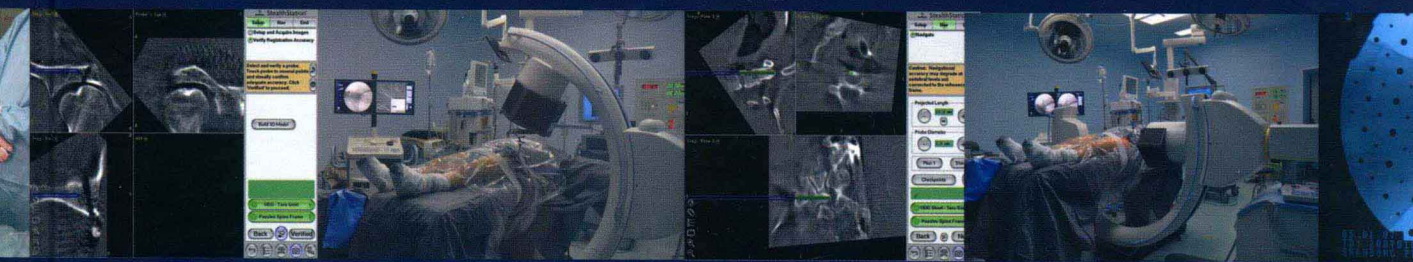


实用骨科导航技术

Practical Orthopaedic Navigation Technique

第2版

主编 周东生



人民军医出版社
PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

实用骨科导航技术

Practical Orthopaedic Navigation Technique

第(2)版

主 编 周东生

主编助理 穆卫东

副 主 编 王鲁博 王伯珉 王 甫 王永会 孙 水
孙占胜 孙建民 李连欣 张 伟 袁泽农
穆卫东

编 者 (以姓氏笔画为序)

丰荣杰	王 甫	王永会	王伯珉	王国栋
王鲁博	刘 峰	许世宏	孙 水	孙占胜
孙建民	李少华	李连欣	杨永良	张 伟
张进禄	张佐伦	张春才	陈伟伟	范新春
邹德波	周东生	郝振海	袁泽农	黄 涛
董金磊	蒋振松	鲁劲松	谭国庆	穆卫东



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目 (CIP)数据

实用骨科导航技术 / 周东生主编. —2版. —北京:人民军医出版社, 2012.8
ISBN 978-7-5091-6007-7

I. ①实… II. ①周… III. ①计算机应用—骨科学 IV. ①R68-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (2012) 第177777号

策划编辑: 郭伟疆 崔玲和 文字编辑: 陈 鹏 责任审读: 黄栩兵

出版发行: 人民军医出版社 经销: 新华书店

通讯地址: 北京市100036信箱188分箱 邮编: 100036

质量反馈电话: (010) 51927290; (010) 51927283

邮购电话: (010) 51927252

策划编辑电话: (010) 51927300—8031

网址: www.pmmp.com.cn

印、装: 三河市春园印刷有限公司

开本: 889mm×1194mm 1/16

印张: 19 字数: 371千字

版、印次: 2012年8月第2版第1次印刷

印数: 3501—5500

定价: 200.00元

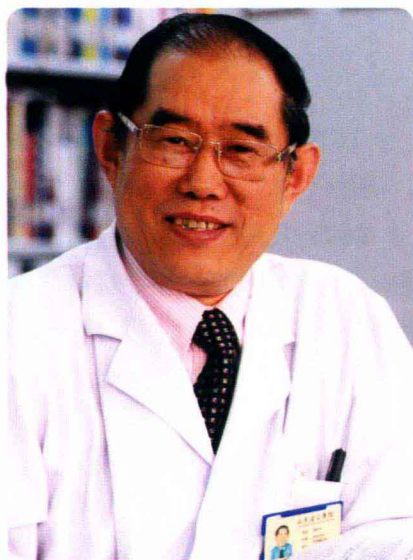
版权所有 侵权必究

购买本社图书, 凡有缺、倒、脱页者, 本社负责调换

内容提要

编者在第 1 版的基础上进行了修订，分 10 章，系统总结了近年来骨科导航技术的新进展、新认识和新经验，阐述了导航技术在颈椎内固定技术、胸腰椎内固定技术、骨盆后环损伤、骨盆前环及髌臼损伤、髌部骨折、髌膝关节置换、膝部骨折和四肢骨折中的应用。本次修订对导航技术在脊柱创伤、骨盆髌臼和四肢创伤中的应用作了补充和修改，并增加了导航技术在髌、膝关节置换中的应用等。本书适用于骨科临床医师及专业研究人员学习参考。

主编简介



周东生，男，1956年生，山东日照人，山东大学教授、博士生导师、主任医师，山东省骨科医院院长、山东省立医院大外科主任、急诊外科主任，中国骨科医师协会山东分会主任委员、山东省医学会骨科分会副主任委员、中华医学会骨科学分会委员、中华医学会骨科学分会创伤学组委员、中华医学会创伤学分会骨与关节学组委员、中国骨科医师协会常委、中华医学会医学工程分会数字骨科学组副组长、中国残疾人康复协会脊髓损伤专业委员会副主任委员、《中华骨科杂志》编委、《中华创伤骨科杂志》编委、《中国矫形外科杂志》常务编委、《临床骨科杂志》编委、《Journal of Bioactive and Compatible Polymers》编委、《Biomedical

