

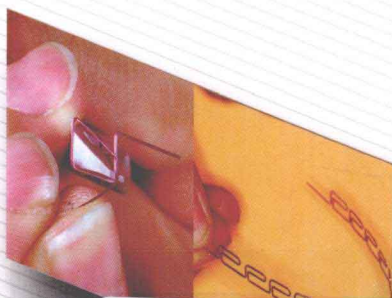
• 口腔临床操作技术丛书 第三辑 •

口腔正畸治疗常用弓丝弯制技术

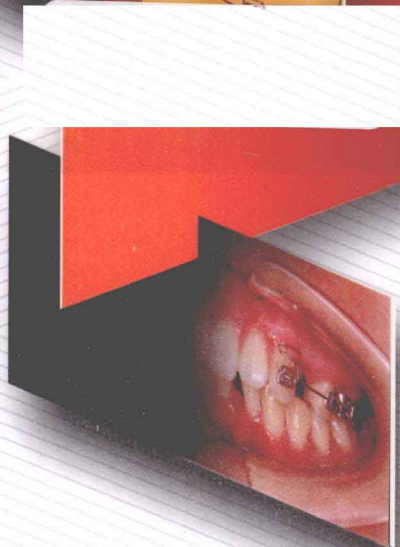
ATLAS OF WIRE BENDING IN ORTHODONTIC TREATMENT

主编 李小彤

第一、二、三序列弯曲的弯制在基本功训练中是非常重要的，是较难完整完成的训练。当第一序列完成再做第三序列弯制时，一定要注意在弓形图上比对，同时注意上下颌弓形的匹配。



打开咬合时调整多用途弓磨牙上的后倾弯。为避免下前牙根尖与下颌结合部舌侧的骨皮质接触，弓丝在下前牙段加根唇向转矩，使下切牙根尖避开舌侧骨板。



弯制完成的滑动杆在置入患者口内时，应该可以自由滑动。滑动杆的远端抵在磨牙颊面管近中时，前部的牵引钩应该离开第一前磨牙近中3毫米，保证具有足够的空间远中移动磨牙。

中国口腔正畸学杂志

口腔正畸治疗 常用弓丝弯制技术

ATLAS OF WIRE BENDING IN ORTHODONTIC TREATMENT

王 毅 主编

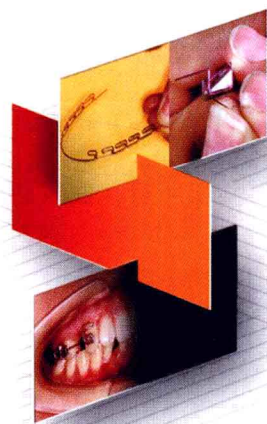


中国口腔正畸学杂志

• 口腔临床操作技术丛书 第三辑 •

口腔正畸治疗 常用弓丝弯制技术

ATLAS OF WIRE BENDING IN ORTHODONTIC TREATMENT



主 编 李小彤

副主编 赵 弘

审 校 傅民魁

编 者 (以姓氏笔画为序)

刘 怡 朱胜吉 李小彤

邹冰爽 杨雁琪 赵 弘

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

口腔正畸治疗常用弓丝弯制技术/李小彤主编. —北京:
人民卫生出版社, 2010. 9

(口腔临床操作技术丛书)

ISBN 978-7-117-13388-3

I. ①口… II. ①李… III. ①口腔正畸学—矫治器—
制作 IV. ①R783.508

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 159602 号

门户网: www.pmph.com	出版物查询、网上书店
卫人网: www.ipmph.com	护士、医师、药师、中医 师、卫生资格考试培训

版权所有, 侵权必究!

