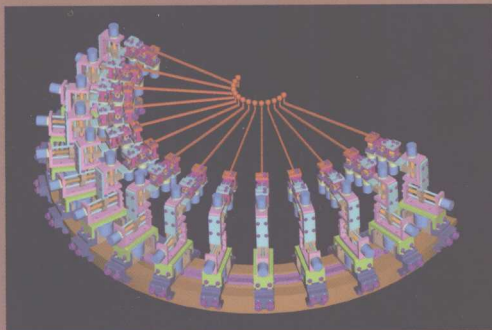
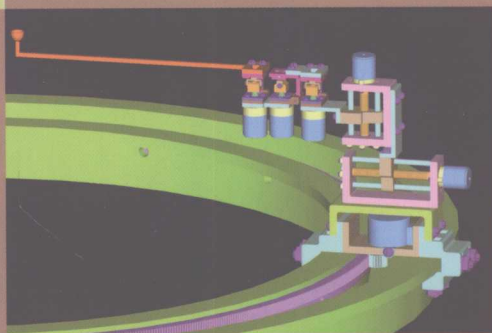


机器人化 全口义齿排牙技术

张永德 著



哈尔滨工业大学出版社

机器人化 全口义齿排牙技术

张永德 著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书介绍采用 CRS 机器人构建的全口义齿排牙机器人系统,内容包括全口义齿排牙的口腔修复学基础、排牙算法、三维交互式排牙及其软件开发、采用 CRS 机器人实现全口义齿排牙、CRS 机器人的轨迹规划及控制、CRS 机器人系统的排牙实验、用微型多指灵巧手排牙、采用多机器人操作机排牙。

本书可供从事口腔修复医学、机器人技术、生物医学工程、机械电子工程的医生、技师、教师、工程师和研究生等专业人士阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

机器人化全口义齿排牙技术/张永德著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.3

ISBN 978 - 7 - 5603 - 2485 - 2

I .机… II .张… III .义齿学 IV .R783.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 029358 号

策划编辑 杨 桦

责任编辑 康云霞

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm × 960mm 1/16 印张 11.25 字数 202 千字

版 次 2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5603 - 2485 - 2

定 价 28.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)



张永德 1965年8月出生，辽宁省清原县人。哈尔滨理工大学机械动力工程学院教授。1999年3月于哈尔滨工业大学获工学博士学位，2001年12月在北京理工大学机器人研究中心完成博士后研究。曾在香港城市大学、新加坡南洋理工大学和美国罗彻斯特大学进行合作研究。讲授机械专业的多门本科生及研究生课程。主要研究方向为医用机器人、服务机器人、仿生机器人的相关理论和应用问题。完成各类科研项目9项，发表论文70余篇，编写教材2部。目前主要承担国家自然科学基金项目“多操作机全口义齿排牙的机理及实验研究”，哈尔滨市留学基金项目“超声引导下经会阴前列腺穿刺活检机器人关键技术研究”等项目。

前 言

随着科学技术的迅速发展和机器人技术的不断进步,机器人的应用领域日益扩大。在传统的工业制造领域成功应用后,机器人技术正向农业、国防、航空航天、水下、康复、医疗等其他各个领域飞速发展,其中的医疗机器人是目前机器人研究领域中最活跃、最有发展前景的方向之一。医疗机器人技术引起美、法、德、意、日等国家学术界的极大关注,自 20 世纪 90 年代起,国际先进机器人计划(IARP)已召开过多届医疗外科机器人研讨会。在发达国家已经出现医疗外科手术机器人市场化产品,并在临床上开展了大量的病例应用研究。可以预见,在 21 世纪各种先进的机器人系统将会进入人类生活的各个领域,成为人类良好的助手和亲密的朋友。

