

上海科学技术出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

# 数字脊柱外科学

DIGITAL  
SPINAL SURGERY

名誉主编

钟世镇 王成焘

主编

陈华江 袁 文



上海科学技术出版社

#### 图书在版编目 ( CIP ) 数据

数字脊柱外科学 / 陈华江, 袁文主编. —上海:  
上海科学技术出版社, 2018.1

ISBN 978-7-5478-3696-5

I. ①数… II. ①陈… ②袁… III. ①数字技术—应用—脊柱病—外科学 IV. ①R681.5-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第212595号

#### 数字脊柱外科学

名誉主编 钟世镇 王成焘

主 编 陈华江 袁 文

上海世纪出版 (集团) 有限公司  
上 海 科 学 技 术 出 版 社 出版、发行

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

浙江新华印刷技术有限公司印刷

开本 889×1194 1/16 印张 20.5 插页 4

字数: 520 千字

2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-3696-5/R·1438

定价: 248.00 元

---

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向承印厂联系调换

# 内容提要

数字医学是医学与数字化技术结合的、覆盖多学科的新兴医工交叉学科。数字脊柱外科学是以脊柱外科基本诊治理念为基础,涉及脊柱手术的相关解剖学、立体几何学、生物力学、材料学等多种专业的一门学科。本书共9章,主要介绍并评述数字化脊柱外科的基本理论和实践经验,以数字技术与脊柱外科医疗、科研及教学的密切联系为重点,突出基础理论知识普及和临床应用经验总结,对数字检查技术、手术虚拟操作技术、术中导航技术、手术机器人系统、计算机术中监测技术与术后康复技术、数字化内植物设计、3D打印技术、数字化脊柱外科研究平台、数字化诊疗技术与教学系统等重点内容逐一进行深入阐释。

本书作者长期在国内顶级脊柱外科中心工作,致力于脊柱外科的基础与临床研究,积累了丰富的经验,形成了大量高质量的研究成果,为本书的编撰工作奠定了理论与实践的双重基础。因此,本书出版将为提高脊柱外科数字化诊疗程度和水平提供重要帮助,适合脊柱外科医师、数字医学相关工作者参考阅读。

# 编者名单

## 名誉主编

钟世镇 王成焘

---

## 主 编

陈华江 袁 文

---

## 副主编

张 颖 梁 磊

---

## 参编人员

(以姓氏笔画为序)

王建喜 海军军医大学附属长征医院

王新伟 海军军医大学附属长征医院

方国芳 南方医科大学深圳医院

田 野 海军军医大学附属长征医院

冯东雷 万达信息股份有限公司

国家卫生信息共享技术及应用工程技术研究中心

医疗大数据应用技术国家工程实验室(上海)

---

刘 洋 海军军医大学附属长征医院

阮 彤 华东理工大学计算机技术研究所  
李 祥 上海交通大学机械与动力工程学院  
李 琼 海军军医大学附属长征医院  
吴晓东 海军军医大学附属长征医院  
张 颖 海军军医大学附属长征医院  
陆 声 中国人民解放军昆明总医院

---

陈华江 海军军医大学附属长征医院  
林艳萍 上海交通大学机械与动力工程学院  
罗浩天 中国人民解放军昆明总医院  
周 晖 海军军医大学附属长征医院  
赵永辉 中国人民解放军昆明总医院  
赵洪波 海军军医大学附属长征医院

---

施靓宇 海军军医大学附属长征医院  
袁 文 海军军医大学附属长征医院  
桑宏勋 南方医科大学深圳医院  
曹 鹏 海军军医大学附属长征医院  
曹厚德 复旦大学附属华山医院静安分院  
梁 磊 海军军医大学附属长征医院  
樊 勇 西安市红会医院

# 序 一

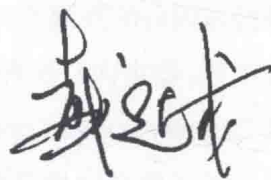
数字技术与信息技术在短短数十年间,已成为人们生活和科技发展中无处不在、不可或缺的基础与核心技术。在成为第三次工业革命的代表性技术之一的同时,也像空气一样弥散、深入到医学领域的每个角落,成为保持医学科学不断更新、发展的原动力。数字外科学、数字脊柱外科学也随之呱呱落地,并迅速成长为日趋成熟的医疗理念与技术。