Materials》编委。

1978年毕业于青岛医学院，分配至山东省立医院骨外科工作至今。曾赴德国柏林 Charite Campus Benjamin Franklin Medical Center、美国纽约大学 (NYU Hospital for Joint Diseases) 及澳大利亚国立大学 (Australian National University) 等进修学习。

从事骨科专业 30 余年，1992 年在山东省内首先创立了创伤骨科专业。20 世纪 80 年代在国内较早应用并推广 AO 原则及技术、带锁髓内钉技术以及椎弓根钉技术，率先应用 Dick 钉、AF、RF 以及椎前后路钢板治疗脊柱骨折。2004 年和 2011 年分别引进德国西门子公司实时三维数字化移动 CT-SIREMOBIL Iso-C 3D 及枢法模公司导航设备，为全国范围内最早使用该系统的专家之一。2010 年在山东省立医院主持成立了美敦力亚太创伤导航培训中心。在导航系统辅助下开展了大量的脊柱、骨盆髋臼及四肢骨折微创内固定手术，使手术更加安全、有效。

近年来，在国内外核心杂志上发表论文 100 余篇，其中被 SCI 收录 20 余篇。完成国家级、省市级科研课题 10 余项，获科技成果奖 10 余项，获国家专利 5 项。已培养硕士研究生 40 余名，博士研究生 10 余名。主编《实用骨科导航技术》《骨盆创伤学》（第 1、2 版）《脊柱外科手术及并发症学》《四肢损伤与畸形的修复重建学》《实用地震伤治疗指南》《实用外科诊疗常规》《外科及药物治疗学》等著作。

第 2 版序

六年前，山东省立医院周东生教授在应用导航技术具体操作时，遇到了一系列的困难及问题，但当时尚无一本关于导航技术的参考书指导他们。有鉴于此，他们在反复实践应用中，注重探索并积累了一些关于导航技术应用的经验，在此基础上编撰出版了《实用骨科导航技术》一书。

近年来，随着导航技术的迅速发展、导航设备不断更新，全国多个地区及医院逐渐开展了导航辅助下的各种骨科手术，取得了良好的临床效果，但同时也遇到了一些与导航技术相关的问题。基于此，山东省立医院周东生教授在《实用骨科导航技术》第 1 版的基础上，对近年来导航技术的新进展、新认识和新经验进行了系统的总结，编撰了《实用骨科导航技术》第 2 版。第 2 版在第 1 版的基础上，重点介绍了近年来导航技术在骨科的应用进展，尤其对在脊柱创伤、骨盆髌臼和四肢创伤中的应用进行了补充、修改和总结；第 2 版还增加了一些新的章节，主要包括导航技术在髌、膝关节置换术中的应用等，使读者能够更加全面、深入地了解导航技术在骨科领域中的应用现状。

本书主要特点在于作者结合自己多年来骨科导航的临床使用经验，参考国际上近年来骨科导航的主要进展编撰而成；内容翔实，图文并茂，条理清晰，既重视导航技术在骨科不同手术中的实践操作应用，又阐述了作者在不同骨科手术中应用导航技术的体会和经验。本书在保留第 1 版大部分图片的基础上，更换并增加了大量的影像学资料，便于读者阅读理解。

数字骨科技术近年来发展较快，为推动这一前沿技术的更快发展，经中华医学会批准 2011 年 11 月中华医学会医学工程学分会数字骨科学组成立。导航技术作为数字骨科学的重要内容，其微创性、精准性及高手术质量近年来已引起临床外科医生的兴趣与高度重视，对此，理应重点予以推广应用。相信《实用骨科导航技术》第 2 版的面世，将会对导航技术在骨科领域的积极开展、提高我国骨科医生导航手术操作水平、提升骨科手术质量，进而推动我国骨科技术的发展都会起到积极的作用。

中华医学会医学工程学分会数字骨科学组组长

裴国献

2012 年 7 月 1 日

第 2 版前言

《实用骨科导航技术》第 1 版出版已经 6 年了，当时，因导航设备、操作技术、时间仓促等多方面的原因，第 1 版内容已不能满足目前导航技术发展的需要。在这 6 年中，随着设备的更新，技术的进步以及我们在骨科手术中应用导航技术的范围拓展、经验的逐渐增多，又总结了许多新的体会，补充并修改了新的章节，较第 1 版更加全面，希望能给年轻医生及导航爱好者提供一点指导和帮助。