采用机器人技术实现全口义齿制作过程中的排牙操作是机器人在医学领域的又一个全新应用。它将使定性的全口义齿修复理论提高到定量理论水平,同时也将带动口腔修复学及相关基础理论的量化研究,提高口腔修复医学的整体水平。这将彻底改变依靠医生和技师个人经验的传统手工制作方式,使全口义齿的设计与制作达到规范化、标准化、自动化、工业化的水平,从而极大地提高其制作效率和质量。

本书主要讲述机器人技术在口腔修复医学上的应用,重点介绍 CRS 机器人全口义齿排牙、微型多指灵巧手排牙和多机器人操作机排牙三大部分内容。在介绍机器人排牙的目的和意义,以及口腔修复学理论的基础上,重点讲述了 CRS 机器人全口义齿排牙的机构设计、排牙软件、排牙规划及控制、系统的实际排牙实验等。采用多指灵巧手实现人工牙的抓取和排列操作具有挑战性,也具有非常广阔的应用前景,本书对微型排牙多指手的结构参数优化设计、抓取规划、三维运动仿真等方面进行详细的介绍。采用多操作机排牙是一个更加新颖的领域,这种方法将解决采用单个机器人排牙所无法解决的排牙过程中的瓶颈问题,具有很重要的研究意义。本书对多操作机排牙方案的确定、排牙机器人的机构设计、参数优化设计、排牙机器人的运动学以及路径规划和路径控制等内容进行了全面阐述。

作者自 1999 年以来,一直从事排牙机器人的研究工作。负责和参与完成了排牙机器人相关的国家 863 计划、黑龙江省科技攻关计划和黑龙江省教育厅等多项课题,目前正在承担国家自然科学基金和哈尔滨市留学基金课题的研究工作。先后发表了 20 余篇有关机器人排牙技术的学术论文。本书的内容是作者和同事们近年来在机器

人排牙领域的最新研究成果。

本书可供从事口腔修复医学、机器人技术、生物医学工程、机械电子工程的医生、技师、教师、工程师和研究生等专业人士阅读和参考。

本书所介绍的部分内容是与北京大学口腔医学院合作研究的成果,北京理工大学的研究生宋如杰、李冰和哈尔滨理工大学的研究生于爽、赵燕江、胡腾飞、王海英、黄继峰等同学参与了课题的研究工作。在本书的出版过程中,还得到了吕培军教授、董玉红教授、王勇工程师和哈尔滨理工大学的同事们的大力支持和协助。

衷心感谢对本书的出版做出贡献的同事、朋友和研究生同学们!

由于水平有限,疏漏之处在所难免,敬请各位读者批评指正。

作者

2007年2月于哈尔滨

目 录

第1章 绪论	1
1.1 医用机器人的研究进展	1
1.2 口腔修复机器人的国内外研究综述	2
1.3 机器人排牙的目的和意义	3
1.4 机器人排牙的研究基础和背景	4
第2章 全口义齿排牙的口腔修复学基础	6
2.1 排牙原则	6
2.2 牙齿的常规排列	7
2.2.1 前牙的常规排列	7
2.2.2 后牙的常规排列	8
2.3 排牙顺序	9
2.4 牙的型号选择	9
2.4.1 前牙的选择	9
2.4.2 后牙的选择	10
第3章 排牙算法	11
3.1 散牙描述	11
3.2 无牙颌弓及牙弓的数学模型	12
3.3 人工牙列和无牙颌弓的曲线形状适配方程	14
3.4 牙在牙弓曲线上的位置计算	15
3.5 散牙长方体在牙弓曲线上位置的调整	17
3.6 排牙规则的实现	18
第4章 三维交互式排牙及其软件开发	22
4.1 软件的总体介绍	22
4.1.1 开发环境和开发工具	22
4.1.2 界面设计	23
4.1.3 流程控制	24
4.1.4 主要数据结构	25
4.1.5 文件管理	26
4.2 专家预排模块	27