20世纪末、21世纪初发展起来的一些医学科学主导理念、发展方向和关键技术,包括个体化、精准化、远程化、大数据、云计算、互联网以及各种微创、导航、机器人等高端技术和设备,都是在数字技术与信息技术的发展与渗透中形成并快速取得进步的。许多一二十年前新出现的技术创新,目前已演变为医疗行为中的主流方向和常规技术。旧有的外科与内科的界限不再那么分明,许多微创、精准的“手术”,例如多种介入治疗、支架安放术等,是由内科医师“主刀”的,手术室里组装了各种影像和信息传输设备,出现了所谓“surgery without operation”,如射频、伽马刀、细胞刀等正在成为尖端、有效的治疗措施。又正像在围棋界所向披靡的“AlphaGo”机器人大师一样,医疗上也出现了各种检查、诊断、治疗的专家系统,每个系统都集成了大量专家的智慧。这产生了一种特殊的现象:年资高的医师与年资低的医师一样,时时刻刻处于熟悉新技术、新设备的紧张状态之下,按年资高低和所属“科室”分工合作的关系被打乱了。面对一些新设备、新技术、新理念,人人都成了小学生,都需要时刻学习才能跟上时代和技术的发展,然后又再发展、再学习、再应用新的技术。“3个L”(life, long, learning)亦即继续教育的理念,也

越来越受到广泛重视。

数字技术飞速发展的过程中,需要向各行各业讲故事、谈愿景的科普读物,也需要深入浅出、面向不同知识背景的从业者,充分解析多专业知识和技术的严谨的学术专著,促进不同专业的沟通与整合。由陈华江、袁文两位教授主编的《数字脊柱外科学》为临床医师、工程师、教育工作者和研究人员提供了系统的医工结合的基础知识和临床转化经验,是一本不同年资的医师、工程师和科研工作者都能从中受益的有价值的科技学术专著。

相信大家会喜爱和应用这部专著。



中国工程院资深院士

上海交通大学医学院附属第九人民医院终身教授

2017年2月于上海

## 序 二

“问渠那得清如许，为有源头活水来”。2001年在第174次香山科学会议上，首次研讨了“中国数字化虚拟人体的科技问题”，揭开了我国数字医学研究的序幕。2007年召开了全国首届数字医学研讨会，2011年建成了中华医学会数字医学分会，同年中华医学会医学工程分会建立了数字骨科学组，2016年建成了国际数字医学会。当数字化虚拟现实技术已经发展到可以覆盖各不同专业的外科手术时，陈华江、袁文教授主编的《数字脊柱外科学》专著出版了。

“玉经琢磨多成器，百炼功成始自然”。海军军医大学附属长征医院（下文称上海长征医院）是国内第一批开展导航手术的医院。他们与上海交通大学合作，运用计算机、工程技术在脊柱外科的应用方面开展了许多工作。“基于力反馈和沉浸式虚拟现实技术的脊柱外科手术训练系统”在2013年获得了国家自然科学基金的支持。这部《数字脊柱外科学》介绍了国际和国内虚拟现实技术发展的历史，尤其对其在脊柱外科领域的发展与应用进行了系统详尽的论述，包括虚拟脊柱外科的仪器设备、软件、方法、效果评价等；介绍了利用力触觉反馈技术的虚拟手术训练系统，仿真医师对患体进行切割、缝合、磨削、钻孔等手术操作时的视觉和触觉感受，帮助训练外科医师们提高手术的精准性、安全性和微创性。

“操千曲而后晓声，观千剑而后识器”。这部专著，在详尽介绍国内外各类先进技术的基础上，还着重介绍了计算机导航辅助脊柱外科技术，包括导航系统的组成、分类、基

本原理、发展历程、临床应用,并分别对颈椎、胸椎、腰椎手术中应用需求和处理对策进行了详尽的分析和论述,还介绍了导航模板设计原理及精确性控制,因此是这个科技前沿领域中凤毛麟角式的珍品。

“不是一番寒彻骨,怎得梅花扑鼻香”。上海长征医院骨科医院对脊柱伤病的研究有丰硕的积累,开发了3代数据库/仓库产品,自1959年起积累了10万余例脊柱病例,开展了数据挖掘和临床决策模型构建工作。“不要人夸颜色好,只留清气满乾坤”,他们出版这部专著的愿望是,介绍计算机先进科技在脊柱外科的应用实践,探索创新发展,为临床工作的同仁们,提供知识资源。庆贺《数字脊柱外科学》出版之际,欣为之序。

