

论述3D打印技术在医疗行业临床应用与效果评价的原创性专著

3D打印技术 在骨科的临床应用与评价

主 编 雷 青 王 冰 张先家

主 审 吕国华

The clinical application and evaluation of
3D printing in orthopedics



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

3D 打印技术在骨科的 临床应用与评价

主 编 雷 青 王 冰 张先家

副 主 编 周中苏 王南华 蔡立宏

主 审 吕国华



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目 (C I P) 数据

3D打印技术在骨科的临床应用与评价 / 雷青, 王冰,
张先家主编. — 长沙: 中南大学出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5487-2633-3

I. ①3… II. ①雷… ②王… ③张… III. ①立体印
刷—印刷术—应用—骨科学 IV. ①R68-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第294966号

3D 打印技术在骨科的临床应用与评价

主编 雷青 王冰 张先家

☐ 责任编辑 张宪安 谢新元

☐ 责任印制 易建国

☐ 出版发行 中南大学出版社

社址: 长沙市麓山南路

邮编: 410083

发行科电话: 0731-88876770

传真: 0731-88710482

☐ 印 装 长沙鸿发印务实业有限公司

☐ 开 本 787×1092 1/16 ☐ 印张 14.25 ☐ 字数 356 千字 ☐ 插页

☐ 版 次 2016 年 12 月第 1 版 ☐ 2017 年 1 月第 1 次印刷

☐ 书 号 ISBN 978-7-5487-2633-3

☐ 定 价 98.00 元

图书出现印装问题, 请与经销商调换

3D 打印技术在骨科的临床应用与评价

主 编 雷 青 王 冰 张先家

副 主 编 周中苏 王南华 蔡立宏

作 者 (按姓氏笔画排序)

王 冶 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

王 冰 中南大学湘雅二医院

王 康 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

邓 婷 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

邝 磊 中南大学湘雅二医院

刘文前 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

刘堂友 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

刘 峰 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

任朝晖 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

肖思顺 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

余 先 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

阳宏奇 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

杨 骞 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

陈 松 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

陈 立 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

张先家 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

张 卓 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

李跃峰 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

范 磊 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

周伟力 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

贺建军 长沙市第四医院 (湖南师范大学附属长沙医院)

唐接福 怀化市第二人民医院

蒋明辉 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

徐玉芬 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

雷 青 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

蔡立宏 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

魏 平 长沙市第三医院 (中南大学湘雅医学院长沙三临床学院)

主 审 吕国华 中南大学湘雅二医院

学术秘书 徐玉芬 周伟力 邝 磊

主 编 简 介



雷青,男,汉族,主任医师,中南大学硕士研究生导师,现任长沙市第三医院骨科主任,长沙市 3D 打印技术医学应用研究所副所长,中国医师协会骨科分会委员、中国医师协会骨科分会骨科 3D 打印专业委员会委员、湖南省医师协会骨科专业委员会副主委、湖南省医学会骨科专业委员会常务委员、湖南省康复医学会创伤

专业委员会副主委、湖南省医学会骨科专业委员会创伤学组副组长、长沙市医学会骨科专业委员会主任委员等职务。

从事临床、科研教学工作 30 余年,擅长关节、脊柱、创伤外科、运动损伤及退行性疾病的诊治,在人工关节置换、复杂髌膝关节翻修、复杂骨盆及四肢骨折、手外伤功能重建及 3D 打印技术在骨科的临床应用等方面有丰富的临床经验和造诣,多次应邀在全国、省市级学术会议上讲学,主持省市级科研课题 5 项,开展医疗新技术 30 多项,获得国家专利 10 项,多次荣获省、市科技进步奖,组织撰写出版《实用外科医师处方手册》一书并担任副主编。

主 编 简 介



王冰,男,教授、主任医师,博士生导师,美国斯坦福大学访问学者,现任中南大学湘雅二医院脊柱外科和湖南省脊柱外科治疗中心副主任,脊柱外科实验室主任,医院青年岗位能手。担任中国康复医学会脊柱脊髓专业青年委员会副主任委员、微创和脊柱肿瘤研究组委员,中国医促会骨科疾病防治委员会委员兼秘书和脊柱内镜学组副主任委员,中国医师协会骨科医师分会脊柱内镜专家委员会副组长和脊柱畸形工作组委员、中国医师协会骨科医师分会骨与关节发育畸形与

