

# 3D 打印技术在急重症医学中的应用

冉珊

3D 打印又称增材制造,是快速成型工艺的一种,实现了从原型设计到实体制作的一体化工业进程<sup>[1]</sup>。3D 打印借助计算机辅助技术设计立体模型,联合铸造、激光等相关工业技术实现无数个二维截面的逐层堆积,最终形成所需的实体模型<sup>[2]</sup>。不同于 2D 打印只需简单的原材料和打印设备,3D 打印技术根据所需实体模型的特性需要选择不同的原材料,根据加工工艺的不同,3D 打印技术被分为多种类型,目前常用的技术类型主要包括光固化成形、分层实体制造、选区激光烧结、选区激光熔化、熔融沉积制造、三维印刷成形等<sup>[3,4]</sup>。

从最初的设计体外模型发展到打印体内移植,一直到现在炙手可热的生物打印<sup>[5]</sup>,3D 打印技术日趋先进。在急重症医学中,3D 打印运用最成熟的主要是制造体外模型用于模拟实践。另外,一些 3D 打印医疗器械也已经投入到临床实际应用中,比如呼吸道支架、药物输送系统、即时检测 POCT,特别是新型冠状病毒疫情<sup>[5]</sup>以来,3D 打印产品有效解决了疫情期间我国物资紧缺的问题,极大提升了疫情防控响应力度及医务人员暴露安全性。

## 1 模拟实践

对于培养急重症医学人才,为应对各种突发紧急状况,技能操作的反复训练必不可少,此时人体仿真模型就显示出了不可比拟的价值。3D 打印技术凭借其低成本和保真性的特点在制作仿真人体模型方面十分突出<sup>[6]</sup>。经试验证明,3D 人体模型在体格检查的视、触、叩、听方面效果逼真,在进行技能操作时模型也具有与人体相似的手感及反馈装置,极大地提高了操作的真实感<sup>[7]</sup>。由此可见,3D 打印技术生产的设备或模型具有巨大的教育价值和临

床价值。

**1.1 心肺复苏(CPR)模型** 3D 打印技术制作的模型具有高度仿真人体结构、模拟真实人体反馈以及评估操作效果的功能,可以帮助医务人员反复模拟训练标准的胸外按压、气道开放和人工呼吸,从而不断提高 CPR 的练习次数和成功率。此外,近年来体外心肺复苏术(ECPR)逐渐兴起,在传统 CPR 效果不佳时,ECPR 结合体外膜肺氧合(ECMO)技术可以实现长时间的心肺替代,保证治疗期间重要脏器的灌注。然而,ECPR 的使用非常复杂,需要院前、急救和危重护理小组从首次响应到建立 ECMO 循环的多学科协调参与,因此需要结合 3D 打印技术创建一部模拟从心脏停跳到 ECMO 建立的 ECPR 人体模型<sup>[8]</sup>,以此通过不断训练来提高救助小组的技术水平和团队协作能力,从而提升整体医疗水平,使更多的患者受益。

**1.2 气管插管模型** 气管插管术是急重症医学科医生必须掌握的操作技术,但是反复的插管失败会对患者造成严重的再次伤害。利用 3D 打印技术开发的气管插管模拟器模拟了真实人体颌骨和颈椎的解剖以及张口度、舌头移位、头部伸展时的僵硬程度等,可向学员提供处理各种气管插管病例的超逼真模拟体验,缩小模拟练习和真实实践之间的差距<sup>[9,10]</sup>。总之,低成本、高精度的 3D 打印产品是进行气管插管训练的有效培训工具,可增加医务人员气管插管技能的训练机会,使气管插管技术的掌握度和首次插管成功率大大提升<sup>[11]</sup>。

**1.3 模拟穿刺、抽液及引流** 胸穿、腹穿、腰穿、骨穿、心包穿刺术<sup>[12]</sup>是急重症医学非常重要的高危操作,根据实际应用后的反馈,3D 打印模型在触诊、穿针和通过韧带落空感方面表现良好,而且其肋骨结构和肋骨间隙很容易通过体格检查或超声识别,

