

# 3D 打印康复矫正支具的价值与应用

赵裕伟 张蕊妮 刘思滔 杨梓萌 殷斯同 王喆 陆迪 (通讯作者)

牡丹江医科大学

DOI:10.12238/bmtr.v7i6.17011

**[摘要]** 本文系统探讨了3D打印技术在康复矫正支具领域的创新应用与发展趋势。通过整合数字化建模、材料科学与生物力学分析，该技术突破了传统支具制造在解剖适配、力学效能和患者舒适度等方面的技术瓶颈。研究证实，基于医学影像三维重建的个性化腰椎支具设计可将贴合误差控制在0.5mm以内，结合拓扑优化算法实现结构减重的同时维持力学支撑性能。尽管在影像数据精度、材料生物相容性及跨学科协同方面仍存挑战，但组织工程支具与人工智能辅助设计等前沿方向，正推动康复医学向精准化、智能化阶段演进。

**[关键词]** 3D打印技术；腰椎康复支具；个性化医疗；生物力学优化；智能材料  
中图分类号：R496 文献标识码：A

## The Value and Application of 3D-Printed Rehabilitation and Correction Braces

Yuwei Zhao, Ruini Zhang, Sitao Liu, Zimeng Yang, Sitong Yin, Zhe Wang, Di Lu (Corresponding Author)

Mudanjiang Medical University

**[Abstract]** This article systematically explores the innovative applications and development trends of 3D printing technology in the field of rehabilitation correction braces. By integrating digital modeling, materials science, and biomechanical analysis, this technology has broken through the technical bottlenecks of traditional brace manufacturing in anatomical adaptation, mechanical efficiency, and patient comfort. Research has confirmed that personalized lumbar spine brace design based on medical imaging 3D reconstruction can control the fitting error within 0.5mm, combined with topology optimization algorithms to achieve structural weight reduction while maintaining mechanical support performance. Although there are still challenges in terms of image data accuracy, material biocompatibility, and interdisciplinary collaboration, cutting-edge directions such as tissue engineering support and artificial intelligence assisted design are driving the evolution of rehabilitation medicine towards precision and intelligence.

**[Key words]** 3D printing technology; Lumbar rehabilitation brace; Personalized medicine; Biomechanical optimization; Smart materials

### 引言

随着“健康中国2030”战略深入推进，康复医疗已成为现代医疗服务体系的核心组成部分，患者对康复辅助器具的个性化、精准化需求日益迫切。当前3D打印技术凭借快速成型、高度定制化优势，在医疗领域应用逐步深化。文章通过整合技术研发、临床实践与产业应用案例，系统分析3D打印康复矫正支具的技术价值与应用路径，为推动康复医疗精准化发展提供实践参考。

#### 1 3D打印康复矫正支具的临床应用价值

##### 1.1 提升康复效果：降低并发症发生率

3D打印康复矫正支具在临床中的核心价值在于通过精准适配，优化康复治疗效果。在骨折康复领域，传统石膏支具因透气性差、固定强度不可调，患者常出现皮肤瘙痒、压

疮等并发症，发生率高达25%。而3D打印骨折固定支具采用镂空结构设计，孔隙率达到30%以上，空气流通性显著提升，同时通过生物力学优化的支撑结构，使压力分布均匀性提高50%。针对脊柱侧弯患者的康复治疗，3D打印支具展现出更优的矫正效果。3D打印脊柱侧弯支具根据患者侧弯类型、椎体旋转角度定制，通过预设的梯度支撑力，逐步引导脊柱回归正常生理曲度。

##### 1.2 改善使用体验：提高患者治疗依从性

患者佩戴体验直接影响康复治疗的依从性，3D打印康复矫正支具从重量、舒适度、便捷性等维度进行优化，有效解决传统支具的使用痛点。在重量控制方面，3D打印支具采用轻量化材料与拓扑优化结构，如成人膝关节康复支具重量仅为传统支具的1/3，约200g，长期佩戴不会造成明显的