4.3 模拟显示和交互调整模块	30
4.3.1 计算机的图形显示	30
4.3.2 弓形曲线的显示和牙弓参数的调整	33
4.3.3 义齿牙列的显示和义齿位姿的调整	35
第5章 采用 CRS 机器人实现全口义齿排牙	40
5.1 全口义齿机器人制作系统总论	40
5.2 系统软件结构	41
5.3 系统硬件结构	42
5.4 部分硬件的设计制作	42
5.4.1 专用电磁手爪的设计制作	42
5.4.2 光缆线的结构设计制作及光源的改造	44
5.4.3 工作台及排牙盛胶托盘的设计及制作	45
5.4.4 光敏材料的试验	46
第6章 CRS 机器人的轨迹规划及控制	47
6.1 排牙器排牙法	47
6.2 三维模拟排牙与机器人实际排牙的坐标变换关系	49
6.2.1 义齿与定位过渡块的位姿变换	49
6.2.2 定位过渡块位姿参数的计算	53
6.3 RAPL 机器人语言	55
6.4 机器人工具末端的偏置量设置	56
6.5 电磁手爪和光敏灯的控制	57
6.6 机器人轨迹规划	58
6.6.1 机器人轨迹规划的算法	58
6.6.2 机器人实际排牙的轨迹规划	60
6.7 机器人控制程序的编制	61
第7章 CRS 机器人系统的排牙实验	64
7.1 排牙实验的意义和患者颌弓参数的测量	64
7.2 机器人系统制作牙列	65
7.3 手工制作牙列	66
7.4 排牙实验结果分析	68

第 8 章 用微型多指灵巧手排牙	69
8.1 排牙多指手的结构参数优化设计	69
8.1.1 目标函数的建立	69
8.1.2 各目标函数的实现	71
8.1.3 约束条件的建立及计算结果	74
8.2 排牙多指手的运动学分析和 workspace	77
8.2.1 三指灵巧手运动学分析	77
8.2.2 三指灵巧手的 workspace	81
8.3 排牙多指手的抓取规划	83
8.3.1 抓取模式的分类	83
8.3.2 常见的接触模型	85
8.3.3 抓取映射	87
8.3.4 力封闭抓取	88
8.4 排牙多指手的三维建模及仿真	97
8.4.1 Unigraphics 简介	97
8.4.2 基于 UG 仿真分析的基本步骤	97
8.4.3 基于 UG 机构建模	98
8.4.4 运动学仿真分析	102
第 9 章 采用多机器人操作机排牙	105
9.1 采用多操作机的排牙系统方案	106
9.1.1 单操作机排牙方案的分析	106
9.1.2 多操作机排牙方案的分析	107
9.1.3 系统构成	108
9.1.4 制作全口义齿的工作过程	109
9.2 多操作机排牙机构的设计	110
9.2.1 系统具体的结构设计	110
9.2.2 自由度的分析	110
9.2.3 关键元件的选取	111
9.2.4 转动机构的设计	113
9.2.5 移动机构的设计	113
9.2.6 元件的位置排放	117
9.3 排牙机器人机构的三维设计	121

9.4 排牙机器人的参数优化设计	123
9.4.1 优化方法综述	123
9.4.2 优化模型的建立	123
9.4.3 优化模型的计算	125
9.5 多操作机排牙运动学及路径规划	133
9.5.1 排牙机器人运动学问题分析	133
9.5.2 排牙机器人运动学逆运算	134
9.6 排牙机器人运动路径控制	140
9.6.1 路径规划和运动控制解决的问题	140
9.6.2 直角坐标空间路径规划算法	141
9.6.3 二自由度机械臂的插补算法	142
9.6.4 排牙机器人的路径控制	143
第10章 包含14个独立操作机的排牙机器人设计	146
10.1 包含14个独立操作机的排牙机器人系统的总体方案	146
10.1.1 单机器人操作机方案分析	146
10.1.2 包含14个独立操作机的排牙机器人方案	147
10.2 排牙机器人的机构设计	148
10.2.1 环形轨道的设计	148
10.2.2 位置机构的设计	149
10.2.3 姿态机构的设计	152
10.3 标准元件的选择和连接	155
10.4 机构校核	156
10.4.1 前支杆的挠度计算	156
10.4.2 z轴支架上的螺钉校核	157
10.5 基于Pro/E的自动排牙机的三维设计	157
10.6 排牙机器人设计过程分析	161
10.6.1 多操作臂排牙机器人的工作过程	161
10.6.2 机构设计的总体分析	161
10.6.3 关于多操作臂排牙机器人的讨论	162
参考文献	164