作者单位:苏州大学附属常熟医院急诊医学科,江苏 常熟 215500

从而有助于有效地模拟抽液、引流等<sup>[13]</sup>。此外,还可以在头骨模型上进行脑血肿的穿刺引流、钻孔清除甚至去骨瓣减压训练,从而有机会把握治疗的最佳时机,将潜在生命威胁或植物状态转变为良性的临床过程<sup>[14,15]</sup>,这反映了 3D 打印技术在穿刺模型应用中具有很大的临床潜能。市场上虽然有许多类型的穿刺模型,但其高昂的价格让人望而却步,利用 3D 打印,低成本的、耐用的、高保真的穿刺模型不断被开发设计,为我们提供了一种可负担的并有望实现大规模商业化生产。

## 2 临床实际应用

**2.1 新型冠状病毒疫情期间 3D 打印产品的产业化生产** 新冠肺炎大流行期间凭借 3D 打印技术低成本和高保真的特点实现了产品的大规模工业生产,鼻咽拭子、呼吸机共用阀、个人防护用具<sup>[16]</sup>等消耗性医疗资源得到了极大的保证,有效地解决了疫情期间物资供应链中断问题,这对于抑制病毒传播、快速度过疫情时期起到了积极作用。而且 3D 打印制造的新型鼻咽拭子具备更好的使用性能,比如通过优化针尖几何形状和轴的形状及断点位置,在提高产品灵活性、易操作性、检测可信度的同时实现了最大化的样品收集,而且此拭子可与各种运输介质结合而不影响检测结果<sup>[17,18]</sup>;3D 打印防护面罩在材料密封性、透气性、湿度分散、沟通能力以及环境影响方面更具优势<sup>[19,20]</sup>;3D 打印的分离器可以使单一呼吸器同时向多名患者供应氧气,从而最大化利用现有呼吸机资源,一种新型的直列式呼吸末正压阀甚至可以特异性设置同一呼吸机不同端口的使用参数以适配不同的患者<sup>[21]</sup>,从而解决呼吸机严重缺乏的问题;3D 打印技术搭建的隔离空间可形成一个负气流隔离病房以防止患者呼出的病毒释放到室外,隔离室外部还留置多个外接端口用于氧气输送及雾化治疗<sup>[22]</sup>。由此可见,3D 打印产品在疫情防控工作中可行且实用价值极高。

**2.2 喉镜检查的人体工学手柄** 直接喉镜下气管插管是挽救生命的关键性程序。然而,这项技能对于新手和实习生来说很难掌握,反复尝试也会进一步增加口咽损伤、血流动力学不稳定和低氧血症的风险<sup>[23]</sup>。借助 3D 打印技术设计的符合人体工程学的喉镜手柄对于气管技术的插管掌握有一定的积极作用,其可以提供更好的声门视角且使用更舒适。

一项研究<sup>[24]</sup>表明,使用此种喉镜练习的学生首次插管成功率显著上升,而且其他指标包括插管时间、插管尝试次数、CL 评分和使用舒适度评分等,人体工程学手柄都更胜一筹。这说明 3D 打印的符合人体工程学的手柄有助于提示临床实施气管插管的成功率。

**2.3 脑出血穿刺定位导板** CT 或超声引导是目前脑出血微创穿刺引流使用最广泛的定位方式,3D 打印的血肿穿刺定位导板可根据影像学数据显示的颅脑结构及血肿位置,制造具有精确的穿刺体表定位标志及穿刺路径的 3D 导板,从而有可能实现精准定位,不受临床操作经验的制约<sup>[25]</sup>。有学者研究脑出血患者,考虑到患者高龄且出血量大,行开颅手术创口大、麻醉风险高等因素,于是选择在局麻下联合 3D 打印定位导板分区精准定位引导脑内血肿穿刺清除加脑外引流术,术后 7 天患者复查 CT 提示血肿完全吸收,未见出血等并发症,术后 15 天康复出院,生活部分可自理<sup>[26,27]</sup>。由此可见,3D 打印定位导板对于急性脑出血血肿穿刺清除定位确实具有显著优势,在急诊医学科中具有较大的应用潜能。

