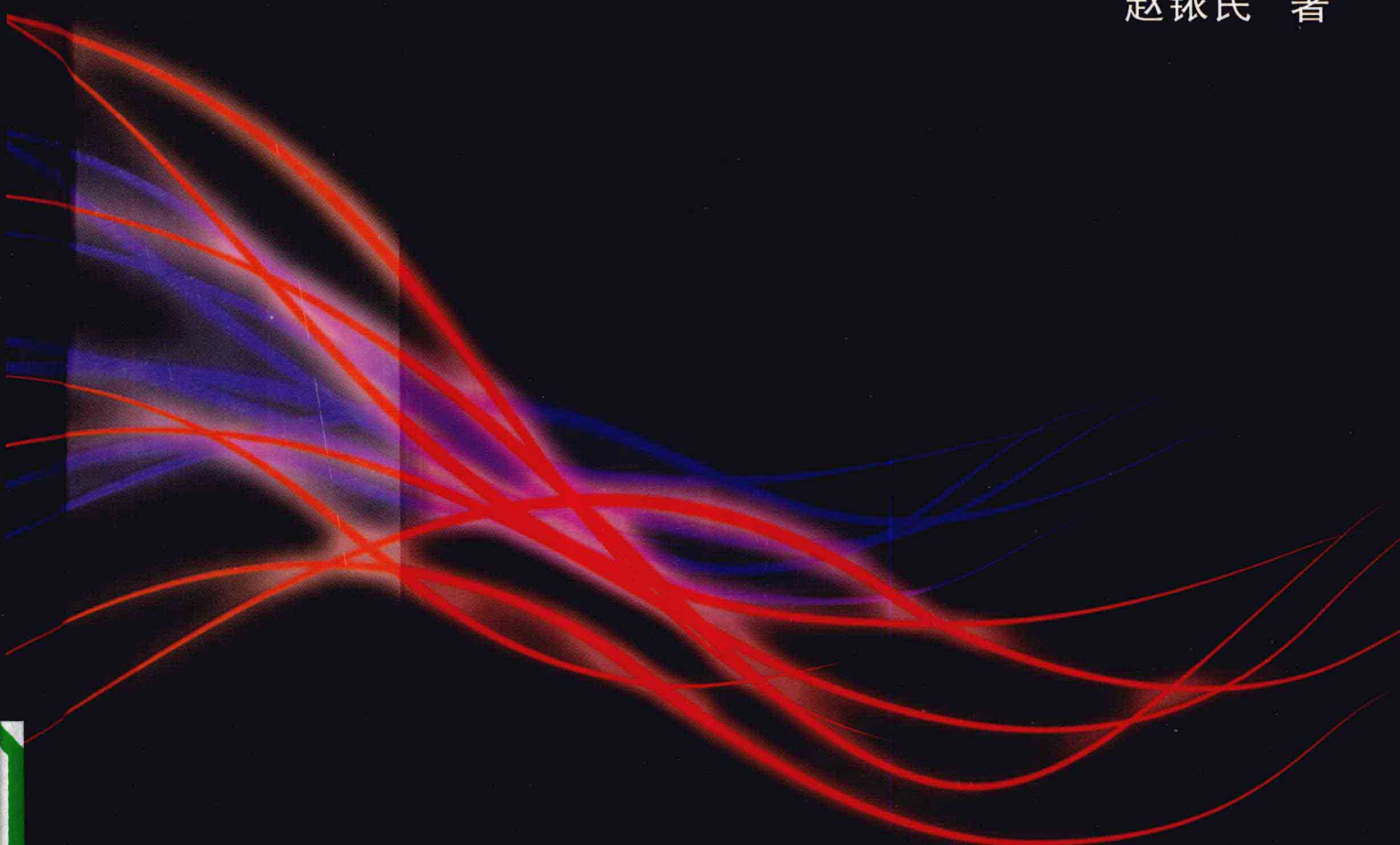


口腔修复的磁附着固位技术

THE MAGNETIC ATTACHMENT RETENTIVE TECHNIQUE FOR PROSTHODONTICS

赵铤民 著



世界图书出版公司

口腔修复的随附看回位技术

THE ADVANCED ATTACHMENT AND RETENTION TECHNIQUE FOR ORAL PROSTHESIS

第二版

第二版

第二版

口腔修复的磁附着固位技术

THE MAGNETIC ATTACHMENT RETENTIVE TECHNIQUE
FOR PROSTHODONTICS

赵铤民 著

世界图书出版公司

西安 北京 广州 上海

图书在版编目(CIP)数据

口腔修复的磁附着固位技术/赵银民著. —西安:世界图书出版西安公司,2009.12

ISBN 978-7-5100-1425-3

I. 口... II. 赵... III. 口腔科材料:磁性材料—研究
IV. R783.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 222055 号

口腔修复的磁附着固位技术

主 编 赵银民
责任编辑 樊 鑫

出版发行 **世界图书出版西安公司**
地 址 西安市北大街 85 号
邮 编 710003
电 话 029-87214941 87233647(市场营销部)
87235105(总编室)
传 真 029-87279675
经 销 全国各地新华书店
印 刷 陕西金和印务有限公司
开 本 889 × 1194 1/16
印 张 15
字 数 280 千字

版 次 2010 年 1 月第 1 版
印 次 2010 年 1 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5100-1425-3
定 价 182.00 元

☆如有印装错误,请寄回本公司更换☆

作者简介

赵铤民，少将，教授，主任医师，第四军医大学口腔医学院院长，第十一届全国政协委员，世界军事齿科大会主席，国际颌面缺损修复学会理事，中华口腔医学学会副会长，中华医学会理事，国务院学位委员会学科评议组委员，中华口腔医学学会医院管理专业委员会主任委员，全军口腔医学学会主任委员，陕西省口腔医学会会长，中华口腔医学学会修复学专业委员会副