口腔正畸治疗常用弓丝弯制技术

主 编: 李小彤

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

010-59787586 010-59787592

印 刷: 北京人卫印刷厂(宏达)

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 8.5

字 数: 207 千字

版 次: 2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-13388-3/R · 13389

定 价: 55.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社销售中心联系退换)

主编和副主编简介

李小彤，博士后，副教授，副主任医师。从1993年从北京医科大学口腔医学院本科毕业开始至今，一直工作在口腔正畸的临床治疗、科研和教学，积累了丰富的经验。常年定期参与北京大学口腔医学院正畸科“口腔正畸强化班”、“傅民魁正畸中心培训班”的培训工作，和其他有关正畸培训班的教学，承担了理论和技能的讲课及弓丝弯制、Typodont训练等基本技能的指导。1995-2000年作为北京大学口腔医学院研究生，师从傅民魁教授和张丁教授，接受了系统的研究生培训，获得医学博士学位。曾去日本进行博士后研究两年，正畸临床和科研工作能力得到进一步提高。以第一作者发表专业论文10余篇，其中2篇SCI收入。曾任副主编编写《正畸疑难病例解析》（张丁主编），并参与编写多本专业著作。1994年《口腔正畸学》创刊开始参与该杂志的编辑工作。

赵弘，博士。1983年毕业于北京医学院，1996年取得大阪齿科大学齿学博士学位。1991年加入日本矫正学会，1996年加入美国矫正学会。1998年开始从事OPA-K直丝弓矫正技术在全国口腔正畸领域的技术推广和临床应用指导，常年举办正畸技能训练系列讲座。曾为多所著名医学院校的口腔正畸研究生、进修生及其他矫正技术培训基地的口腔医师提供专业、系统的正畸技能培训。2005年被聘为山西医科大学口腔医学院正畸学专业客座教授，2008年5月被聘为银川市口腔医院，遵义医学院口腔硕士研究生培训基地正畸专业客座教授，2009年列入自治区首批优势重点专科特聘专家。

序

我国儿童青少年错殆畸形的发生率达65%，随着口腔医学的发展，人们对错殆畸形影响面颌形态和牙殆功能的认知不断增加，加之生活水平的提高，对于错殆畸形的矫治需求明显增加。口腔正畸医疗已从原来的大城市扩展到中小城市。这是我国医疗的进步。

口腔正畸医疗工作需要有正确的诊断分析、矫治设计，同时又需要有临床操作的医疗技能，其中矫治弓丝的弯制是一重要内容。一个好的正畸医师必须是“手脑俱佳”。口腔正畸医师的教学培训中，矫治弓丝的弯制训练是重要而不可缺少的内容。本书主编李小彤副教授和赵弘博士以及其他各位著者都是具有丰富临床经验的口腔正畸医师，同时又长期从事口腔正畸的教学和培训工作。他们在书中阐述了口腔正畸临床弓丝弯制的种类、方法及原理，图文并茂，相信对于口腔正畸基本技能的学习是十分有益的。已出版的不少口腔正畸学方面的书籍是包括了基础研究、临床诊断设计、治疗方法的“大书”，确实我们也需要这样一本基础技能训练的“小书”。这是他们努力的结果，向他们表示祝贺和感谢。希望有更多具有特点、又有实际应用意义的“小书”出版。

我为中国口腔正畸学科的迅速发展，和一代正畸医师的茁壮成长而欣慰。

傅民魁

于北京大学口腔医学院

时逢从医执教五十周年

2010年6月

前 言

口腔正畸理论和技术的发展及越来越多的患者正畸治疗的需求，带动了正畸临床工作的开展，鼓励更多的全科口腔医师通过各种形式的培训，系统地学习和提高口腔正畸专业的知识和技能。这其中重要和基础的一项技能就是正畸弓丝的弯制。在多年从事正畸临床教学和培训的过程中，我看到通常的模式就是老师示教——学员模拟，学员在模拟弯制时，常常会反复询问弯制中的要点和技巧，有时甚至希望能把老师的示教弯制过程拍摄下来，以便反复研究。这说明正畸弓丝弯制的培训是需要重点提示下直观模拟、反复摸索的过程，不同于诊断和治疗设计等方面的理论学习。这使我们萌生了编撰这本《口腔正畸治疗常用弓丝弯制技术》，希望能帮助读者学习、训练和使用弓丝弯制技术。