**2.4 药物输送** 传统的给药模式无法根据患者的个体差异来精确地控制给药方案,导致患者的依从性差<sup>[28]</sup>,特别是对重症老年及儿童患者的治疗,甚至经常会因服药剂量不足或过量而导致不良反应的发生。3D 打印在药物输送和个性化药物领域发展迅猛,是传统给药模式理想的替代方案,而且表现出优异的药物释放动力学性能,从给药途径、给药剂型到多药物联用,3D 打印都能够设计和生产具有特异性释放曲线的药物输送产品<sup>[29,30]</sup>。在重症监护室中,3D 打印生产的药物输送装置可以通过设计一剂多药分隔来避免同时使用多个药物带来的药物相互作用或其他不良反应,此类装置还可以通过将其设计为患者适合的剂型来解决多数重症患者进食或吞咽困难的问题,如快速崩解的片剂<sup>[31,32]</sup>。

**2.5 床旁即时检测(POCT)** 床旁 POCT 作为一种快速、便携、即时的检测方法,可显著缩短从首诊到临床干预的时间,是 ICU 和急诊科医生常用的临床评估工具,有助于医生对危重患者快速做出诊断并明确诊治策略或对高危人群进行床边监测和采取预防措施<sup>[33]</sup>。微流控器件是 POCT 技术的主要实现平台,可实现实验室研究转向临床实际应用。但

是现有工艺难以满足微流控芯片加工精度高、速度快、成本低的要求,而 3D 打印凭借其在材料选择范围广泛、可设计复杂结构以及高度自动化和定制化等方面的优点,实现了微流控芯片的低成本、高质量、高精度批量快速制造<sup>[34,35]</sup>。各类设备的端口连接部件也可以通过 3D 打印设计生产,大大简化了研究设备与现有医疗设备集成所需的耦合步骤<sup>[36]</sup>,显著增强了 POCT 的临床实用性及可行性。此外,利用 3D 打印技术设计的智能传感器,可实现精确液体控制、生化监测、抗体检测以及运动传感,这在重症患者的 POCT、液体管理、感染预防及生命体征监测等方面具有很好的应用前景<sup>[37,38]</sup>。

### 3 3D 打印发展趋势与展望

3D 打印之所以能在医学领域迅猛发展,主要是因为其有以下几个主要优势:①医技传承,培训青年医生。实习医生可通过术前模拟演练、术中观察及术后复盘训练,更好地掌握医学技能<sup>[39]</sup>。②个性化的精准医疗方案。医生根据影像数据打印出患者特异的病理模型进行术前规划和模拟演练,了解患者之间的差异,将实践错误从手术室移至培训室,使手术更加精准。③医患交流更直接有效。通过 3D 模型,患者能更加了解自己的病情,而医生通过模型演示更易获得患者及家属的支持和理解,更快地明确治疗方案,减少医疗纠纷的发生<sup>[40]</sup>。

3D 打印可以使人们获得低成本和高保真度模拟的机会。虽然市场上有较多商业化的模型产品,但其价格高昂难以在教学和临床中普及,而 3D 打印产品的生产成本更低,且能获得更高的保真度,故 3D 打印技术在医学领域的发展具有很好的应用前景。目前其在急重症医学领域的应用尚浅,可能与该学科操作的高风险和侵入性特点有关,但随着模拟训练机会的增多,医务人员对技术的掌握更有信心。