主任委员，总后科技银星，《实用口腔医学杂志》主编，《中华口腔医学杂志》、《Journal of Chinese Dental Research》、《华西口腔医学杂志》、《上海口腔医学杂志》、《中国口腔医学年鉴》等杂志副主编，日本大阪齿科大学名誉教授，美国加州大学洛杉矶分校牙科学院客座教授。1983年毕业于第四军医大学口腔医学系，1991年于同校获医学博士学位。先后留学日本、美国，长期从事口腔颌面修复体的固位和颌面战创伤缺损的仿真修复、功能重建的研究。创造了7种临床修复新技术，获国家科技进步二等奖2项、军队科技进步一等奖1项、军队科技进步二等奖2项、陕西省科技进步二等奖1项，2006年获军队“十五”重大科技贡献奖，获国家实用新型专利3项；主持国家自然科学基金重点项目，“十一五”科技支撑计划项目等多项国家军队重点课题。发表论文126篇，被SCI收录20篇；独著有《颌面修复学》等系列专著三部，培养博士研究生25名、硕士研究生23名。

序（一）

当代科学技术发展的一个重要趋势是多学科知识的交叉和融合，这种交叉和融合形成了一大批边缘学科，产生了一些新知识、新技术、新材料，它们的出现，推动着社会的不断进步。磁附着固位技术就是将磁学、材料学、生物磁学、生物力学与口腔修复学结合而产生的，它的出现促进了口腔修复学的发展。

磁附着固位技术从最初的探索到形成成熟的技术已走过了七十多年的路，经过几代人不懈的努力，终于使这一设想变成了现实，使磁力能作为固位力为广大口腔及颌面缺损患者服务。作为第三代附着体，磁性附着体有着固位可靠、体积小、不传递侧向力、利于基牙健康、操作技术简单、应用范围广泛等等多种优点。这些优点使得它在修复体的固位中发挥着特殊的作用。今天，磁附着固位技术已经成为口腔颌面修复体固位的重要手段，被用于各种口腔颌面修复体，使修复体获得良好的固位与稳定，特别是可被用于解决许多常用固位方法难以解决的修复体固位问题，已为越来越多的口腔修复医生所接受和喜爱。本书是我国第一本系统介绍磁附着固位技术理论与实践的专著。

作者赵铤民教授是我国最早、最深入研究磁附着技术的学者，也是这一领域的国际知名学者。在二十余年的研究工作中，他在磁性材料、磁性附着体设计、磁学的生物效应、磁附着固位修复体的生物力学、磁附着体固位技术的临床应用技术等方面进行了深入的研究，完成了两千余例磁性附着体的应用病例，积累了丰富的临床经验，形成了一系列新的知识，为磁附着固位技术的发展和普及做出了贡献。这本书将他二十年来在此领域中的思考、研究、技术、经验集于一体与大家分享，相信读者们能够从中得到自己需要的东西。一个学者能在一个领域中进行二十年的坚守，持之以恒地向一个既定目标努力，特别是能耐受寂寞，对这一技术进行长期的观察和评价，将真正成熟的知识 and 经验献给大家，是难能可贵的。作者在写作中曾四易其稿，历时近十年，应该倡导这样严谨的学风。