鍾世镇

中国工程院资深院士

南方医科大学教授

2016年12月于广州

## 序 三

数字化技术是近年来飞速发展的一项技术领域,涉及多个交叉学科,具体应用方向包括内植物个性化定制、导航手术、虚拟手术、手术机器人等。这些技术方法为脊柱外科的蓬勃发展开拓了新的领域。上海长征医院是国内最早开展脊柱外科手术的骨科中心之一,在脊柱疾患诊治方面传承深厚、硕果累累。在临床科研领域,他们也是一直紧跟技术发展,在影像、内植物设计、数据处理、有限元、计算机导航、虚拟手术等方面不断有新思路、新项目。对于数字外科和脊柱外科的交叉知识、研究方式方法,长征同道的经验积累始终保持在国际先进水平。

当数字脊柱外科逐步成熟、数字技术逐步普及,成为脊柱外科医师必备知识与技能之时,由这样一个走在脊柱外科、数字化外科专业领域前沿的学科团队,组织一批学者来撰写这样一部专著,恰好响应了数字脊柱外科的发展需要,为临床医师提供了数字化技术的学习教材,也为工程师们提供了临床应用的指导,对这一领域的深入交流、发展有重要意义。

本书主编陈华江教授、袁文教授都是我多年的合作者和朋友。我们之间的合作项目涉及医用内植物/支具设计、虚拟手术及体感反馈等多个领域,并获得了国家自然科学基金支持。经过长期的合作磨合,他们的团队在计算机技术、力学研究、影像/数据处理等方面有深入理解,对于医工结合研究工作的流程、组织十分熟悉,这些深厚的研究背景,保证了本书的专业性、实用性。相信对于有兴趣在脊柱外科或骨科领

域,甚至整个医学领域开展数字技术研究或产品研发的读者,这本书一定会具有重要的参考价值。



上海交大学生命质量与机械工程研究所所长

医学假体工程研究中心主任

上海交通大学-上海第二医科大学医用内植物工程联合研究所所长

2017年2月于上海

# 前言

数字医学是在传统医学与数字技术相结合的基础上发展而来的一门交叉学科,涉及医学、信息科学、组织工程学、机械工程学等诸多领域。数字医学的最终目标是,用数字技术阐述疾病表现、探讨发病机制、解释疾病本质、解决临床问题。人类历史上共经历过三次科技革命。第三次科技革命以计算机技术的广泛应用为代表,大大加速了科学技术与生产力的发展,人类进入了信息时代。计算机技术的快速发展促进了数字技术与传统医学的融合,强有力地推动了医学科学的数字化进程,而传统医学也由此进入了数字时代。

在2001年举行的第174次香山科学会议上,我国科学家首次研讨了“中国数字化虚拟人体的科技问题”。如今,由多学科专家参与的数字医学基础研究和以临床专家为主体的临床应用研究也已在全国范围内蓬勃开展,研究态势方兴未艾。数字医学作为一门新兴的交叉学科,在知识结构、研究方法、发展规律等多个方面都具有全新的发展方向和自身特点。数字医学虽然仍属于医学科学范畴,但它所面临的一系列问题在医学领域原有各学科中从未出现过。本书的撰写正是基于这一出发点,希望能够对这一全新领域的现状、实践经验和问题加以整理描述,促进这一领域的知识学习及交流发展。

上海长征医院骨科在脊柱伤病方面有多年的治疗经验,在相关领域先后获得3项国家科技进步二等奖。为了促进临床诊疗水平的提高,开展了大量交叉学科、新技术的探索研究。上海长征医院是国内第一批开展导航手术的医院;2013年开始,我们就与上海

交通大学合作,进行了“基于力反馈和沉浸式虚拟现实技术的脊柱外科手术训练系统”的研究,并获得了国家自然科学基金的支持。在数据分析处理方面,我们自2000年开始,开发了3代数据库/仓库产品,采集积累了自1959年起的10万余例脊柱病例,并初步开展了数据挖掘和临床决策模型构建的工作。