肢体疲劳；在舒适度设计上，技术团队通过模拟皮肤接触压力，对支具边缘进行圆角处理，接触区域采用柔性材料，避免传统支具硬边缘导致的皮肤磨损。便捷性优化也是提升患者体验的重要方向。3D打印支具设计有可拆卸调节模块，患者可根据自身感受，通过旋钮或卡扣微调支撑强度，无需频繁前往医院。

### 1.3 适配动态康复：实现治疗过程精准调控

康复治疗是一个动态过程，患者在不同康复阶段对支具的功能需求存在差异，3D打印技术凭借快速迭代能力，可实现支具的动态适配。在骨折康复的早期阶段，需要支具提供高强度固定，防止骨折移位，此时使用的3D打印支具将支撑强度设定为最高等级；进入中期康复阶段，随着骨折愈合，技术人员可通过更换支具的受力模块，降低支撑强度，同时增加活动自由度，促进肢体功能恢复<sup>[1]</sup>。在慢性疾病康复领域，如脑卒中患者的肢体功能恢复方面，3D打印支具的动态适配价值更为突出。脑卒中患者常出现手部痉挛、关节活动受限等问题，康复过程中需要根据肌力恢复情况调整支具的约束强度。研发团队开发的智能3D打印手功能支具，通过嵌入柔性传感器实时监测患者手部活动数据，医生可根据数据反馈远程调整支具的约束参数，实现“实时监测+动态调整”的闭环治疗。

## 2 3D打印康复矫正支具的产业应用现状

### 2.1 市场需求增长：推动产业规模扩张

随着人口老龄化加剧与康复医疗意识提升，3D打印康复矫正支具的市场需求呈现快速增长态势。行业研究报告显示，2024年我国康复支具市场规模达到150亿元，其中3D打印康复支具占比约15%，市场规模约22.5亿元，预计未来5年该细分领域年复合增长率将保持在30%以上。从需求结构来看，骨科康复是主要应用场景，占比超过60%，如骨折固定、关节置换术后康复等；脊柱康复与神经康复需求增长迅速，年增长率分别达到35%和40%，主要源于脊柱侧弯青少年患者数量增加与脑卒中康复需求释放。市场需求的增长吸引了大量企业进入该领域，形成多元化的产业格局。

### 2.2 产业协同不足：制约技术转化效率

尽管3D打印康复矫正支具产业发展迅速，但产业链各环节之间的协同不足，成为制约技术转化效率的关键因素。在研发环节，高校与科研机构的技术成果与临床需求存在脱节，部分实验室研发的3D打印材料虽在力学性能上表现优异，但因生产成本过高或加工难度大，难以实现产业化生产；而企业的研发重点多集中在现有技术的应用优化，对前沿技术如智能传感、组织工程材料的投入不足，导致产业技术创新后劲不足。在生产与临床衔接环节，缺乏标准化的沟通机制与数据共享平台。医疗机构在提出支具定制需求时，常因

数据格式不统一、参数描述不规范，导致企业需要反复沟通确认，延长生产周期；同时，企业对临床使用效果的跟踪反馈不及时，无法快速获取患者佩戴后的问题与改进建议，影响产品迭代速度。

### 2.3 标准体系缺失：影响产品质量稳定性

3D打印康复矫正支具作为医疗器械，其产品质量直接关系到患者安全，但目前该领域的标准体系尚未完善，导致市场产品质量参差不齐。在材料标准方面，我国虽对医疗器械用高分子材料有通用要求，但针对3D打印康复支具专用材料的具体标准，如生物相容性测试方法、长期使用后的性能衰减指标等仍未明确，部分企业为降低成本，使用不符合医疗标准的通用3D打印材料，存在安全隐患。在生产工艺标准方面，不同企业采用的打印参数、质量检测流程差异较大，如部分企业未对打印后的支具进行力学性能测试，直接交付临床使用，可能导致支具在使用过程中出现断裂、形变等问题。在临床应用标准方面，3D打印康复支具的适配评估、使用规范、效果评价等缺乏统一标准。

