or-

- thodontic appliances[J]. *New Technol New Prod China*, 2024(507): 51-53.
- [25] 张焱, 刘红忠, 周宏志, 等. 基于3D打印的无托槽隐形正畸矫治器矫治力研究[J]. *湖南理工学院学报(自然科学版)*, 2022, 35(2): 1-6, 30.
- Zhang Y, Liu HZ, Zhou HZ, et al. Orthodontic force of invisible orthodontic appliance without bracket based on 3D printing[J]. *J Hunan Inst Sci Technol (Nat Sci)*, 2022, 35(2): 1-6, 30.
- [26] Can E, Panayi N, Polychronis G, et al. In-house 3D-printed aligners: effect of *in vivo* ageing on mechanical properties[J]. *Eur J Orthod*, 2022, 44(1): 51-55.
- [27] Mattle M, Zinelis S, Polychronis G, et al. Effect of heat treatment and nitrogen atmosphere during post-curing on mechanical properties of 3D-printed orthodontic aligners[J]. *Eur J Orthod*, 2024, 46: cjad074.
- [28] McKay A, McCray J, Bankhead B, et al. Forces and moments generated during extrusion of a maxillary central incisor with clear aligners: an *in vitro* study [J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23: 495.
- [29] Lee SY, Kim H, Kim HJ, et al. Thermo-mechanical properties of 3D printed photocurable shape memory resin for clear aligners[J]. *Sci Rep*, 2022, 12: 6246.
- [30] Eslami S, Kopp S, Goteni M, et al. Alterations in the surface roughness and porosity parameters of directly printed and Invisalign aligners after 1 week of intraoral usage: an *in vivo* prospective investigation [J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2024, 165(1): 73-79.
- [31] Koletsi D, Panayi N, Laspos C, et al. *In vivo* aging-induced surface roughness alterations of Invisalign® and 3D-printed aligners[J]. *J Orthod*, 2023, 50(4): 352-360.
- [32] Grant J, Foley P, Bankhead B, et al. Forces and moments generated by 3D direct printed clear aligners of varying labial and lingual thicknesses during lingual movement of maxillary central incisor: an *in vitro* study[J]. *Prog Orthod*, 2023, 24(1): 23.
- [33] Migliorati M, Drago S, Lagazzo A, et al. Effect of curing time and nitrogen generator usage on direct 3D-printed aligners thicknesses: an *in vitro* Micro-CT study[J]. *Appl Sci*, 2023, 13(21): 11952.
- [34] Šimunović L, Jurela A, Sudarević K, et al. Influence of post-processing on the degree of conversion and mechanical properties of 3D-printed polyurethane aligners[J]. *Polymers*, 2023, 16(1): 17.
- [35] Alessandra C, Anastasia A, Giovanni B, et al. Comparison of the cytotoxicity of 3D-printed aligners using different post-curing procedures: an *in vitro* study[J]. *Aust Orthod J*, 2023, 39(2): 49-56.
- [36] Pratsinis H, Papageorgiou SN, Panayi N, et al. Cytotoxicity and estrogenicity of a novel 3-dimensional printed orthodontic aligner[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2022, 162(3): e116-e122.
- [37] Raszewski Z, Chojnacka K, Kulbacka J, et al. Mechanical properties and biocompatibility of 3D printing acrylic material with bioactive components[J]. *J Funct Biomater*, 2022, 14(1): 13.

(本文编辑 李彩)