残疾预防工作委员会委员,中国医药教育协会骨科专业委员会脊柱分会和微创脊柱外科教育工作组副主任委员,中华医学会骨科分会青年委员会和基础学组委员,SICOT 中国部微创外科学会第一届委员和基础学会常委,AO 脊柱中国部讲师,《中国脊柱脊髓杂志》优秀常务编委,《SPINE JOURNAL》和《SPINE》(中文版)编委,湖南省康复医学会脊柱脊髓损伤专业委员会主任委员,湖南省医师协会骨科分会常委,湖南省遗传学会常务理事等社会职务,是国家自然科学基金同行评议专家。

临床医疗上,擅长内镜微创脊柱外科和各类复杂脊柱畸形的矫治。在国家级和国际核心期刊上以第一作者和通讯作者发表论文 80 余篇,SCI 论文 20 余篇,其中论文发表最高影响因子 6.335,主持国家自然科学基金资助研究项目 2 项,省部级科研课题 10 余项,获各类科学进步奖 10 余项,主译国外专著《微创脊柱外科精要》并参编撰写著作 9 部。

主 编 简 介



张先家,男,汉族,湖南省长沙市人,中共党员,主任医师,中南大学硕士研究生导师,长沙市 3D 打印技术医学应用研究所原所长。1982 年 12 月毕业于湖南医学院医疗系,先后在北京阜外医院、湘雅医院、亚洲心脏病医院进修学习。担任湖南省医学会常务理事,湖南省医师协会常务理事,湖南省医院协会常务理事,长沙市医学会副会长,中南六省胸心血管外科学术委员会委员,湖南省医学会胸心血管外科学会常务委员。从事临床、科研、教学、医院管理工作 30 余年。多

年来主持开展临床研究项目 10 余项,获省、市科技进步奖励 5 项,在国内核心期刊发表论文、综述近 30 篇,主编出版《老年临床药物治疗学》,《实用外科医师处方手册》副主编。

内容提要

本书是目前国内全面系统论述 3D 打印技术在骨科临床应用与疗效评价的专著。详细阐述了 3D 打印技术的概念、基本原理、在生物医学领域应用的优点、技术优势、应用现状和 3D 生物医学打印的设备、材料、实体模型的制造技术与工艺。特别是独创性介绍了 3D 打印技术在脊柱、骨盆、髋臼关节、膝关节、足踝、胫骨、创伤骨科、矫形骨科、骨肿瘤等手术实体模型的设计制造,临床应用的技术、方法、注意事项及效果分析评价。并对 3D 打印技术在骨科应用的展望与未来提出了新的论点,附录有国内外 3D 打印行业网站及论坛网址。

本书具有科学、先进、实用、创新开拓性与可操作性强等特点,是作者科研和典型病例运用 3D 打印技术进行手术治疗的经验总结。文字简洁、图文并茂、印制精美,可供临床各科医师,尤其是普通外科、骨科、口腔科、耳鼻咽喉科、肿瘤科、医学美容科医师、护师阅读使用,也可供医学院校和科研院所教学科研参考。

序 言

“忽如一夜春风来,千树万树梨花开”。随着我国骨科进入数字化时代以来,作为引领“第三次工业革命”的3D打印技术,已经在国内骨科领域,掀起了一股研发热潮。3D打印技术的出现,改变了我们固有的观念,骨科医生借助这一工具,多了一项实现精准医疗的手段。

“欲穷千里目,更上一层楼”。当前3D打印技术在骨科领域的应用,还处在初始阶段,有很多工作有待探索。《3D打印技术在骨科的临床应用与评价》专著的呈现,与其他3D著作不尽相同。“物情无巨细,自适固其常”,该书融合了传统手术与3D打印技术的新思维,详细介绍3D打印和智能数字化技术在骨科应用的原理与方法,首次以脊柱、骨盆髋臼、髌膝关节、胫骨骨折、踝足畸形、骨肿瘤典型病例为实例,深入浅出地论述了影像数据采集、三维建模等医疗处理过程,3D技术模型假体的制造,手术应用过程和术后评价等,完整地呈现了3D打印技术在骨科临床应用的原理、流程、技术、方法、效果、评价等。“万点落花舟一叶,载将春色到江南”,令人耳目一新,阅之有获。

“江山代有能人出”“雏凤清于老凤声”。难能可贵的是,本专著主编雷青教授和王冰教授,是骨科和脊柱领域中,拥有丰富实践经验的青年才俊,在3D打印技术领域,较早开展了诸多开拓性的工作。“玉经琢磨多成器,百炼功成始自然”,他们将自己工作中的经验体会,交融于专著之中。