本书在编排的形式上强调直观，从弯制者的视角，把每种弓丝弯制的过程连续拍摄下来；内容上强调贴近临床工作，选择临床常用的弓丝弯制进行示教，即使在直丝弓矫治技术应用中这些曲或弓丝仍然需要。本书采用图解的形式，用近700幅照片，图文并茂，系统、详细、直观地介绍临床正畸治疗中处于不同阶段、不同治疗需要的情况下各种常用弓丝的合理应用，同时结合临床正畸病例，更有针对性，有助于理解各种常用弓丝的运用和弯制技术。对于近年来开展广泛而在应用过程中常常让医师困惑的MEAW技术和舌侧正畸技术，用了专门的篇幅讲解弯制的特点和技巧。

本书面对的读者广泛：对于初入门的正畸医师，是正畸基本技能培训的实用工具书，针对临床正畸治疗中遇到需要解决的问题，可以按图索骥，正确选择、弯制合适的弓丝，少走弯路，对于有一定临床经验的

医师也可以重新评价临床治疗中的弓丝运用，规范操作，使正畸治疗更上一个台阶。

在本书出版之际，特别要感谢我的导师傅民魁教授多年来对我的临床、教学和科研能力的培养；在本书的选题、内容和编写过程中傅老师给予的指导，更加明确了本书的服务对象，使本书更加贴近临床工作和读者的需要；正值傅老师从医执教50周年之际，谨以此书表示对傅老师的敬重和感激。感谢北京大学口腔医院正畸科，为本书图片拍摄提供的设备和技术支持；北京信和公司为本书图片的拍摄提供了场地和人员的服务，赵秀静女士、李悦女士为图片的拍摄和整理提供的大力帮助，在此一并感谢。

我们本着真诚、认真的态度编撰此书，但由于水平有限，书中不免会有不妥之处，也欢迎读者的批评和指正，以便我们完善和改进。

李小彤

2010年6月

目 录

第一章 正畸弓丝的选择及应用	1
一、基本概念	2
二、评价弓丝各种性质的指标	3
三、不同材质的弓丝的选择	6
第二章 临床固定矫治常用的工具	9
第三章 弓丝弯制的基本技能	15
一、基本操作训练	16
(一) 正确的操作姿势	16
(二) 测试钳子夹持、固定弓丝需要的力量	16
(三) 正畸钳的基本持握方法	17
二、制作圆形弓丝的唇侧标准弓形	17
三、方形弓丝第一、二、三序列弯曲的弯制	18
(一) 方形弓丝基本弓形的制作	18
(二) 弯制第一序列弯曲	20
(三) 弯制第三序列弯曲	28
(四) 弯制第二序列弯曲	30
附录 目测训练	33
第四章 戴用固定矫治器阶段常用弓丝和作用曲的弯制	35
一、分牙簧	36
二、垂直开大曲及垂直曲加力单位	39
三、欧米茄曲	44
四、摇椅弓	48
五、多用途弓	50
六、匣形曲	56
七、垂直关闭曲	62

八、T形曲	68
九、靴形曲	72
十、小圈曲	75
十一、人字形曲	78
十二、滑动杆	80
第五章 MEAW 弓丝的弯制和应用	89
一、基本 MEAW 弓丝的弯制	90
二、配合关闭开骀的 MEAW 弓丝	96
三、推磨牙向后的变异 MEAW 弓丝	98
四、其他 MEAW 弓丝的应用	103
第六章 舌侧正畸治疗常用弓丝的弯制	107
一、舌侧矫治技术弓丝弯制的特点	108
(一) 弓形特点——蘑菇形弓形	108
(二) 弓丝特点——较唇侧矫治技术, 需使用较细、 较柔软的弓丝	110
二、舌侧矫治常用弓丝的弯制	112
(一) 主要工具和器械	112
(二) 常用弓丝的材质	115
(三) 常用的舌侧弓丝弯制	115
三、舌侧矫治弓丝弯制的新进展	125