本书的编写得到了上海交通大学机械与动力工程学院、生物医学制造与生命质量工程研究所、南方医科大学、中国人民解放军昆明总医院等多家单位的专家支持和帮助,在此深表谢意。

本书由各位编者在繁重的日常临床、科研工作之余编写完成。编者在其中投入了大量的休息时间和无尽的心血。在计算机技术爆发增长、“互联网+医疗”资本投入火热的今天,我们希望能够本着求真务实的态度,认真地学习和介绍计算机技术在脊柱外科的应用实践,并阐明存在的问题,探索可能的解决方法,为真正有兴趣应用科学技术促进临床工作的人提供一些知识资源。由于时间紧张,书中难免存在不足之处,希望各位读者提出宝贵意见,以便在今后的修订版中加以完善。

陈华江 袁 文

2017年2月于上海

# 目 录

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第一章 · 数字脊柱外科学概述      | 1  |
| 第一节 数字技术与医学进步        | 2  |
| 第二节 数字骨科学的起源和发展      | 4  |
| 第三节 数字脊柱外科学的研究领域     | 6  |
| 第二章 · 脊柱外科数字检查技术     | 9  |
| 第一节 脊柱数字化 X 线摄影技术    | 10 |
| 第二节 脊柱计算机断层扫描技术      | 32 |
| 第三节 脊柱磁共振成像技术        | 38 |
| 第四节 脊柱数字化图像的可视化处理    | 50 |
| 第五节 数字化影像的质量控制       | 60 |
| 第三章 · 脊柱外科虚拟手术操作技术   | 75 |
| 第一节 虚拟现实与虚拟手术        | 76 |
| 第二节 脊柱外科虚拟手术训练系统     | 82 |
| 第三节 基于力反馈的虚拟手术训练系统研究 | 87 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>第四章 · 计算机导航辅助脊柱外科技术</b>     | <b>95</b>  |
| 第一节 计算机导航辅助脊柱外科技术的产生和发展        | 96         |
| 第二节 计算机导航辅助脊柱外科技术在颈椎手术中的应用     | 109        |
| 第三节 计算机导航辅助脊柱外科技术在胸、腰椎手术中的应用   | 117        |
| 第四节 计算机导航辅助脊柱外科技术在脊柱矫形手术中的应用   | 123        |
| 第五节 计算机导航辅助脊柱外科技术在脊柱复杂手术中的应用   | 129        |
| 第六节 计算机导航辅助脊柱外科技术的不足与未来趋势      | 134        |
| <b>第五章 · 脊柱外科手术机器人系统</b>       | <b>151</b> |
| 第一节 外科手术机器人系统的设计与发展            | 152        |
| 第二节 骨科手术机器人系统的应用现状             | 155        |
| 第三节 脊柱外科手术机器人的前景展望             | 159        |
| 第四节 小结                         | 170        |
| <b>第六章 · 脊柱外科术中监测技术与术后康复技术</b> | <b>173</b> |
| 第一节 神经电生理监测技术                  | 174        |
| 第二节 超声检查监测技术                   | 194        |

|     |             |     |
|-----|-------------|-----|
| 第三节 | 计算机辅助导航监测技术 | 196 |
| 第四节 | 脊柱疾病的康复治疗   | 198 |

## 第七章 · 骨科内植物数字化设计 201

|     |                  |     |
|-----|------------------|-----|
| 第一节 | 内植物多孔结构设计与力学性能分析 | 202 |
| 第二节 | 多孔结构长骨干肿瘤假体设计    | 213 |
| 第三节 | 椎间融合器及其力学性能分析    | 216 |

## 第八章 · 3D 打印技术与脊柱外科 227

|     |                       |     |
|-----|-----------------------|-----|
| 第一节 | 3D 打印技术的出现与发展         | 228 |
| 第二节 | 3D 打印技术在当代医学与骨科学的应用现状 | 233 |
| 第三节 | 脊柱外科采用 3D 打印技术的优势和前景  | 252 |

## 第九章 · 医疗大数据与脊柱外科 285

|     |                       |     |
|-----|-----------------------|-----|
| 第一节 | 医疗大数据概念与应用            | 286 |
| 第二节 | 脊柱外科临床大数据概况与难点        | 290 |
| 第三节 | 基于电子病历的临床大数据挖掘流程与方法实践 | 297 |