“涓涓细流,归为江海;纤纤白云,终成蓝图”。本书的出版,为我国骨科和脊柱外科医师提供了一部特点鲜明、内容详实、实用性强的3D技术在骨科应用的优秀参考书。在这里,我诚挚地祝贺该书的出版。

中国工程院资深院士
南方医科大学教授

2016年12月18日

经世慎

前言(一)

3D 打印技术源于 19 世纪末的美国。从 1986 年第一台 3D 打印机的诞生到现在,日新月异的科技进步,使 3D 打印技术得到了飞速发展,打印技术的革新和材料的多样化发展,使 3D 打印技术不仅在传统的制造行业体现出非凡的发展潜力,更延伸至航空航天,土木工程,服装食品和医疗行业等许多与人们生活息息相关的领域。

我院骨科从 2013 年起,在雷青主任带领下的骨科学术团队与医学影像学科紧密合作,通过临床病例资料、医学影像采集、数据转换与 3D 打印技术的有机结合,将 3D 打印这一新技术应用于骨科临床,并于 2014 年成立了长沙市 3D 打印技术医学应用研究所,已临床应用病例达 1000 余例,其中多项技术填补省内空白,荣获省、市科技进步奖多项,获得国家专利 10 项,多项较为成熟的技术在省内外做了较为广泛的推广,并已为中南大学湘雅二医院等 20 多家三级医院提供了相关技术支持。

现在,我院骨科与中南大学湘雅二医院脊柱外科又合著了这本《3D 打印技术在骨科的临床应用与评价》,总结了本院骨科、中南大学湘雅二医院脊柱外科、长沙市 3D 打印医学应用研究所的科研成果和临床应用病例的经验教训、体会和效果评价,读后我感到这本书内容科学、新颖先进,具有创新性、原著性、实用性和可操作性强等特点。书中所介绍的典型病例均来自本院骨科和中南大学湘雅二医院脊柱外科。书中以 3D 打印技术在骨科临床应用的原则观点为指导,融合传统骨科手术与 3D 打印技术的新思维,详细论述了 3D 打印技术在骨科临床应用的原理流程,个性化实体模型的制造技术、手术方法、临床效果评价,指出了需要解决的技术问题、缺点及注意事项。全书文字简洁、通俗易懂、图文并茂、印制精美,是一本很有学习参考价值的好书。

本书凝聚了我院骨科、影像科、长沙市 3D 打印技术医学应用研究所和中南大

学湘雅二医院脊柱外科专家们的智慧和汗水。作者们在完成大量的临床工作和科研工作之余,抽出时间编著本书付出了辛勤的劳动。在编写过程中,科学技术文献出版社特聘编审张宪安教授给予了具体指导,中南大学湘雅二医院脊柱外科博士生导师吕国华教授为本书主审,中国人民解放军医学生物力学重点实验室主任、中国工程院院士、南方医科大学钟世镇教授在百忙中为本书作序,在此一并表示深深的谢意。

由于时间仓促,加上水平所限,本书难免有疏漏和不妥之处,恳请广大读者指出斧正,以便再版时修正、充实、提高。

湖南省长沙市第三医院
中南大学湘雅医学院长沙三临床学院

院长 

2016年10月18日

前言(二)

近年来,做为引领第三次工业技术革命的 3D 打印高新技术已逐步进军到医学领域。与传统医学技术相比,3D 打印技术的应用能根据患者需要,来模拟重建组织,确定器官修复方案,快速制备个性化的生物医用材料和精确控制材料的微观结构,不但可以充分降低医疗成本,同时使患者受益,还能够让更多的‘不可能’变为‘可能’,从而有助于实现个体化的精准治疗。

在骨科领域中,脊柱部位由于复杂的解剖结构和多样的病理变化,使得手术风险较高。一台成功的脊柱手术,离不开正确的疾病诊断和责任节段的定位,同时还与合理的术前规划密切相关。借助 3D 打印技术对脊柱疾病患者进行疾病诊断、医患沟通、术前规划设计,为手术模拟操作、优化手术流程、预测评估手术效果等提供了一种新的方法。对于某些解剖结构复杂,不适用于常规内植入物产品的病例,能制造特殊形态结构的人工内植入物,既能明显提高手术的成功率,缩短手术时间和提高手术精确性,又能有效地减少手术并发症的发生。做为一种新的仿真学研究方法,3D 打印技术的精确性、可重复性和安全性等优点,使得该项技术在脊柱外科研究领域得到了广泛关注与应用。