### 参 考 文 献

- 1 Aimar A, Palermo A, Innocenti B. The role of 3D printing in medical applications: a state of the art[J]. *J Health Eng*, 2019, 2019:5340616
- 2 Velásquez-García LF, Kornbluth Y. Biomedical applications of metal 3D printing[J]. *Annu Rev Biomed Eng*, 2021, 23:307-338
- 3 辛艳喜,蔡高参,胡彪,等. 3D 打印主要成形工艺及其应用进展[J]. *精密成形工程*, 2021, 13(6):156-164
- 4 李瑞峰,李客,周伟召. 激光金属 3D 打印技术的研究进展[J]. *粘接*, 2022, 49(7):98-105
- 5 Choong YYC, Tan HW, Patel DC, et al. The global rise of 3D printing during the COVID-19 pandemic[J]. *Nat Rev Mater*, 2020, 5(9):637-639
- 6 Lichtenberger JP, Tatum PS, Gada S, et al. Using 3D printing (additive manufacturing) to produce low-cost simulation models for medical training[J]. *Mil Med*, 2018, 183(suppl\_1):73-77
- 7 Boshra M, Godbout J, Perry JJ, et al. 3D printing in critical care: a narrative review[J]. *3D Print Med*, 2020, 6(1):28
- 8 Pang G, Futter C, Pincus J, et al. Development and testing of a low cost simulation manikin for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) using 3-dimensional printing[J]. *Resuscitation*, 2020, 149:24-29
- 9 Ho BHK, Chen CJ, Tan GJS, et al. Multi-material three dimensional printed models for simulation of bronchoscopy[J]. *BMC Med Educ*, 2019, 19(1):236
- 10 Doucet G, Ryan S, Bartellas M, et al. Modelling and manufacturing of a 3D printed trachea for cricothyroidotomy simulation[J]. *Cureus*, 2017, 9(8):e1575
- 11 Park L, Price-Williams S, Jalali A, et al. Increasing access to medical training with three-dimensional printing: creation of an endotracheal intubation model[J]. *JMIR Med Educ*, 2019, 5(1):e12626
- 12 Lord S, Lord G, Geary SP. A novel, low-cost, low-fidelity pericardiocentesis teaching model[J]. *West J Emerg Med*, 2021, 22(4):931-936
- 13 Brannan V, Dunne CL, Dubrowski A, et al. Development of a novel 3D-printed multifunctional thorax model simulator for the simulation-based training of tube thoracostomy[J]. *CJEM*, 2021, 23(4):547-550
- 14 Kondo K, Nemoto M, Masuda H, et al. Anatomical reproducibility of a head model molded by a three-dimensional printer[J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2015, 55(7):592-598
- 15 Janes D, Boone D, Dubrowski A. "It's only brain surgery": using 3D printing and simulation to prepare rural physicians for the management of acute epidural hematoma[J]. *Cureus*, 2020, 12(10):e11236
- 16 Tarfaoui M, Nachtane M, Goda I, et al. 3D printing to support the shortage in personal protective equipment caused by COVID-19 pandemic[J]. *Materials (Basel)*, 2020, 13(15):3339
- 17 Decker SJ, Goldstein TA, Ford JM, et al. 3-Dimensional printed alternative to the standard synthetic flocked nasopharyngeal swabs used for coronavirus disease 2019 testing[J]. *Clin Infect Dis*, 2021, 73(9):e3027-e3032
- 18 Williams E, Bond K, Isles N, et al. Pandemic printing: a novel 3D-printed swab for detecting SARS-CoV-2[J]. *Med J Aust*, 2020, 213(6):276-279
- 19 Lemarteleur V, Fouquet V, Le Goff S, et al. 3D-printed protected face shields for health care workers in Covid-19 pandemic[J]. *Am*