作者赵铤民教授从临床发现问题到解决问题，在长达二十年的研究过程中，向我们展示了大学高等院校的口腔科技工作者一条重要研究方向：大学教授不仅仅通过科研生产新知识、新概念、新理论那种传统的以发表论文为终极目标，而是去和企业生产厂家结合走科研开发的道路，把科学研究与应用直接联系起来，在生产知识的同时还生产财富。在建设创新型国家的艰难征途中，这将是更为重要的一条研究方向。

期望这本书带给大家更多的收益与启迪，希望中国的口腔修复学不断发展。



2009年5月

序（二）

良好的固位是口腔及颌面修复体实现功能的基础，解决好修复体的固位是修复医师首先关注的问题。磁附着固位技术是近年间出现的新的固位方式，它以固位可靠、体积小巧、使用方便，不传递侧向力而利于基牙健康，应用技术简单便捷，用途广泛等优点成为口腔颌面修复体固位的重要手段，并为越来越多的修复医师所接受。本书是我国首部介绍磁附着固位技术的专著。

作者赵铤民教授从研究生起便潜心研究颌面修复技术，在临床工作中，他认识到修复体固位效果差是颌面修复中必需解决的首要问题，便决心攻克这一难题。在查阅文献中，他发现应用磁体引力解决颌面修复体的固位是一个很有希望的思路。这样，他将探索的目光投向了磁附着这一在当时尚鲜有人知的新领域。经过多年的潜心研究和反复实践，他和他的团队终于成功研制出四种具有自主知识产权的磁性附着体，完成了大量的应用基础研究，并形成了一系列临床应用技术，使得这一技术得以普及，不仅在学术上走到了国际的前列，而且实实在在地改善了多种口腔颌面修复体的固位，解除了许多口腔颌面部缺损畸形患者的痛苦。记得十多年前，一位在战场上失去全部牙齿及双侧上颌骨的英模，面部畸形，咀嚼功能丧失，完全靠流食度日，健康质量极为低下，戴上赵教授为他制作的磁附着颌面修复体后，激动地流着眼泪说：“我吃了二十多年的流食，今天我终于又能像正常人一样的吃饭了。”现场的情景十分感人。为患者解除了痛苦正是对医生的最大奖赏和鼓励，也是对一项科研成果的最大肯定。

赵铤民教授并没有满足于已有成就，为了回答磁附着固位技术中的未知问题和建立磁附着技术的知识体系，他在磁性材料、磁学的生物效应、生物力学、种植磁附着体等多个方面进行了深入研究，积累了丰富的经验，形成了一系列新的知识。赵铤民教授是国际上在该领域中研究最为深入，也最具影响力和话语权的学者之一。此外，他将磁附着技术、种植磁附着技术用于颌面缺损的修复治疗，创造了多种颌面缺损修复的新方法，研制出系列颌面修复材料，创造了颌面部缺损的智能化设计及快速制作技术，使我国的颌面缺损修复实现了跨越式发展，达到了国际领先水平，受到了国际同行的高度评价。

赵铤民教授受过良好的家庭教育，文化知识扎实，有良好的人文素养，通今博古，通晓诗词书画。他不仅学识渊博，勤奋努力，而且为人谦逊正直，善于团结同事，能充分调动团队成员的积极性。这些背景和优点使他逐步成长为一名优秀的学者和学术界的领导者。作为他的老师和同事，我是他成长的见证人，我为他和这一代人的成长感到欣慰。

本书是作者继《颌面修复学》之后的又一力作，是他在大量的行政和医疗、教学、科研工作中挤时间完成的，作者将自己二十年来的研究成果和临床经验进行了系统的分析，整理成书，近三十万字的文稿、四百余幅照片皆亲手为之，的确难能可贵。此书的出版为口腔修复学的大花园中又增添了一朵艳丽的花朵，相信不仅可以帮助专业人员提高对磁附着技术的认识，而且为临床选择合理的治疗方案提供了理论和实践依据。