第一章

正畸弓丝的选择及应用

随着口腔材料学的不断发展，正畸弓丝的种类越来越多。除了传统的不锈钢丝、钴铬镍合金丝外，70年代后出现了镍钛合金丝、形状记忆镍钛合金丝、 β 钛合金丝、离子导入镍钛合金丝等合金丝，近年来为了美观又发明了非金属弓丝。如此众多的弓丝让临床医生在弓丝选择中感到迷惑，尤其在选力学性能最复杂的镍钛弓丝时，依靠手感的经验是非常不科学、不可靠的。本章的主要目的是介绍正畸弓丝尤其是镍钛弓丝的相关性质与特点，以帮助临床医生做出合理的选择。

一、基本概念

1. 弓丝的生产

弓丝的生产过程由多个环节组成。金属材料经过冶炼后加工成毛坯，然后再加工成适合生产弓丝的原料，最后再经拉伸、热处理、硬化等过程得到最后的成品。在这些过程中，弓丝拉伸的比率、截面通过的损耗率、热处理、摩擦力、温度控制都会对弓丝的性质产生影响。因为即使对同一个厂家，不同批号之间的弓丝，其性质也可能会有不同，尤其是生产工艺较为复杂的钛合金类弓丝。

2. 三点弯曲试验

正畸弓丝的力学性质需要用一些弯曲试验来反映，传统的悬臂梁试验并不适用来评价正畸弓丝。最常用的是改良后的三点弯曲试验，其模拟了正畸临床的中弓丝与托槽间的关系。这种小间距的弯曲试验很能适合研究镍钛丝这种较柔软的弓丝。根据正畸弓丝的国际标准，三点弯曲试验的支点间距为 10mm，但在许多实际研究中，也有人用到 13mm 或更大的距离。但万变不离其宗，所有的弯曲试验研究的都是形变量与加载应力之间的关系。

弓丝弯曲试验需要记录弓丝的形变量和加载应力的大小，分别用在横坐标与纵坐标上表示。它们构成的图形称为应力 - 应变曲线（图 1-1-1）。在这个曲线上，我们可以观察的指标有加载和卸载力、屈服点、最大屈服力、最大弹性形变（称为工作范围）及弹性模量。对于镍钛丝，应力 - 应变曲线在加载与卸载时不相同，称为双模曲线。

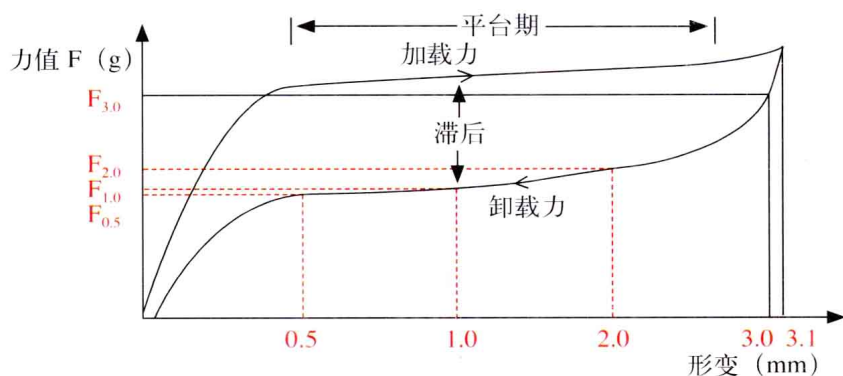


图1-1-1 弓丝的应力-应变曲线

也可以称为受力 - 形变曲线，图中可以看到加载和卸载分别有不同的曲线，其中加载力对应正畸中的结扎力，卸载力对应矫治力。两者之间差异称滞后（hysteresis），较平直的部分称为平台期，平台期决定了弓丝的工作范围。

3. 加载和卸载

正畸过程中实际上利用的都是弓丝卸载的力量，而在研究当中，经常是从加载开始进行。对于符合虎克定律的弓丝来说，加载力值和卸载力值与形变是呈线性关系的。而对于镍钛丝而言，加载和卸载过程是两种不同的过程。