《实用骨科导航技术》第 2 版在保留第 1 版章节的基础上，我们新增加了导航技术在髋、膝关节置换中的应用等章节，由原来的 8 章扩充为 10 章，基本涵盖了导航技术在骨科各类手术中的应用。山东省立医院于 2011 年对原有导航设备进行了更新换代，引进了新一代枢法模导航设备。第 2 版中包含了我们应用新一代导航设备时取得的一些成功的经验和体会以及导航技术与普通 C 形臂辅助下骨科手术的优缺点的比较和总结。另外，我们还对第 1 版中部分模型图进行了更新，并增加了几百幅影像学及术中操作图片，力求使第 2 版书内容更丰富、更翔实、更直观，便于读者理解，以期更有效地指导医师们的临床工作。

本书的编写人员均为具有丰富临床经验和熟悉导航系统的临床一线医师，所有材料均来源于他们第一手的临床资料和切身体会，相信本书一定会对读者的临床工作有所帮助。本书适用于拥有或对导航技术感兴趣的各级医院骨科医师学习参考。

由于导航技术和骨科专业发展较快，本书难免存在一些不足之处，敬请各位专家和广大读者给予批评指正。

山东省立医院
山东省骨科医院
周东生
2012 年 6 月

第 1 版序

目前医学科学技术的发展可谓日新月异，手术导航系统就是计算机推动医疗技术进步的一个范例。手术导航最早出现于 20 世纪 80 年代，近年来，该技术的推广应用十分迅速，目前已经用于包括骨科在内的多个专业。而且导航技术本身也在不断发展完善，从最初的 CT 交互式导航到光学导航和电磁导航，系统的精度不断提高，临床实用性越来越强，目前已经成为了手术医师的得力助手，可以帮助手术医师制定手术方案，提高手术的准确性和安全性，并减少手术创伤。

为了方便广大骨科医师学习和了解这项先进技术，山东省立医院骨科周东生教授等编写了《实用骨科导航技术》一书。山东省立医院是我国最早开展导航骨科手术的医院之一，目前已完成该类手术 200 余例，积累了一定的经验。本书文笔清晰简洁，图文并茂，介绍了医用导航技术的发展史、基本原理、面临的问题和发展趋势以及导航技术在脊柱外科、骨盆与四肢损伤手术中的应用，可以给予初开展导航技术的骨科医师以借鉴和帮助，实为一部使用价值较强的骨科参考专著。

当然，新技术的掌握和完善还需要通过不断实践，再进一步上升为理论。周东生教授编写的这部骨科新技术的参考书，为热心导航技术的同道们提供了一个发表意见的依据。因此，本书的真正价值远远不止一本参考书，而是一种探索新技术、认识新事物的体现。衷心希望它能为骨科事业的快速发展添砖加瓦，贡献力量。

邱贵兴

2007 年 3 月

第 1 版前言

外科领域正面临着一场具有时代意义的重大变革。

近半个世纪以来计算机技术的发展突飞猛进，计算机技术的进步已经体现在包括医学在内各个领域并为其带来了广泛而深刻的变革。早期计算机技术与医学的结合主要体现在以 CT 和 MRI 为代表的影像医学方面，而外科手术长期以来一直依赖手术医师的经验和技巧。20 世纪 80 年代，经过计算机科学、信息学、工程学、外科学以及医学影像学研究者的努力与协作，终于研制成功了第一代手术导航系统。手术导航系统是立体定向技术、现代影像诊断技术、微创手术技术、电子计算机技术和人工智能技术相结合的产物，近 20 年来在世界范围内已得到了迅速的推广和发展。手术导航系统可以帮助外科医师更好地计划和模拟手术步骤，提高手术的准确性，减少手术创伤以及减少手术医师和病人承受放射线辐射的剂量。近年来国内少数大医院也陆续在神经外科、骨科等学科开展了该项技术。我院骨科近几年来已完成导航手术 200 余例，在手术导航系统的操作和使用方面有粗浅的体会，积累了点滴经验，在此予以交流，以期对该项技术的开展和推广有所帮助。

本书共八章，主要介绍了医用导航技术的发展史和基本原理，导航技术在脊柱外科、骨盆和四肢损伤中的应用等。为了便于理解和使用导航技术，在该书各个章节中都附有大量图片，这些图片是我们临床工作中的第一手资料，同时将其与我们的手术操作体会相互结合以供各级医师参考。