第1章 绪论

1.1 医用机器人的研究进展

机器人技术在传统的工业制造领域取得成功应用后,目前正向其他领域迅速发展,这些领域包括农业、家庭及社会服务、医学等。1994年第一届国际医用机器人和计算机辅助外科会议(The First International Symposium on Medical Robotics and Computer Assisted Surgery)在美国宾西法尼亚州的Pittsburgh召开^[1],1995年第一届医学中的计算机视觉、虚拟现实和机器人学会议(The First International Conference on Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medicine)在法国的Nice召开^[2],在最近几年的IEEE机器人与自动化年会上,医用机器人一直是学者们讨论的热点话题之一^[3~6]。国际上,美国、日本、瑞士和法国等都成立了专门机构,对医用机器人的特殊领域组织攻关,力图在机器人的医学应用领域达到和保持领先地位。种种迹象表明,医用机器人这一机器人应用的崭新领域正日益受到人们的重视,其对临床医学的革命性贡献和巨大的潜在市场也将驱使更多的商家和组织投入人力和物力对它进行研究。

医用机器人技术之所以引起人们的重视并得到迅速发展,其主要原因在于机器人可以在临床医学中实现量化的精确操作。随着计算机技术的迅速发展,与之相关的计算机视觉、虚拟现实等技术也逐步得到完善。现今在临床医学中,科学家正在研究对病人的多维和多模型图像诊断,利用CAD技术分析设计临床操作过程,以期达到精确操作。在所有的计算机辅助医疗应用中,计算机辅助外科和计算机辅助放射疗法占据着重要的位置,而在这些领域中机器人无疑是最好的最终操作者。基于过去几年的研究,专家们预测,有理由相信机器人的引入将会在未来的十年内为临床医学带来革命性的变化。

医用机器人的研究目前已经取得了许多成果。在矫形外科方面,美国Carnegie-Mellon大学的机器人研究所与Shadyside医学中心受美国自然科学基金的资助,联合开展了矫形外科机器人系统的研究^[7]。整个系统的研究包括五个方面,分别为:①解剖学意义上的建模;②基于生物力学的仿真;③实体表面特征数据提取;④手术机器人学;⑤系统人机接口

的建立。此系统首选手术的项目是臀部置换。技术人员建立了基于机器人的试验平台,以对表面特征提取和具体操作策略进行实验研究。试验平台由一个 5 自由度直接驱动的 SCARA 机器人和 6 自由度力传感器及气动切割头组成,研究的重点在 CT 参考坐标系、表面特征提取设备参考坐标系和机器人参考坐标系之间关系的确定,及如何利用机器人对植入体的外形和定位孔等进行加工。有关专家分析表明,随着此系统的投入使用,不仅手术费用会大大降低,手术效果也将会得到极大提高。在神经外科方面,瑞士皇家理工学院和 Vaudois 中心医科大学的有关专家学者,研制开发了一个称为 MINERVA 的神经外科机器人系统。在此系统中,机器人是手术的操作者,它经过专门设计并与 CT 设备安装在—起。由于机器人的高重复精度,在手术操作中,它可以移开操作工具以便 CT 随时扫描,监控手术过程。CT 成为机器人的眼睛,而医生的任务则仅仅在于指出颅内目标等相对简单的操作。目前此系统的技术难点已经攻破,已有成功手术的实例,相信不久的将来会有成熟的商品推出。国内北京航空航天大学在此领域也开展了一些研究工作,他们研制的 CRAS-BH 系统已成功地施行过手术^[8]。