3D 技术打印模型应用在复杂四肢、骨盆、髌臼骨折患者,可完成个性化、最优化的术前设计。术者可在模型上预演手术,确定要选用内固定的型号,并根据骨骼形态设计好内固定的形状,使内固定更贴合骨面,不仅可以减少内固定失败的因素,还可以缩短手术时间,减少术中透视次数及术者和患者 X 射线暴露。手术方案的优化可明显减少术中出血量,一定程度上达到缓解社会用血紧张的目的。

自主研发的个性化定制钢板可以减少术中钢板的使用数量,降低医疗成本。利用 3D 打印模型分析骨折形态,设计手术方案,结合个性化定制钢板,将达到简化手术步骤,减少组织损伤的目的。我科目前使用的个性化内置物并非直接由 3D 打印而来,而是通过提取骨折的 CT 数据建立骨折模型,再根据骨折形态反向设计

个性化内置物,按照设计的内置物的外形铸造而成。3D 金属打印的接骨板尚需通过力学测试、动物实验及长期的临床观察后才能真正应用于临床。

3D 打印技术设计与制备的金属垫块能够比较完美地解决因传统假体往往不能完全匹配患者骨骼的个体差异,各种疾病导致的骨缺损使骨骼的外形不确定等导致的问题。

3D 打印技术以精确的三维物理模型,将复杂的骨折情况更直观地展示在临床医生面前。复杂骨折的评估及分型变得容易,术前诊断更加明确,而且手术医生可以在术前进行逼真的手术模拟,对术中用到的固定接骨板进行预塑形。计算机设计的术中导航模板可以通过 3D 打印进行快速制作。精确的术中定位明显减少了 X 线透视的使用次数,这对患者及医生的健康都是有益的。个性化内置物的使用使得内置物更完美的匹配患者骨骼的个体差异。

虽然 3D 打印技术在骨科专业中的应用广泛且前景可观,但总体来讲仍处于起步阶段,尚需要在临床医疗、医学教育、医用生物材料开发和政策法规方面继续努力,希望本书能够为进一步推动 3D 打印技术深入发展提供助力,并最终提高医疗质量和造福患者。

中南大学湘雅二医院脊柱外科

吕国华 王 冰 邝 磊

2016 年 10 月 9 日

目 录

第一章 3D 打印技术的概念、基本原理及目前在生物医学领域的应用现状	1
第一节 3D 打印技术的概念、起源发展简史	1
第二节 3D 打印与时代碰撞出火花	2
第三节 3D 打印的基本原理	2
第四节 3D 打印机的分类及常见的 3D 打印机	3
第五节 3D 打印在生物医学领域应用的优点和技术优势	18
第六节 3D 打印在生物医学领域的应用现状	19
第七节 3D 打印在骨科的临床应用现状	24
第二章 生物医学 3D 打印的常用设备、材料、技术、工艺、数据采集及处理	30
第一节 生物医学 3D 打印的数据采集与处理	30
第二节 3D 打印的扫描技术	32
第三节 生物医学 3D 打印的常用设备	34
第四节 生物医学 3D 打印的液体材料增材制造系统(Liquide-Based AM System) ...	42
第五节 生物医学 3D 打印的固体材料增材制造系统(Solid-Based AM System)	43
第六节 生物医学 3D 打印的粉末材料增材制造系统(Powder AM System)	45
第七节 生物医学 3D 打印实体模型的制造	48
第八节 生物医学 3D 打印的后续工艺	50
第九节 生物医学 3D 打印的金属去伪影技术	54
第三章 3D 打印技术在脊柱手术中的临床应用	58
第一节 青少年特发性脊柱侧凸实体模型的制造与应用	58
第二节 腰椎椎旁血管外周细胞瘤实体模型的制造与应用	62
第三节 颈椎管狭窄症置钉导板的制造与应用	65
第四节 I 型神经纤维瘤病并脊柱侧凸的制造与应用	70
第五节 腰椎峡部裂性滑脱并腰椎间盘突出症置钉导板的制造与应用	74
第六节 颈椎脊索瘤切除后植入人工椎体的制造与应用	78