2009.11.18

前言

>>> Preface

磁附着固位技术是近年间口腔修复学领域出现的一种新的固位技术。磁性附着体是继简单附着体、精密附着体后的第三代附着体。磁附着固位技术具有应用简单,使用方便,不传递侧向力等多项优点,一经问世便得到了修复医生和广大患者的欢迎。这项技术目前已在全世界得到了广泛的应用,成为修复医生改善修复体固位的有效措施,也成为口腔修复学发展的研究方向之一。这是一门年轻的技术,因为他的时间还不长,人们对他的应用技术、应用经验、应用规律还缺乏更多的了解。因为新,还有许多新的问题没有得到解决,这就需要进一步通过实践和探索来回答这些问题。这本书就是作者二十多年来关于磁附着固位技术的研究思考,它囊括了国内外关于磁附着固位技术的研究经验,特别是作者及其团队在这一领域中多年的精心研究。它包括了:磁性附着体、磁性材料的研制,磁性附着体的设计和测试,磁体的生物磁学效应,磁性附着体的生物力学效应,磁性附着体的固位特性,磁性附着体对咀嚼效能的影响及磁性附着体在不同修复体中的不同应用经验,种植磁附着体以及对磁性附着体仍存在的问题的思考。将这些研究成果和临床经验总结出来奉献给广大读者朋友,奉献给中国的修复医生们是一件有益的事情。大家能够从这些研究和经验总结中获益,提升对磁附着固位技术的认知程度,帮助我们提高对磁性附着体的应用水平。

本书共11章,第1至第5章为磁性附着体的基本知识,第6章为磁性附着体应用的基本方法和技术,第7章至第10章为磁性附着体在各种修复体中的应用,第11章是对磁性附着体存在问题的

思考。全书收入插图400余幅，收入作者完成的各种彩色图片400余幅，可以帮助修复医师直观地了解磁性附着体研究应用的主要技术环节，更快地掌握这些技术。我愿意通过这本书与同行们做更多的交流，一起来总结磁性附着体的应用经验，一起来探讨磁性附着体存在的问题，使更多的人能掌握磁性附着体的应用技术，对这种新的修复固位方式有更多的了解、更多的探索，进一步提升它的应用水平。限于作者的经验和水平，作者对磁性附着体的认识仍然比较浅薄，对不少问题也只是提出了初步的探索，诚挚希望读者们在读过这本书后，能对其中的谬误给予指正，也更希望越来越多的人参与磁性附着体的研究和探讨，让磁性附着体这朵新花在修复研究领域开放得更加鲜艳。

目 录

第一章 磁附着固位技术的概况

第一节 磁附着固位技术的发展沿革	(1)
第二节 磁附着技术的临床应用	(4)
一、应用磁性附着体固位的全口覆盖义齿	(4)
二、应用磁性附着体的可摘部分义齿	(4)
三、种植-磁附着式修复体	(5)
四、磁性附着体固位的颌面赝复体	(5)
第三节 磁附着固位技术的前景	(6)

第二章 磁附着固位技术的基础知识

第一节 磁学的基本知识	(8)
第二节 生物磁学	(10)
第三节 磁性材料	(11)

第三章 磁性附着体的设计

第一节 开路磁场与闭路磁场	(14)
第二节 闭合磁路磁性附着体的设计	(15)
一、不同磁路磁体设计固位力的比较	(15)
二、磁体最佳长径比及磁轭、衔铁体积的测定与筛选	(19)
三、闭路磁性附着体的代表性设计	(19)
四、超小型化闭路磁体	(21)
五、缓冲型闭路磁体	(21)
第三节 磁性附着体的抗腐蚀设计	(22)
一、永磁体的抗腐蚀设计	(22)
二、软磁合金的抗腐蚀性	(22)

第四章 磁性附着体的种类与特点

一、Split pole 磁性附着体	(27)
二、Keystone 磁性附着体	(27)
三、Jackson 磁性附着体	(27)
四、Shiner's 磁性附着体	(28)
五、Zest 磁性附着体	(28)

六、Dyna 磁性附着体	(28)
七、Magfit 磁性附着体	(28)
八、Hicorex 磁性附着体	(30)
九、Z 系列磁性附着体	(30)

第五章 磁性附着体的固位特性

第一节 磁性附着体的固位特点	(35)
一、固位力持续而稳定	(35)
二、轴向固位力强而侧方固位力弱	(35)
三、自动复位	(36)
第二节 磁性附着体的固位力和复位力	(36)
一、固位力	(36)
二、复位力	(38)
三、磁性附着体的脱载能量	(39)
第三节 磁性附着体固位力的远期评价	(39)