二、评价弓丝各种性质的指标

评价弓丝性质的指标主要指机械性能和生物性能。机械性能是对弓丝力学作用的反映,包括弓丝的截面及尺寸、弓丝的弹性模量、形状记忆合金的相变温度、弓丝的热处理、摩擦力等等。生物性能主要指弓丝在腐蚀过程中离子的释放对生物体的影响。

1. 弓丝的截面和尺寸

正畸弓丝根据截面可以分为圆丝和方丝,正畸圆丝由带型材料拉伸制成,方丝是在圆丝的基础上再经过滚压制成,所以在方丝的截面上会有一定程度的弧度,不同的弓丝、不同厂家产品的弧度不一样。这个弧度在临床应用转矩力时会有一定的影响。

弓丝的尺寸对圆丝而言是指截面的最大径,对方丝而言是指截面的长和宽,一般用英制单位表示。笔者曾对不同进口及国产弓丝的尺寸精度进行测量,结果是令人满意的。对同一种品牌弓丝来说,尺寸越大的弓丝在相同形变下可以产生更大的矫治力,但在不同品牌弓丝之间这个原则不一定适用,尤其是镍钛丝,有的品牌大尺寸的弓丝产生的矫治力反而比其他品牌小尺寸弓丝还要小,这个在选择镍钛丝时要有考虑。对于方丝而言,在产生转矩力时,我们需要考虑其截面的大小,因此需要注意 0.017 英寸 $\times$ 0.022 英寸与 0.017 英寸 $\times$ 0.025 英寸的方丝之间的区别。

2. 弹性模量及工作范围

弹性模量是指在无限受压的情况下,应力与相应应变之间的比值,确切地说,它反映物体在受力方向上的力学性质,是反映对弹性形变的抵抗能力的物理量。对它的测量方法很多,研究弓丝多采用悬臂梁试验(Cantilver,美国国家标准局及美国牙科协会标准 ANSI/ADA 第 32 号),记录弓丝从受力到屈服点之前的应力应变。屈服点指弓丝产生最小永久形变时的弯曲度,这个指标也相当于牵张试验中的屈服点,其相应的力值称为屈服力。悬臂梁试验是有一定斜率的直线,经典图例中横坐标是加载力值,纵坐标为弓丝形变。临床更关心的是在达到最大屈服点之前的情况,这一段的弹性性能是产生矫治力的来源。

3. 弓丝的热处理

弓丝热处理是一种退火的过程,其目的是消除残余应力,增加强度,稳定尺寸。由于弓丝的拉伸加工,正畸弓丝具有典型的锻造微结构,原材料的等轴晶体结构经过机械加工后不复存在。在光镜或电镜下,可以看到锻造后晶体在平行于拉伸方向上紧密排列。这种结构是正畸临床产生合适矫治力及维持力学性质的基础。合理的弓丝热处理不会破坏这种晶体结构。但如果将不锈钢丝加热到 700℃ 以上,弓丝会由于晶格重组而失去这种锻造微结构,迅速变软。临床中,应当使用电阻式的点焊机来进行有控制的热处理。不锈钢丝、钴铬镍合金丝及部分的镍钛丝都可以进行热处理。

4. 形状记忆性与马氏体相变

20 世纪中叶,美国和前苏联在空间领域展开激烈竞争。美国制定了雄心勃勃的“阿波罗”登月计划。但要实现月球与地球之间的信息沟通,就必须在月球表面安放一个庞大的抛物线形天线,可是在小小的登月舱内无论如何也放不下这个庞然大物。这在当时一度成为登月工程中的关键性技术难题之一。1963 年,美国海军军械研究室发明了第一代形状记忆合金 Nitinol,给这个难题的解决带来了契机。科学家先把这种合金做成所需的大半球形展