第四章 3D 打印技术在骨盆髋臼手术中的临床应用	82
第一节 左侧髋臼后壁粉碎性骨折伴髋关节后脱位实体模型的制造与应用	82
第二节 右侧髋臼骨折实体模型的制造与镜像技术的应用	85
第三节 3D 导板技术在髋臼前柱顺行螺钉的应用	89
第四节 3D 导板技术在髋臼螺钉及髋臼前柱逆行螺钉的应用	92
第五章 3D 打印技术在髋、膝关节置换手术中的临床应用	98
第一节 个性化的膝关节置换截骨导板	98
第二节 髋关节翻修的金属去伪影技术	104
第三节 膝关节置换骨缺损定制 3D 打印金属垫块	109
第四节 髋关节置换术后感染 (SPACER) 模型的制造与应用	115
第五节 3D 金属打印 ACT	119
第六章 3D 打印实体模型在创伤矫形骨科手术中的临床应用	123
第一节 IV 型胫骨平台骨折实体模型的制造与应用	123
第二节 VI 型胫骨平台骨折实体模型的制造与应用	127
第三节 肘关节骨折实体模型的制造与应用	132
第四节 胫骨平台骨折定制钢板的制造与应用	136
第五节 胫骨骨折畸形愈合截骨导板的制作与在矫形术中的应用	140
第七章 3D 打印实体模型在足踝手术中的临床应用	147
第一节 足踝部畸形实体模型	147
第二节 踝关节骨折实体模型	150
第三节 陈旧性跟骨骨折实体模型	154
第四节 跟骨骨折实体模型	158
第八章 3D 打印实体模型及截骨导板在骨肿瘤手术中的应用	168
第一节 3D 打印实体模型及截骨导板在指骨肿瘤手术中的应用	168
第二节 3D 打印实体模型及截骨导板在骨盆肿瘤手术中的应用	174
第三节 3D 打印实体模型及截骨导板在胫骨近端骨肿瘤手术中的应用	180
第九章 3D 打印外固定支具作用及材料制作程序与步骤	187
第一节 3D 打印外固定支具的作用	187
第二节 制作支具的材料、程序和步骤	188

第十章 3D 打印技术在骨科临床应用的展望与未来	192
附录一 国外部分 3D 打印网址	198
附录二 国内部分 3D 打印网址	199
参考文献	201

第一章 3D 打印技术的概念、基本原理及目前在生物医学领域的应用现状

第一节 3D 打印技术的概念、起源发展简史

一、概念

3D 打印即三维打印(3D printing),是快速成形(rapid prototype,RP)技术的一种,该技术以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可黏合材料,通过逐层打印的方式来构造物体,也称为增材制造(additive manufacturing,AM)。相对于传统的材料去除切削加工技术,增材制造是一种“自下而上”的采用材料逐渐累加的方法制造实体零件的技术。近二十年来,AM 技术取得了快速的发展,“快速原型制造(rapid prototyping)”“实体自由制造(solid free-form fabrication)”等概念从不同侧面表达了这一技术的特点。

AM 技术过去常在模具制造、工业设计等领域被用于制造模型;近年来,该技术逐渐应用于一些产品的直接制造,特别是一些高价值应用,比如髋关节或牙齿,或一些飞机零部件,已经有使用这种技术打印而成的零部件。“三维打印”意味着这项技术的普及。三维打印通常利用数字技术材料打印机来实现,这种打印机的产量以及销量自从二十一世纪以来得到了极大的增长,其价格也逐年下降。

二、起源

1986 年,Charles Hull 开发了第一台商业 3D 印刷机。

1993 年,麻省理工学院获 3D 印刷技术专利。

1995 年,美国 ZCorp 公司从麻省理工学院获得唯一授权并开始开发 3D 打印机。

2005 年,市场上首个高清晰彩色 3D 打印机 Spectrum Z510 由 ZCorp 公司研制成功。

2010 年 11 月,世界上第一辆由 3D 打印机打印而成的汽车 Urbee 问世。

2011 年 6 月 6 日,发布了全球第一款 3D 打印的比基尼(见图 1-1A)。

2011 年 7 月,英国研究人员开发出世界上第一台 3D 巧克力打印机。

2011 年 8 月,南安普敦大学的工程师们开发出世界上第一架 3D 打印的飞机。

2012 年 11 月,苏格兰科学家利用人体细胞首次用 3D 打印机打印出人造肝脏组织。

2015 年,3D 打印假喙助巨嘴鸟 Grecia 重归正常生活。

2016 年,澳大利亚学者打印出可帮助截肢者游泳的 3D 打印假肢。