第六章 磁性附着体的应用方式及技术

第一节 磁性附着体的应用方式	(45)
一、根上法	(45)
二、冠外法	(45)
三、连接法	(46)
四、种植法	(46)
五、支架法	(46)
第二节 磁性附着体衔铁的类型及应用特点	(47)
一、预成型	(47)
二、铸接型	(48)
三、铸造粘接型	(48)
四、铸造焊接型	(48)
五、铸造型	(49)
六、螺丝固定型	(49)
七、树脂型衔铁	(50)
第三节 磁性附着体应用中的基本技术	(50)
一、安全的根管预备	(50)
二、精细根管印模技术	(51)
三、铸接式衔铁的制备技术	(53)
四、铸造粘接式衔铁的制备	(58)
五、铸造焊接型衔铁的制备	(60)

六、功能性印模技术	(61)
-----------------	------

第七章 磁性附着体在全口覆盖义齿中的应用

第一节 覆盖义齿的特点	(70)
一、覆盖义齿的生理学基础	(70)
二、覆盖义齿的特点和适应证	(72)
三、覆盖基牙的选择与处理	(73)
四、覆盖义齿的设计与制作要点	(77)
第二节 附着体固位的覆盖义齿	(77)
一、根上附着体	(77)
二、根内附着体	(78)
三、杆卡式附着体	(78)
第三节 磁性附着体固位的全口覆盖义齿	(81)
一、基牙选择及固位力设计	(81)
二、磁性附着体设置对全口覆盖义齿固位力的影响	(82)
三、磁附着全口覆盖义齿的制做	(87)
第四节 磁附着式全口覆盖义齿的复诊及并发症处理	(100)
一、初期复诊问题	(100)
二、晚期复诊问题	(101)
第五节 磁性附着体固位的全口覆盖义齿的固位特性	(107)
一、应用磁性附着体的全口覆盖义齿固位效果的临床评价	(107)
二、磁性附着体固位的全口覆盖义齿固位效果的定量评价	(108)
第六节 磁性附着体固位的全口覆盖义齿的咀嚼效能	(112)
一、装置磁性附着体前、后全口覆盖义齿的咀嚼效率比较	(112)
二、应用磁性附着体可以显著缩短全口覆盖义齿的适应时间	(113)

第八章 磁性附着体在可摘部分义齿中的应用

第一节 完全由磁性附着体固位的部分覆盖义齿	(115)
一、固位设计	(115)
二、支持设计	(116)
三、设计要点	(116)
四、适应证	(117)
第二节 磁性附着体固位的固定-可摘式义齿	(119)
一、适应证	(120)
二、基牙选择	(120)
三、设计及制做方法	(121)
四、临床应用情况	(131)

五、义齿的设计要点	(131)
六、主要优缺点	(132)
七、注意事项	(132)
第三节 磁性附着体与卡环共同固位的可摘部分义齿	(134)
一、固位设计	(134)
二、设计要点	(135)
三、适应证	(136)
第四节 磁性附着体与其他附着体共同固位的可摘部分义齿	(138)
一、固位设计	(138)
二、设计要点	(143)
三、制做方法	(143)
第五节 磁附着式分部义齿	(143)
义齿设计	(143)
第六节 磁性附着体固位的过渡义齿	(147)

第九章 种植磁附着体

第一节 种植磁附着体的结构及应用特点	(154)
一、平面式衔铁	(155)
二、基台式衔铁	(157)
三、种植磁附着体的固位力	(157)
四、种植磁附着体的特点	(157)
第二节 种植磁附着体在全口义齿修复中的应用	(158)
一、种植磁附着体在全口义齿中的应用方法	(159)
二、种植磁附着体固位的全口义齿的适应证与禁忌证	(164)
三、种植磁附着体固位的全口义齿的优缺点	(164)
第三节 种植磁附着体固位全口义齿的生物力学研究	(166)
一、种植全口覆盖义齿生物力学研究的概况	(166)
二、缓冲与非缓冲装置对种植磁附着体固位全口义齿应力分布的影响	(168)
第四节 种植磁附着体在部分义齿修复中的应用	(173)
一、种植磁附着体固位的部分覆盖义齿	(173)
二、种植磁附着体与其他固位体共同固位的部分义齿	(175)
三、种植磁附着体固位的半固定部分义齿	(177)

第十章 磁性附着体在颌面缺损修复中的应用

第一节 磁性附着体在分段式赈复体上的应用	(183)
一、分段式上颌赈复体的设计	(184)
二、分段式上颌赈复体的制做	(185)