由于我们开展导航手术的时间尚短，有待继续积累经验，而且医用导航技术本身也需要不断地发展和完善，书中难免有缺点或错误，敬请广大读者批评指正。

山东省立医院创伤骨科

周东生

2007 年 4 月

目 录

第 1 章 导航技术概论	1
第一节 导航技术发展史.....	1
第二节 外科导航技术的发展史.....	3
第三节 外科导航系统	4
第四节 导航技术的新进展及推广应用情况.....	17
第五节 导航技术面临的问题及未来展望	25
第 2 章 导航技术在颈椎内固定术中的应用	31
第一节 颈椎导航技术的应用解剖	31
第二节 颈椎损伤的分类.....	35
第三节 导航辅助下 Magerl 内固定术	36
第四节 导航辅助下枕颈融合 Cervifix 系统内固定术	49
第五节 导航辅助下寰枢融合内固定术	61
第六节 导航辅助下齿状突骨折前路螺钉内固定术	68
第七节 导航辅助下颈椎椎弓根螺钉内固定术	84
第 3 章 导航技术在胸腰椎内固定术中的应用	100
第一节 胸腰椎导航技术的应用解剖.....	100
第二节 导航辅助下胸腰椎骨折内固定术	102
第三节 导航技术在脊柱侧凸手术中的应用	112
第四节 导航辅助下经皮椎体成形术.....	131
第 4 章 导航技术在骨盆后环损伤中的应用	138
第一节 骶髂复合体导航的应用解剖.....	138
第二节 骶骨导航的应用解剖	140
第三节 骨盆后环损伤的特点及常规治疗方法	149
第四节 导航辅助下骶髂螺钉技术在骨盆后环损伤治疗中的应用	161

第 5 章 导航技术在骨盆前环及髌臼损伤中的应用	181
第一节 骨盆前环及髌臼前后柱的临床应用解剖.....	181
第二节 骨盆前环及髌臼前后柱的导航应用解剖.....	183
第三节 导航辅助下耻骨联合分离与耻骨上支骨折微创内固定术	190
第四节 导航辅助下髌臼前后柱骨折微创内固定术	198
第 6 章 导航技术在髌部疾病中的应用	211
第一节 髌部导航应用解剖	211
第二节 导航辅助下空心钉治疗股骨颈骨折.....	212
第三节 导航辅助下髌部加压螺丝钉（动力髌）治疗粗隆间骨折	219
第四节 导航辅助下髓内钉治疗粗隆间骨折.....	223
第五节 二维导航辅助下髌部骨折的内固定术	228
第六节 导航辅助下髓芯减压治疗股骨头坏死	230
第 7 章 导航技术在膝关节置换中的应用	237
第 8 章 导航技术在髌关节外科中的应用	253
第 9 章 导航技术在膝部骨折中的应用	275
第一节 导航辅助下胫骨平台骨折的治疗	275
第二节 导航辅助下单纯交叉韧带起点撕脱骨折的治疗	282
第 10 章 导航技术在四肢骨折中的应用	286
第一节 导航辅助下股骨干、胫骨干骨折的治疗.....	286
第二节 导航辅助下踝关节骨折的治疗	290

所以这两套编码的相位是不同步的。只要比较这两种编码的相位差，就能计算出接收编码的时间差，也就是从卫星发射电磁波传递到 GPS 接收机上所需要的时间。我们知道，电磁波的传播速度是每秒 30 万 km，有了时间和速度计算机就能计算出从接收机到卫星之间的距离。由于卫星的位置是确定的，所以我们只要确定从 GPS 接收机到 3 颗卫星的距离就如同建立了一个三维坐标系，那么就可以确定 GPS 接收机所在的空间位置。这个位置不光是地球的经纬度，也包括高度，所以 GPS 不但可以确定精确的平面位置，也能确定海拔高度。有了经纬度，我们就能在地图上找到物体所在的准确位置。当然，这一切都是由计算机完成的，位置确定以后，计算机就会在电子地图上显示出自己的所在位置，同时还能计算出海拔高度、运动速度、加速度等重要参数。卫星向地面接收机发射带有测距码的载波信号，卫星的轨道是已知的 (x, y, z) ，那么地面点在某一时刻通过对接收到的卫星信号进行分析就可以得到卫星到地面点的距离，那么只需要 3 颗卫星就可以定出地面点的位置，但是接收机的时钟是不准确的，所以需要同时接收 4 颗卫星的信号（四维）才能准确地交会定出地面点的位置。由于信号在传播过程中受到电离层、对流层、多路径和相对论效应等多方面的影响，以及美国针对民用 GPS 的信号干扰政策，定位精度一直很难达到理想的情况。为了解决这些不利影响，定位技术的发展正经历 4 代的更迭（图 1-1）。总体说来，GPS 定位可以分为相对定位和绝对定位。绝对定位也称单点定位，即利用 GPS 卫星和用户接收机之间的距离观测值直接确定用户接收机天线在坐标系中相对于坐标原点（地球质心）的绝对位置。相对定位也称差分 GPS 定位，即至少用两台 GPS 接收机，同步观测相同的 GPS 卫星，确定两台接收机天线之间的相对位置，相对定位的精度较高。