- J Infect Control, 2021, 49(3):389-391
- 20 Spake CSL, Carruthers TN, Crozier JW, et al. 3D printed N-95 masks during the COVID-19 pandemic: lessons learned[J]. Ann Biomed Eng, 2021, 49(12):3666-3675
- 21 Bunting L, Roy S, Pinson H, et al. A novel inline PEEP valve design for differential multi-ventilation[J]. Am J Emerg Med, 2020, 38(10):2045-2048
- 22 Kumar KPA, Pumera M. 3D-printing to mitigate COVID-19 pandemic[J]. Adv Funct Mater, 2021, 31(22):2100450
- 23 Bhattacharjee S, Maitra S, Baidya DK. A comparison between video laryngoscopy and direct laryngoscopy for endotracheal intubation in the emergency department: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. J Clin Anesth, 2018, 47:21-26
- 24 Kim SH, Kwon J, Kim YJ, et al. Impact of a custom-made 3D printed ergonomic grip for direct laryngoscopy on novice intubation performance in a simulated easy and difficult airway scenario—a manikin study[J]. PLoS One, 2018, 13(11):e0207445
- 25 钱骏, 刘发健, 张孙鑫, 等. 脑出血穿刺定位导板 3D 打印快速个体化定制模式的应用初探[J]. 临床神经外科杂志, 2022, 19(3):241-246
- 26 韦维, 凌霄, 李忠华. 3D 打印联合分区、模块化微创穿刺治疗大量脑出血 1 例[J]. 实用医学杂志, 2020, 36(17):2344-2345
- 27 Li K, Ding XQ, Wang QB, et al. Low-cost, accurate, effective treatment of hypertensive cerebral hemorrhage with three-dimensional printing technology[J]. Front Neurol, 2021, 12:608403
- 28 Liang K, Brambilla D, Leroux JC. Is 3D printing of pharmaceuticals a disruptor or enabler?[J]. Adv Mater, 2019, 31(5):e1805680
- 29 Elkasabgy NA, Mahmoud AA, Maged A. 3D printing: an appealing route for customized drug delivery systems[J]. Int J Pharm, 2020, 588:119732
- 30 Alhnan MA, Okwuosa TC, Sadia M, et al. Emergence of 3D printed dosage forms: opportunities and challenges[J]. Pharm Res, 2016, 33(8):1817-1832
- 31 Wang JW, Zhang Y, Aghda NH, et al. Emerging 3D printing technologies for drug delivery devices: current status and future perspective[J]. Adv Drug Deliv Rev, 2021, 174:294-316
- 32 Kulkarni VR, Kazi M, Shahba AAW, et al. Three-dimensional printing of a container tablet: a new paradigm for multi-drug-containing bioactive self-nanoemulsifying drug-delivery systems (Bio-SNEDDSs)[J]. Pharmaceutics, 2022, 14(5):1082
- 33 Lippa PB, Müller C, Schlichtiger A, et al. Point-of-care testing (POCT): current techniques and future perspectives[J]. Trends Anal Chem, 2011, 30(6):887-898
- 34 Xie YP, Dai LZ, Yang YJ. Microfluidic technology and its application in the point-of-care testing field[J]. Biosens Bioelectron X, 2022, 10:100109
- 35 Amin RZ, Knowlton S, Hart A, et al. 3D-printed microfluidic devices[J]. Biofabrication, 2016, 8(2):022001
- 36 Chan HN, Tan MJA, Wu HK. Point-of-care testing: applications of 3D printing[J]. Lab Chip, 2017, 17(16):2713-2739
- 37 Ali MA, Zhang GF, Hu CS, et al. Ultrarapid and ultrasensitive detection of SARS-CoV-2 antibodies in COVID-19 patients via a 3D-printed nanomaterial-based biosensing platform[J]. J Med Virol, 2022, 94(12):5808-5826
- 38 Chu TS, Wang HL, Qiu YM, et al. 3D printed smart silk wearable sensors[J]. Analyst, 2021, 146(5):1552-1558
- 39 杨练, 冯海洋, 许苑晶. 3D 打印医疗应用及中心建设现状[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(13):2110-2115
- 40 Liaw CY, Guvendiren M. Current and emerging applications of 3D printing in medicine[J]. Biofabrication, 2017, 9(2):024102

(收稿:2023-04-04)