## 3 3D打印康复矫正支具的发展路径

### 3.1 加强产学研协同：构建技术创新生态

推动3D打印康复矫正支具技术创新，需建立“高校—科研机构—企业—医疗机构”协同合作的创新体系。高校与科研机构应聚焦前沿技术研发，如组织工程材料、人工智能辅助设计等，结合临床需求设定研究方向，避免技术与应用脱节；例如，哈尔滨工业大学与牡丹江医科大学合作，针对脊柱侧弯支具的动态矫正需求，研发出形状记忆合金与高分子材料复合的智能打印材料，该材料可根据患者体温变化调整支撑强度，目前已进入临床试用阶段。企业应发挥技术转化与产业化优势，与高校共建联合实验室，将实验室成果转化为可生产的产品；同时加强与医疗机构的长期合作，建立“临床需求反馈—技术改进—产品迭代”的快速响应机制。建议企业在医院设立临床研究中心，派驻技术人员收集患者使用数据，如支具佩戴时间、舒适度评分、康复效果等，通过大数据分析优化产品设计<sup>[2]</sup>。

### 3.2 完善标准体系：规范产业发展秩序

建立健全3D打印康复矫正支具的标准体系，是保障产品质量、推动产业健康发展的关键。在材料标准方面，行业协会应联合科研机构、企业制定专用材料标准，明确材料的生物相容性、力学性能、降解性等指标要求，以及对应的检测方法，如规定3D打印支具材料的细胞毒性试验需采用ISO10993标准，拉伸强度测试需符合GB/T1040.3-2006要求；同时建立材料溯源体系，要求企业对所用材料的生产批次、质量检测报告进行备案，确保材料可追溯<sup>[3]</sup>。在生产工艺与产品质量标准方面，应制定涵盖设计、打印、检测、包装等

全流程的标准规范，如规定3D打印支具的尺寸精度误差不得超过0.5mm，表面粗糙度需达到Ra6.3 $\mu$ m以下，出厂前需进行力学性能测试、无菌处理等；同时明确企业的生产环境要求，如车间洁净度需达到万级标准，避免生产过程中的污染。

### 3.3 推动成本优化：扩大技术普及范围

降低3D打印康复矫正支具的生产成本与价格，是推动技术普及、惠及更多患者的重要途径。在材料成本控制方面，企业可通过规模化采购、自主研发等方式降低材料价格，如与材料供应商签订长期采购协议，提高议价能力；同时研发低成本替代材料，如用改性PLA材料替代价格较高的PEEK材料，在保证性能的前提下降低材料成本。在生产效率提升方面，企业应引入自动化生产线，如采用机器人完成支具的扫描、建模、打印、后处理等流程，降低人工成本<sup>[4]</sup>。

## 4 结语

综上所述，3D打印技术为康复矫正支具的创新发展提供了核心支撑，通过数字化建模实现解剖结构精准复刻，借助材料创新平衡功能需求与生物相容性，依托工艺优化兼顾生产效率与产品精度，其能够在临床应用中显著提升康复效果、改善患者体验、适配动态康复需求，同时推动康复医疗

产业向精准化方向转型。

### [参考文献]

[1]宁天亮.3D打印踝足矫形器的设计与应用研究[D].内蒙古工业大学,2023.

[2]赵德竹.3D打印脊柱侧弯矫形器智能化与数字化设计平台关键技术研究[D].大连交通大学,2020.

[3]张焯.基于3D打印最优解决方法的康复产品设计研究[J].科技创新导报,2019,16(6):159-160.

[4]廖政文.基于解剖形态学的3D打印四肢康复矫形器的数字化设计制作[D].广西医科大学,2018.

### 作者简介：

赵裕伟（2006-），男，汉族，黑龙江省大庆市，本科，研究方向为临床医学。

### 基金项目：

1.黑龙江省2025年大学生创新训练计划项目（项目编号：S202510229022）。

2.黑龙江省高等教育学会高等教育研究课（项目编号：24GJZXC115）。

3.黑龙江省牡丹江医科大学大学生科研立项项目（项目编号2025013）。