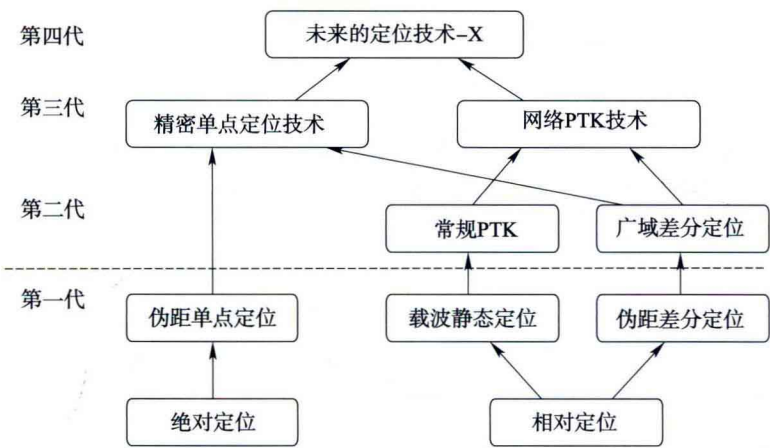


图 1-1 定位技术的发展

二、GPS 定位技术的发展阶段

第一代的 GPS 的绝对定位采用的是伪距单点定位。由于伪距的测距码的波长长达几十米，单点定位的效果很不好，一般精度只有几十米至上百米，只能用在船只等导航用途上。

第二代是实时动态技术。该技术的精度可以达到分米 / 厘米级，使精密导航成为了可能。但是实时动态技术使用起来还是有许多的缺陷，例如对于大范围地区，由于通信技术的限制，要建立许多基站的控制网，这是极大的浪费。

现阶段，以网络实时动态技术为代表的第三代定位技术已经悄然兴起并蓬勃发展。网络实时动态技术将广域差分技术和传统的实时动态技术相结合，在 GPS 使用密集的地区，由政府建立控制网（城域、省域、全国等），并通过数据中心和发射台处理和发射差分信号，免去了用户建立基站的烦扰。

网络的实时动态技术精度可以达到厘米级。

第三代定位技术还处在发展阶段,但可以肯定的是,它将极大地减小GPS运用难度,并在未来几年中更蓬勃地发展。

第四代即未来的定位技术是怎样的目前还不得而知,但可以肯定的是,卫星定位导航系统将会有重大地发展。

第二节 外科导航技术的发展史

近年来计算机技术的发展突飞猛进,计算机技术与医学的结合也日益紧密。现代科学技术的发展越来越体现出多门学科的交叉与渗透,而在医学领域,作为近年来发展迅速的手术导航系统,是集经典(框架)立体定向技术、现代影像诊断技术、微创手术技术、电子计算机技术和人工智能技术相结合的产物,在世界范围内已得到了迅速的推广和发展。近10年来,随着计算机技术和精密机械自动控制技术的日益成熟,医学影像设备质量的不断提高,结合计算机医学图像处理及三维可视化、医用机器人、空间三维定位导航系统和临床手术,由定量诊断、手术模拟和预测(surgery simulation)、立体定向导航和远程医疗等组成的计算机辅助外科手术(computer assisted surgery, CAS)系统已成为生物工程研究的热门领域之一。

1986年,日本、美国和瑞士几乎同时开发了由交互式CT机组成的导航设备,这就是最初的CAS。1990年枢法模公司推出全球第一台针对骨科的光学手术导航系统并投入临床使用,该系统已通过FDA认证。目前,在国外,主要有日本IBM公司东京研究所开发的CLIPSS系统,Medtronic(美敦力)公司开发的FluoroNav™骨科手术导航系统,瑞士Medvision系统,德国OrthoPilot系统等。而美敦力公司与GE公司联手研制的术中磁共振MRI导航系统能够彻底解决现有的红外线光学手术导航系统中影像漂移的问题。在国内,已知的导航系统有安科公司的ASA-610V手术导航系统、海军总医院和北京航空航天大学开发的机器人辅助微损伤神经外科手术系统、清华大学计算机系开发的基于虚拟现实的计算机辅助立体定向神经外科手术计划系统、北京中西集团公司开发的BJ38-ASA-620立体定向手术计划系统等。

在CAS手术过程中,屏幕上可以显示手术工具及内置物与病人的解剖部位之间的关系,为了这个目的,必须进行术前影像学定位和注册。这个系统与汽车导航使用的全球定位系统(GPS)类似。手术器械就好比是汽车,驾驶员可以在数字地图上查看汽车的位置。在手术导航中,术前或术中获取的影像学图像就好比是GPS中的数字地图。外科导航系统的核心部件是追踪器,它可以识别专用手术器械判定其位置。追踪器就好比是GPS系统中的卫星,通过追踪汽车发出的信号来判定其位置。外科追踪系统对目标的定位依赖的是电磁、声音或光信号。目前最常用的是发光二极管(LED)光信号追踪及反光球反光盘的被动反射追踪。安装有4~6枚LED或被动反射球的参考架被固定在手术器械和目标骨骼上来完成定位。为了便于手术过程中手术野的移动,必须同时追踪目标骨的位置。因此,安装有LED或被动反射球的参考架被固定在目标骨上,这个参考架被称作动态参考架。追踪器在手术过程中接受LED上及手术器械上的LED或被动反射球发出的信号。这样,就可以显示手术器械在目标骨上的位置。