第二节 磁性附着体在种植体固定的支架上的应用	(188)
一、磁性附着体在全上颌骨缺失修复中的应用	(188)
二、磁性附着体在颜面部器官缺损修复中的应用	(195)
第三节 种植磁附着体在颌面缺损修复中的应用	(197)
一、全上颌骨缺失的修复	(197)
二、眶缺损的修复	(200)
三、鼻缺损修复	(200)
四、耳缺损的修复	(201)

第十一章 磁性附着体应用中的相关问题

第一节 磁性附着体应用对 MRI 图像的影响	(204)
一、不同金属材料对磁共振成像的影响	(204)
二、可卸式衔铁的研制	(206)
三、MRI 扫描序列对钛制衔铁座伪影的影响	(209)
第二节 磁性附着体固位力的稳定与持久性	(210)
一、磁体磁力的稳定性和持久性	(210)
二、磁性附着体固位力的稳定性与持久性	(211)
第三节 磁性附着体在临床应用中的有关问题	(214)
一、磁性附着体应用的相互匹配	(214)
二、增加抗侧向力的措施	(215)
三、不能随意磨改磁性附着体	(215)
四、磁性附着体应用的禁忌证	(216)
五、在基牙数量少的情况下, 减少基牙负载的方法	(216)
索引	(219)
后记	(223)
致谢	(226)

第一章 磁附着固位技术的概况

Survey of magnetic attachment retentive technique

良好的固位是口腔及颌面修复体成功的基础,应用附着体技术改善修复体的固位是口腔修复学的重要发展趋势。磁性附着体(Magnetic Attachment, MA)是利用磁性材料的磁力将修复体吸附到基牙或种植体上,使修复体获得固位和稳定的一种装置。它由一个装置在患者口内余留牙根或种植体上的衔铁和一个设置在修复体基板上的闭路磁体两部分组成,利用二者间的磁吸引力使修复体牢固地保持在患者的缺损区上。磁性附着体具有其他机械性附着体不具备的突出优点,如稳定而持久的固位力、简便易行的操作、广泛的应用范围等。而其最突出的特点是磁性附着体在修复体取戴或行使功能时,能使修复体所受到的应力中断,从而使基牙或种植体所受的侧向力和损伤力减小,有利于基牙及种植体骨界面的健康。因而磁性附着体被认为是继简单附着体、精密附着体之后的第三代附着体,也被认为是最具发展前景的附着体,可能成为新世纪口腔修复体固位的主导技术之一。本世纪初,日本学者进一步提出了“磁性修复学”(Magnoprosthetics)的概念,对此,学术界虽未形成一致的意见,但也足以体现此技术在口腔修复学发展中的地位。

第一节 磁附着固位技术的发展沿革

The development of magnetic attachment retentive technique

利用磁性辅助义齿固位的尝试可以追溯到二十世纪三十年代,先后有多位修复医生提出了采用磁力来增加义齿固位力的设想。

1953年, Freedman 首先将四只马蹄形磁铁分成同极相对的两组分别装置在上、下颌全口义齿磨牙及前磨牙区的基托中,使每组磁体呈同极相对,依靠磁体间的排斥力,使全口义齿保持在上、下颌骨上(图1-1)。在二十世纪五十至六十年代,毛利、鹤鸟, Winkler 等都先后报道了应用此方法改善义齿固位的病例,遗憾的是这种应用方法有较大的局限性。当时应用的磁体是铁氧体(Ferrite)和铝镍钴(Al-Ni-Co)磁体,其最大磁能积分别为4百万高斯和10百



图1-1 应用磁体同极相斥的原理辅助全口义齿固位

万高斯，因而在特定的，即义齿基板中能够容纳的体积下，磁体并不能为义齿提供足够的固位力，故应用这种义齿的患者在张口初时感觉义齿固位较好，而当张口到一定程度，即上下颌义齿分开有一定距离时，即会感到义齿固位不良，其原因是在此距离下，磁体间的排斥力过小而不足以维持义齿固位。这种方法最终因未能获得良好的临床效果而被废弃，然而它却开辟了应用磁力辅助义齿固位的新思路。