1.2 口腔修复机器人的国内外研究综述

在口腔外科医学研究中,机器人应用的研究刚刚起步。Duret F. 和 Rekow E. D. 等比较早地将 CAD/CAM 技术引进口腔固定义齿(嵌体、冠、固定桥、种植体)的设计与制作过程中^[9, 10]。但是他们的研究只局限于单个牙齿,无法用于口腔活动局部义齿、全口义齿及其他一些类型的义齿的设计与制作,并且没有涉及机器人的应用问题。日本早稻田大学的 H. Takanobu 等利用人类头骨模型制作了一个咀嚼机器人机构^[11, 12],用以定量和动态地研究人类口腔的咀嚼运动规律,他们还研制了六自由度的嘴部开合训练口腔康复机器人^[13],这个研究也不是真正应用机器人。美国 Rutgers 大学的 Burdea G. C. 等提出了一个具有六个自由度位置传感器手臂的辅助机器人系统,该系统采用 X 射线生成牙齿图像,从而准确地诊断牙齿腐蚀、活动及骨质脱落情况^[14]。奥地利 Vienna 大学的 W. Birkfellner 研究了计算机辅助外科的模块式软件系统,并在口腔修复义齿种植上进行了应用^[15]。美国 Kentucky 大学的 L. Wang 等研制了局部固定义齿种植机器人系统,该机器人系统能够模拟人类的上下颌运动和上下牙咬

合过程,从而有效地试验和评价各种义齿种植的设计和工序是否合理^[16]。

我国学者开展了全口义齿排牙的数学化和定量化描述的研究。北京大学口腔医学院吕培军等建立了颌弓曲线和牙弓曲线的幂函数模型^[17],并采用计算机辅助设计的方法开发了排牙软件,利用计算机图形功能实现了对全口义齿排牙过程的二维模拟^[18]。湖北医科大学口腔医学院程祥荣等开发出了一套计算机辅助全口义齿设计系统。经过对无牙颌模型、人工牙及具有正中关系位的上下颌托的三维测量、数据处理与建模等环节后,该系统能够根据全口义齿人工牙排列的原则和要求进行排牙,并进行三维显示^[19,20]。这些工作为实现全口义齿的机器人制作提供了医学上的数学基础和理论保证。

由卫生部口腔医学计算机应用工程技术研究中心和北京理工大学机器人研究中心组成的课题组较早地开展了口腔修复医学中的机器人应用技术研究^[21~25]。研究的最终目的是建立固定义齿机器人辅助种植系统和全口义齿机器人制作系统。目前已完成了一项国家自然科学基金项目,获得了无牙颌弓、牙弓及其相互关系的数学模型。

此外,还有其他单位的一些学者也都开展了相关的研究工作,他们研究的是机器人的重要应用,但还没有用机器人进行直接操作,也没有采用机器人直接制作全口义齿^[26~37]。

1.3 机器人排牙的目的和意义

人类口腔天然牙齿平均在 65 岁时基本丧失其功能,因而需部分或全部由人工修复体,即全口义齿来代替。据统计,我国有近 1 200 万老年人有此需要。同时,世界上大多数发达国家已步入老龄社会,势必会有大量的无牙颌患者需要进行全口义齿修复。此外,在发达国家安装义齿的费用非常高,而我国虽然费用相对较低,却缺乏专业的、高水平的医生,不能满足日益增长的社会需求。

在临床上,传统的全口义齿的制作方法基本上是靠手工来完成。只有经验丰富的牙科专家和心灵手巧的技师的密切合作,才能制作出低返修率、高质量的全口义齿。而现实生活中,这样的医生和技师只是凤毛麟角,这样的搭配更是少之又少。这种由医务人员个人素质所带来的随机性和局限性极大地妨碍了口腔医学的发展和医疗质量的普遍提高,并使