手术导航系统临床应用目的:①更好地计划和模拟手术步骤;②提高手术的准确性;③减少手术创伤,减轻手术痛苦,缩短住院时间,避免长期卧床,缩短术后康复时间,降低医疗费用;④使以往不能治疗或治疗困难的疾病得以治愈;⑤减少术中手术医生和病人放射线辐射剂量;⑥无需输血,减少输血感染事故;⑦减轻医护人员负担,缩短护理时间,避免医护人员感染病毒性肝炎、艾滋病等。

计算机辅助外科(CAS)最早用于神经外科,其目标是做好术前计划,增加手术的安全性。神经

外科医生在该技术的帮助下进行颅内穿刺活检、放射性核素置入及肿瘤切除。作为 CAS 的一部分，外科医生可以在术前计划中对影像学图像进行模拟操作。

CAS 的临床应用已有 20 余年的历史，从 CAS 转向计算机辅助骨外科 (computer assisted orthopedic surgery, CAOS) 是从 20 世纪 90 年代初开始的。CAOS 能为骨科手术精确术前、术中定位，在计算机图形处理工作站上可进行术前模拟操作、手术路径规划，在术中可实时跟踪、监测、显示手术器械、病灶及周边组织、内固定物、人工假体的相关位置。CAS 在矫形外科及创伤外科领域最先被应用于辅助安放腰椎椎弓根钉。在髋关节手术中，CAS 技术可以帮助提高全髋置换及髋周围截骨手术的成功率。在膝关节手术中，CAS 被用于全膝置换和膝关节韧带手术。创伤科手术往往需要解剖复位内固定，现在导航技术在创伤骨科的应用包括：骶髂螺钉固定、经皮固定髋关节骨折、长骨的复位及固定以及脊柱骨折的治疗等。这些手术可以通过 X 线导航或 CT 导航来进行。

第三节 外科导航系统

手术导航系统也称为图像引导手术导航系统、计算机辅助外科手术等，其工作原理是利用数字化扫描技术所得到的病人术前影像信息，通过媒介体输入到系统的核心——功能强大的计算机工作站中，工作站在经过高速运算处理后重建出病人的三维模型影像，手术医生即可操作相关软件（神经外科、功能神经外科、脊柱外科、耳鼻喉科、整形外科等）在此影像基础上进行术前计划并模拟进程。实际手术过程中系统红外线摄像头动态追踪手术器械相对病人解剖结构的当前位置并显示在病人的二维或三维影像资料上，手术医生通过高解像度的显示屏从各个方位（轴向、矢状位、冠状位、术野前方透视层面等）观察到当前的手术入路以及各种参数（角度、深度等），从而最大限度地避开危险区，在最短的时间内到达靶点病灶，大大减少病人的失血量与手术创伤以及并发症，完成真正意义上的微创手术。

一、手术导航系统的分类

1. 按交互方式分类 导航系统需要导航工具与手术目标、手术医生、手术器械以及图像系统之间的交互操作。按照交互方式的不同，将手术导航系统分为主动式导航、被动式导航、半主动式导航 3 种。

(1) 主动式导航系统主要是指手术机器人系统。这是因为机器人在实施手术的过程中完全凭借机器手进行操作，不需要手术医生的人工干预。机器人可以按照手术计划进行精确的手术操作，但必须有足够的安全保障措施来保护手术医生及病人免受任何可能发生的误操作危险。然而，机器人在灵活性方面却往往难以满足手术的复杂性要求，因而限制了手术机器人的临床推广应用。

(2) 被动式导航系统目前占据主要的市场份额。该系统在手术过程中起辅助作用，仅仅控制手术工具的空间运动轨迹，最终的手术操作还要靠手术医生来完成。空间立体定位技术是其关键技术，可确定手术器械与病人解剖结构之间的空间位置关系。

(3) 半主动式导航系统大多还处于实验研究阶段，尚未见到临床应用报道。它属于第 2 代医用机器人手术系统，允许手术医生在机器人控制的安全范围内随意移动手术工具，既有机器人的精确性，又有人手的灵活性。

2. 按导航定位所采用的信号系统分类 导航系统的技术基础是准确的空间定位技术，根据导航定位所采用的信号系统的不同可分为机械定位导航系统、光学定位导航系统、超声定位导航系统及电磁定位导航系统。

(1) 机械手定位导航系统是最早应用的导航定位系统。该系统典型精度为 2 ~ 3mm，优点是技

术成熟可靠、可在特定位置夹持手术器械,缺点是系统庞大、无法跟踪移动物体、自由运动有限。

(2) 光学定位导航系统是目前使用最广泛、精度最高的手术导航系统。该系统是通过摄像机观察目标,然后根据立体视觉原理重建目标的空间位置,典型的精度为1mm,优点是手术器械更换方便、体积小、易操作、可跟踪多个目标、速度快,缺点是易受手术室背景光线和其他反射物的干扰、价格昂贵,该定位技术在骨科应用最多。