Behrman 等从五十年代起即开始探索将磁体埋植入颌骨中，利用磁体辅助义齿固位的方式。他尝试用白金包裹的永磁体植入狗的下颌骨中，观察组织对磁体及磁场的反应，结果表明埋入的磁体对机体组织未造成有害的影响。在此基础上，他在义齿基板的相应位置上以异极相对的形式设置了另一磁体，依靠两磁体间的磁引力使义齿获得固位（图 1-2）。初始阶段，这种方法取得了良好的效果，两对磁体可使义齿固位力增加 100g-150g，显著地改善了义齿的固位。但随着使用时间的延长，问题便开始暴露出来，在磁引力的作用下，埋入骨内的磁体被逐渐的吸出骨组织，压迫介于两磁体之间粘膜组织，使粘膜组织出现炎症、溃疡，最终磁体被吸出组织。在后来的研究中，Toto, Schmitz 等人也获得了类似的结果。此方法仍未能获得理想的临床效果。

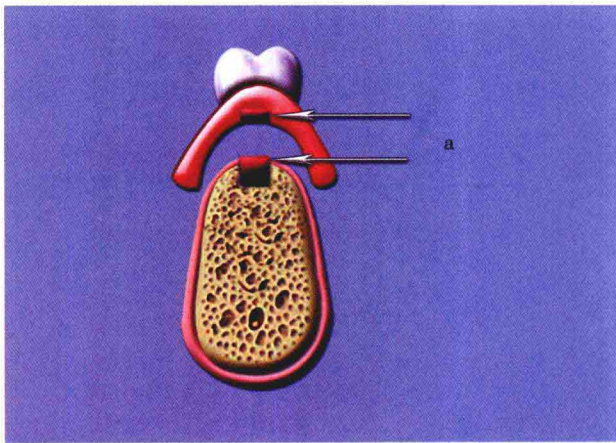


图 1-2 将磁体埋置于颌骨上辅助义齿固位
a. 磁体

这一尝试的意义在于提出了利用保持在颌骨上的磁体与义齿上的磁体间的磁引力帮助义齿固位的思路，这一思路日后成为磁附着固位的基本模式。

在以上经验教训的基础上，二十世纪七十年代后，人们开始尝试利用口内余留的残根、残冠来固定磁体。佐佐木、木内等将不锈钢和合金包裹的钐钴（SmCo₅）永磁体，粘接固定在经过根管治疗的余留牙根上，在对应的义齿基板上设置异极相对的永磁体，利用两者间磁引力使义齿固位（图 1-3）。这种方法取得了较满意的结果，使用两对磁体可使义齿的固位力增加 300g 左右，已具有明显的临床应用价值。此方法的不足是其远期应用效果和固位力问题。在余留牙根上设置磁体，需要将余留牙根磨出一个足够大的空间来容纳磁体，牙体组织大量切割后，余留牙体组织会变得很脆弱，在承受一定殆力后，易于折裂而导致修复失败。此外，这种方法应用的是开放磁体，所能为义齿提供的固位力仍有限，并不能完全满足义齿固位的要求。

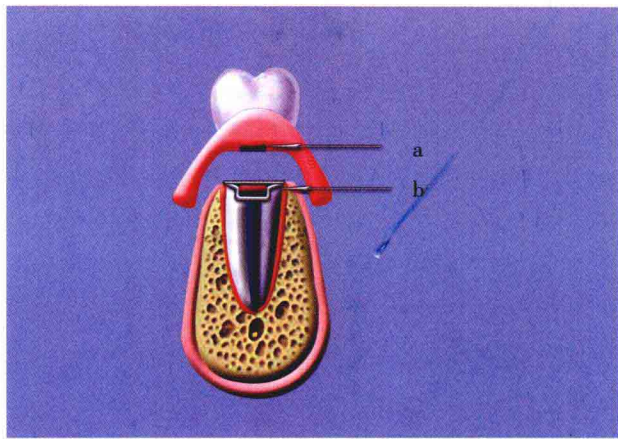


图 1-3 将磁体固定于余留牙根上辅助义齿固位
a 磁体 b 包裹了不锈钢壳的磁体

上述研究都存在着固位力不足、开放磁场等问题。上世纪七十年代末，随着人类对磁体性质认识的深入，在磁学应用理论上有了突破，从而使磁性附着体的研究进入了一个新的阶段。

闭合磁场理论的引入使磁性附着体技术有了突破。如果将磁体与以导磁材料制作的磁轭

(yoke)、衔铁 (keeper) 等做成一个组合体, 形成一个完整的磁回路, 这样不仅大大减小了外磁场, 且可充分利用两个磁极, 产生更大的附着固位力。基于这一理论, 1978 年, 澳大利亚学者 Gillings 首先提出了裂极式闭合磁路磁附着体 (split pole closed field magnet) 设计, 即以两只异极相对, 间隔一定空隙的小磁体, 共同吸附衔铁而形成闭合回路 (图 1-4), 这一设计被认为是磁性附着体研究中的一个重大进展, 它可将磁体的外磁场减小到 7-20 毫特斯拉 (mTesla), 为开放磁场的 1/30-1/20, 与地球磁场相近, 这就从根本上解除了外磁场对人体的可能影响。同时使磁性附着体的固位力较等体积的开放磁场磁体增加了近一倍, 达到 400 余 g。由于闭合磁路设计的显著优越性, 使得闭路磁体成为磁性附着体研究的主要形式。