得口腔修复医学的现状和水平与世界科学技术的发展相差甚远。

在目前的机器人技术和人工智能等理论基础上,由机器人系统完成全口义齿的排牙和制作是完全可行的。在全口义齿的制作过程中,最关键的工序是各个牙齿之间的相对位置和姿态的保证,也就是“排牙”的质量,而机器人在处理任意物体的位置和姿态方面是非常方便的,而且能够保证较高的精度。采用专家系统软件将牙科专家和牙科技师的丰富经验和系统集成起来,再由机器人这一高度自动化的设备完成排牙和全口义齿的制作,融合机器人的运动学、动力学及控制等技术和牙托处理等口腔医学技术,就组成了一套全口义齿的机器人制作系统。

这样的机器人系统必然会彻底改变目前口腔医学中全口义齿的制作形式,极大地提高其生产效率及产品的质量,降低其生产成本。所以,全口义齿机器人制作系统的研制具有重要的实际应用价值和广阔的应用前景。

利用机器人技术和计算机技术来辅助设计、制作全口义齿是一种理论和技术上的创新和突破。本系统的出现不仅使目前定性的全口义齿修复理论部分地过渡到定量理论水平,并将带动口腔修复学及相关基础理论的定量化研究,还加速了传统的口腔修复医学与现代科技的紧密结合,从而提高口腔修复医学的整体科学水平,促进学科的发展。

在临床上,一个优秀的口腔修复医学专家既需要丰富的医学基础知识和临床经验,同时也需要灵巧的动手能力。但是,实际上,他们个人之间由于各种原因存在着差异,因而并不是每个医生都能成为专家。而应用本系统,则相当于快速培养和造就了一批高级口腔修复医疗专家和技术员。特别是利用机器人来代替手工排牙,不但可以用比高级口腔修复医疗专家和技术员更精确的动作重复操作,同时还能避免专家因疲劳、疾病、情绪、疏忽等原因造成的失误。这将彻底改变靠医生个人经验设计和手工制作全口义齿的落后方式,使全口义齿的设计与制作进入到既能满足无牙颌患者个体生理功能及美观要求,又能达到规范化、标准化、自动化、工业化的水平,从而极大地提高其制作效率和质量,是一种革命性的转变。因而具有极大的现实意义和应用前景。

1.4 机器人排牙的研究基础和背景

采用机器人进行口腔修复和排牙操作的研究属于边缘科学,集全口

义齿排牙技术与机器人技术于一体、口腔修复医学与机械电子科学于一身,符合口腔修复医学和机器人技术的最新发展趋势和方向。

本书介绍了国家 863 项目“口腔医学中的机器人及其应用研究”、国家自然科学基金项目“多操作机排牙机理及实验研究”、黑龙江省科技厅攻关计划项目“采用多操作机的排牙机器人研制”、黑龙江省教育厅科学基金项目“微型排牙多指手及其抓取规划的研究”等科研项目的最新研究成果,也包括发表的报告、学位论文和学术论文等^[38~53]。

本书介绍采用 CRS 机器人构建的全口义齿排牙机器人系统,包括其口腔修复学基础理论、机器人机构设计、排牙软件、排牙规划及控制、系统的实际排牙实验。采用多指灵巧手实现人工牙的抓取和排列操作具有挑战性,也具有非常广阔的潜在的应用前景。本书对微型排牙多指手的结构参数优化设计、抓取规划、三维运动仿真等方面进行了详细的介绍。采用多操作机排牙是一个更加新颖的领域,这种方法将解决采用单个机器人排牙所无法解决的排牙过程中的瓶颈问题,具有很重要的研究意义。本书也对采用多操作机排牙的一些最新研究成果和进展进行了介绍。

第2章 全口义齿排牙的口腔修复学基础

口腔医学是现代医学中一门新兴的科学,是与人们的日常生活息息相关的专业,而口腔修复学是口腔医学的重要组成部分之一。口腔修复学是研究口腔及颌面部各种畸形的病因、生理、症状、诊断和预防的一门临床医学科学和技术,它是以口腔及颌面部的解剖、生理、病理以及材料学等知识作为基础的^[54,55]。