(3) 超声定位导航系统的定位精度一般为5mm,具有价格便宜、校准方便的优点,但易受环境影响,精度差,存在遮挡干扰现象。

(4) 电磁定位导航系统的定位精度一般为3mm,优点是价格相对较低,体积小,不会被遮挡,缺点是工作范围小,易受铁磁性物质干扰。

3. 按导航系统图像获取方式分类 按导航系统图像获取方式可分为X线导航系统、CT导航系统、MRI导航系统及完全开放式导航系统四大类,其中X线导航系统又可分为二维X线导航系统和三维X线导航系统。

(1) X线导航系统的图像获取依赖C形臂X线机。在传统的脊柱手术或髓内钉手术中需要应用C形臂X线机,因而C形臂X线透视导航系统及其临床应用就成为近年来的研究热点。这种系统的关键是对传统的C形臂成像系统进行内部校准,一般是在C形臂的影像增强器一侧安装一个均匀网格分布的目标靶,经过差值算法对荧光透视图像进行几何矫正。在术中,通过光学定位系统以及C形臂机成像系统,可实时显示X线图像解剖、手术工具、C形臂机之间的空间位置关系;通过导航定位装置,可预先确定X线的透视方位,大大减少手术中医护人员的X线辐射剂量;通过各参考坐标系之间的关系,可预先推测手术工具在解剖结构中的行进路径。X线透视导航系统在欧美地区获得了一定的临床应用,在脊柱及创伤手术方面取得了令人满意的效果。这种新型方法为提高手术质量和可靠性、节省手术时间提供了很好的辅助作用。

①二维X线导航系统可使用普通C形臂X线机,普通C形臂X线机的图像是二维的,其所提示的器械操作只是平面的,并没有提供立体的对位对线,术中操作时还必须参考导航仪显示的其他平面影像。基于术中二维透视影像的导航系统始于1999年,从2000年开始进入临床应用。将术中“C”形臂X线机透视的影像资料输入到导航系统,术者可以同时正在正位及侧位的影像平面观察导航器械的位置。其适用于下肢长骨干骨折髓内钉远端交锁、髌髌关节或髌臼骨折经皮螺钉固定、脊柱骨折椎弓根螺钉固定、股骨颈骨折空心钉固定、股骨转子间骨折动力髌螺钉固定以及股骨干骨折闭合复位内固定。该系统的优点是无需术前计划、无需术中注册、随时更新并贮存多个影像进行同步导航。缺点是如果患者过度肥胖或有生物气可以影响透视影像的质量,而且不能调整图像的层面或角度。

②三维X线导航系统必须使用C形臂样三维X线机(也称术中CT系统)。现在市场上出现的三维C形臂X线机可提供类似CT的影像,提高了导航影像的质量。1999年,德国的Siemens公司制造了世界上第一台移动的“C”形臂样三维透视装置Iso C 3-D Siemens移动“C”形臂。该装置在机械设计上去除了中央管球与“C”形臂几何旋转轴之间的分叉,同时用步进电机在外科目标周围实现190°的高精度轨道旋转,以获取断层影像并进行三维重建。Iso C三维影像导航始于2003年,其可以在术中直接获取三维影像资料,可以任意选择及调整图像的角度和层面,并在立体图像指引下更准确地放置内置物。

(2) CT导航系统的图像来自术前CT图像。CT扫描是进行骨组织三维重建的主要手段,也是相对较简单的一种方式,因而最早应用于计算机辅助整形手术以获取三维图像数据。注册技术是其中的关键技术,目的是把病人术前CT图像数据、术中从定位器获得的病人解剖结构的形状位置信息及手术器械的位置信息集成到一个共同的坐标系统中,手术医生将这些组合信息用于术中准确定位手术病灶区域或用于术中避开危险部位。CT导航系统包括术前计划和术中手术干预,尽管在临床上积累了一定的成功案例,但仍存在一些明显的缺陷,如精确度较低、实时性较差,手术时间较长,影响了

医生使用的积极性及临床应用和发展。

(3) MRI 导航系统的图像获取依赖术中 MRI 系统。三维 MRI 是在临床广泛应用且较为成熟的脊柱手术成像方法,该系统以 MRI 三维重建数据为基础进行导航。美敦力公司和 GE 公司联手研制的新一代导航系统——术中 MRI 导航系统已投入临床测试阶段,该系统能够彻底解决现有的红外线光学手术导航系统术中影像漂移的问题。但是该系统的价格很高,推广较困难。

(4) 完全开放式导航系统则适合于那些解剖结构显露充分的手术,典型的是全膝关节置换术。该系统采用非影像定位跟踪技术,手术中以模拟标本的立体几何图像的方法进行导航。该系统既不需要术前 CT 扫描,也不需要术中 X 线或超声波图像,只需手术医生在术中用探针点取解剖结构的特征点即可。这种开放式的导航系统在欧美等国的实验机构试制成功后,很快在许多医院广泛应用,尤其是在前交叉韧带功能修复和全膝关节置换手术中取得了很好的疗效。