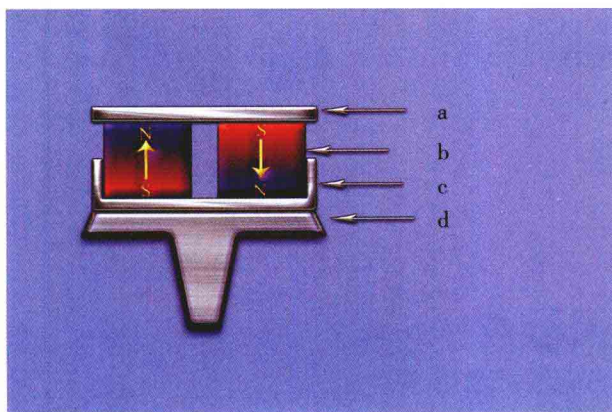


图 1-4 裂极式闭合磁路磁性附着体

a 软磁合金磁轭 b 永磁体 c 不锈钢极靴 d 软磁合金衔铁

磁性固位研究的另一重要发展, 是以软磁材料 (soft magnetic materials) 如铁铬钼等耐蚀软磁合金、钕钴镍软磁合金等取代磁体作为衔铁。软磁材料本身并无磁性, 但其具有低的矫顽力 (coercivity), 在强磁场中, 可被迅速磁化, 成为继发磁体, 与磁体共同构成磁回路, 一旦脱离磁场, 则磁性消失。利用软磁合金材料, 可将单纯的永磁体, 发展为永磁体与软磁合金组成的磁性附着体。其应用方式也有了很大变化, 将软磁合金制作的钉帽状衔铁固定于经根管治

疗的牙根上, 在覆盖义齿基板的相应部设置闭路磁体, 实现义齿的固位。还可直接采用软磁合金来铸造钉帽状衔铁, 或根据需要铸造成任何形状, 如腭复体的连接杆等, 并可在形态上补偿磁体侧方吸引力弱的缺点。闭合磁路设计和软磁合金应用是磁附着技术发展中的最重要的进展。

1983 年日本学者佐川真人等研制出第三代稀土族钕铁硼 (Nd-Fe-B) 永磁体, 其具有创纪录的高磁能积和很强的固有矫顽力 (intrinsic coercivity), 同等体积的钕铁硼磁体可以比钕钴磁体的磁引力增加一倍以上。这就使得磁体更加小型化, 同时获得更大的固位力的设想成为可能。

磁路理论的突破和高性能钕铁硼磁体的出现大大推动了磁性附着体的研究。二十世纪八十年代成为磁性附着体研究最活跃, 进展最快的年代。Gillings、田中贵信、赵钦民等先后提出了“三明治”、“极板”式设计, 使闭路磁体的固位力达到了 500g-950g; 蓝稔、水谷纮、石幡伸雄等提出了钢帽式设计, 其固位力达到了 400g-600g; Jackson 等还提出了球面式磁性附着体等设计; 本藏义信、田蕾等提出了带有缓冲结构的磁性附着体。在日本、欧美、中国先后有十余种磁性附着体问世。磁性附着体已不再是研究室里的实验品, 而已成为修复医师用以改善修复体固位的有效手段。同时关于磁性材料、磁体腐蚀、磁场生物学效应, 磁性附着体应用的生物力学效应等研究也日趋深入, 回答了磁附着技术应用中的许多疑难问题, 从理论上为磁附着技术的推广应用奠定了基础。

近年来磁附着技术的研究集中在磁性附着体的进一步小型化、磁性附着体的防腐蚀、磁性附着体对磁共振图像的影响等方面。新型耐蚀软磁合金材料和激光连续焊接技术的应用, 解决了磁性附着体在口腔内的腐蚀——这一长期困扰研究者和修复医生, 影响磁性附着体临床应用的问题。可卸式衔铁可以显著减小衔铁对 MRI 图像的影响, 铂-铁 (Pt-Fe) 薄膜状闭路磁