口腔修复技术的发展,虽然在我国和世界各地都有着悠久的历史,但是由于受到科学技术水平的限制,发展速度非常缓慢。近一个世纪以来,医学、自然科学的迅速发展,促进了这门学科的发展,从而建立了现代的口腔修复学。

全口义齿是由基托和人工牙列构成的,是根据患者的解剖生理特点,采用适当的材料,按照一定的程序和方法制作而成的。基托一般由树脂等材料制成。这一类材料必须对人体无害并且在加热、光照或合成时能够易于成形。人工牙列则由大小和形状都不相同的标准牙组成。上下基托上都有14颗标准牙。每个牙在基托上分布的位置和姿态都不相同。将标准牙以理想的位置和姿态种植在基托上就是排牙。排牙是全口义齿制作过程中的最重要的一步,也是全口义齿机器人制作系统的主要任务。所排出的牙列应能够满足面容美观、发音清晰和咀嚼功能良好等要求。

2.1 排牙原则

(1) 在正常情况下,牙列颌平面要大致平分颌间距离(通常把静止状态下的上下颌牙接触的瞬间和位置称为颌),目的是使牙列颌平面至上下牙槽嵴的距离大致相等。为了照顾美观,牙列颌平面前缘位于上唇下缘下约2 mm处,且与鼻翼耳屏线平行,或者称颌平面与牙槽嵴近于平行,如图2.1所示。

(2) 在可能的情况下,将牙齿排在牙槽嵴顶上。上前牙的位置需要适当地衬托出上唇,保持上唇适宜的丰满度。这样排牙与将牙齿排在牙槽嵴顶上有矛盾,需要作一些均衡。后牙是发挥咀嚼功能的主要部分,所以将后牙排在牙槽嵴顶上是必要的。

(3) 参照颌弓与上下颌骨的位置关系排牙。所排牙列要与颌弓形一

致,牙弓形与颌弓形要协调。

(4)具备平衡颌。所排牙列首先要符合正中颌要求,其次在前伸颌运动中,至少要达到三点接触的前伸平衡颌的条件。在侧方颌运动中,需达到侧方平衡颌接触。



(a) 颌平面与牙槽嵴基本平行

(b) 颌平面前低后高

(c) 颌平面前高后低

图 2.1 颌平面与牙槽嵴的位置关系

2.2 牙齿的常规排列

2.2.1 前牙的常规排列

1|1:其接触点与颌堤中线一致,位于中线两侧,其切缘落在颌平面上并且在牙弓曲线的弦上。切缘中心位于弦的中点,颈部微向远中倾斜($10^{\circ} \sim 15^{\circ}$),如图 2.2 所示。

2|2:其近中面接触1|1的远中面,切缘高于颌平面约 0.5 mm,切缘在颌平面上的投影位于牙弓曲线的弦上,切缘中心位于弦的中心,颈部微向远中倾斜($10^{\circ} \sim 15^{\circ}$)。

3|3:其近中面接触2|2的远中面,牙尖顶接触颌平面,并在牙弓曲线上,颈部略向远中倾斜(10° 左右)。从远中面观,基本与颌平面垂直(长轴在颌平面上的投影与下述弦平行),牙最宽端连线在颌平面上的投影在牙弓曲线的弦上。

1|1:其近中面接触点与颌堤中线一致,切缘高出颌平面约 1 mm,与1|1建立起正常的超颌关系,切缘在颌平面上的投影在牙弓曲线的弦上,冠部的近远中向近于直立,牙与颌平面近于垂直(长轴与上述弦垂直)。

2|2:其近中面与1|1的远中面接触,切缘高出颌平面约 1 mm,与2|1|12建立正常的超颌关系,唇舌向近于直立,颈部微向远中倾斜($2^{\circ} \sim 5^{\circ}$)。