二、手术导航系统的基本配置及工作流程

手术导航系统的基本配置包括:①图像工作站及处理软件:负责储存影像数据、数据处理及处理后的影像显示。②位置探测装置:实质上是一个数字化坐标定位系统。③专用手术工具和手术工具适配器。

图像处理系统硬件采用高档三维图形工作站,运算速度快、图形处理能力强、可靠性高,软件处理功能强大,包括三维图像模型重建、图像任意旋转、CT/MRI 图像融合、叠视、三维模型的切割模式和前方影像预知功能,使医生看到探针所处当前位置前方远处一定距离的三个等间距的平面影像,帮助医生避免伤及病人重要、危险的组织器官。有些病变在单独的 CT 或 MRI 影像中,不能反映出足够清楚和完整的信息时,医生可在解剖结构上选择多个注册点,将两种图像进行准确地融合。影像注册方式的目的是将实际的解剖结构和重建三维图像吻合起来,其中包含点融合和面融合两种。点融合的注册点数越多,精确程度越高。在点融合注册的基础上,可以在目标解剖结构表面选择 30~40 点进行面融合注册,使病人的解剖表面信息与重建的解剖面有更好的对应关系,更精确地重建三维图像。两者的误差会以数字和图像的方式显示在屏幕上,医生在对危险部位进行手术时,应做到心中有数。图像工作站配有多种数据输入接口和外围设备接口:除了 DICOM 接口和显微镜导航接口、超声影像接口、内镜接口及一般视频接口外,还可以使用 MO 光盘、DAT 磁带、可读写光盘,充分把影像设备和手术导航系统融为一体。

德国西门子公司的最新产品实时三维数字化移动 CT (SIREMOBIL Iso-C 3D / ARCADIS Orbic 3D),是目前骨科手术中最先进的 X 线辅助设备,在市场中尚无同类产品。与二维 X 线 C 形臂相比,它可以获得三维图像,与导航技术一样,是实现三维骨科手术的前提和基础;其成像质量提高,而且可以提供术中患者解剖的三维视觉效果。但是完成三维重建需要获得几十甚至上百张图像,因此放射性照射剂量很高(图 1-2)。

该系统主要包括以下部件:高压发生器、球管、准直器系统、影像增强器、图像处理器、存储器、图像显示器、系统控制器等。在计算机控制下,高压发生器产生供 X 线球管的高压,使 X 线球管产生 X 线,经过准直器准直(调准、集中、缩小)后透射人体,经遮光器(又称后准直器)调整后到达影像增强器。当 X 线穿透人体时,因光电吸收和康普顿散射等原因会产生衰减,其衰减程度受密度(原子序数)及厚度等因素影响。对同一厚度而言,则衰减只受被扫描体密度(即原子序数)影响。也就是说,X 线经人体衰减后,携带了人体的密度信息,密度大、衰减多,反之则衰减少。衰减后的 X 线照射到影像增强器,再由影像增强器将光信号转化为电信号,信号强弱与 X 线能量成正比。即能量大,信号强;能量小,信号弱。因此,电信号的变化,记录了人体密度的变化。再



图 1-2 实时三维数字化移动 CT

将该信号经过 A/D（模拟信号 / 数字信号）转换器转变为数字信号。但是这样的变化是一种综合密度效应，并不能反映人体每一个点的相对密度值，所以扫描必须旋转 190° 以上，才能从人体不同角度，采集大量的数据，经过对这些数据进行计算机处理，得到人体每一点的相对密度值，再将这些数据经过 D/A（数字信号 / 模拟信号）转换器转换后，输出到显示器上，从而得到可见的 CT 图像（图 1-3）。

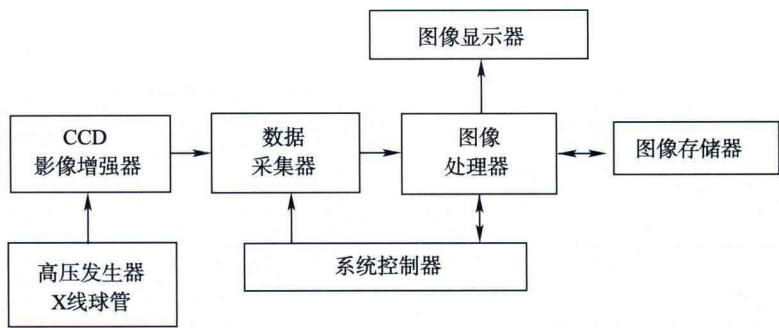


图 1-3 图像系统工作流程

西门子 SIREMOBIL Iso-C 3D / ARCADIS Orbic 3D 通过电机驱动 C 形臂绕检查部位进行轨道向 190° 等中心扫描，在 1min 内低剂量扫描 50 或 100 次，将这些扫描得到的信号通过计算机处理，转化成 12cm^3 容积范围的 CT 图像显示在显示器上，并且通过西门子统一的 Syngo（新沟通）软件对得