开天线，然后冷却到一定温度下，使它变软，再施加压力，把它弯曲成一个小球，使之在飞船上只占很小的空间。登上月球后，利用阳光照射的温度，使天线重新展开，恢复到大半球的形状。1969年7月20日，乘坐“阿波罗-11号”登月舱的美国宇航员阿姆斯特朗在月球上踏下的第一个人类的脚印时说：“对我个人来说，这只是迈出的一小步；但对全人类来说，这是跨了一大步”，阿姆斯特朗当时的这段图像和声音就是通过形状记忆合金制成的天线从月球传输回地面的。

形状记忆合金(shape memory alloys, 简称 SMA)是一种能够记忆原有形状的智能材料。当合金在低于相变温度时，受到一有限度的塑性变形后，可由加热的方式使其恢复到变形前的原始形状，这种特殊的现象称为形状记忆效应(shape memory effect, 简称 SME)。而当合金在高于相变态温度时，施以一应力使其受到有限度的塑性变形(非线性弹性变形)后，可利用直接释放应力的方式使其恢复到变形前的原始形状，这种不通过加热即恢复到原先形状的相变，看起来像弹性变形，但与传统材料的弹性有本质不同，其应力-应变曲线是非线性的，如果应变部分恢复，称为相变伪弹性，或拟弹性(pseudo elasticity, 简称 PE)，如果其应变可以完全恢复也称为超弹性(super elasticity)。这两种形状记忆合金所拥有的独特性质在普通金属或合金材料上是无法找到的。

形状记忆合金为什么能具有这种不可思议的“记忆力”呢？目前的解释是因这类合金具有马氏体相变(martensitic transformation)。凡是具有马氏体相变的合金，将它加热到相变温度时，就能从马氏体结构转变为奥氏体结构，完全恢复原来的形状。镍钛形状记忆合金在一定范围内发生塑性变形后，经过加热到某一温度之上，能够恢复变形，其实质也是热弹性马氏体相变。镍钛合金的低温相为马氏体，柔软且易变形，镍钛合金的高温相为奥氏体(母相)，比较硬。冷却过程中，母相会转变为孪晶马氏体，该马氏体在外应力下容易变形成某一特定形状；加热时，已发生形变的马氏体会回到原来的奥氏体状态，这就是宏观的形状记忆现象。

马氏体相变最初是在钢(中、高碳钢)中发现的，将钢加热到一定温度(形成奥氏体)后经迅速冷却(淬火)，会得到能使钢变硬的一种淬火组织。1895年法国人奥斯蒙(F.Osmond)为纪念德国冶金学家马滕斯(A.Martens)，把这种组织命名为马氏体(Martensite)。人们最早只把钢中由奥氏体转变为马氏体的相变称为马氏体相变。20世纪以来，对钢中马氏体相变的特征累积了较多的知识，又相继发现在某些纯金属和合金中也具有马氏体相变，如Ce、Co、Hf、Hg、La、Li、Ti、Tl、Pu、V、Zr和Ag-Cd、Ag-Zn、Au-Cd、Au-Mn、Cu-Al、Cu-Sn、Cu-Zn、In-Tl、Ti-Ni等。目前广泛地把基本特征属马氏体相变型的相变产物统称为马氏体。

最早研究成功的形状记忆合金是NiTi合金(NiTinol)。大部分用于正畸丝的记忆合金主要为以镍钛为基质的合金丝，某些金属元素与Ni、Ti结合也具有“形状记忆”的能力，如铜基形状记忆合金(如Cu-Zn-Al和Cu-Al-Ni)，铁基形状记忆合金。

5. 相变温度

引发马氏体开始相变的温度称为相变温度，严格讲相变温度不是一个点，而是一个区间，称为相变温度范围(transformation temperature range, TTR)。马氏体与奥氏体之间的相变，是形状记忆合金的重要特征。奥氏体是相对规则的金相结构，马氏体的金属相较无序，引发两种金相结构之间相互转化可以是应力或者温度，从马氏体转化成奥氏体时的应力或

者温度与从奥氏体转化成马氏体时并不相同,应力或温度之间的差异称为滞后(hysteresis)。一般临床利用镍钛丝记忆效应时,都需要在口腔温度下完成向奥氏体的转变。

从镍钛丝被发明起,相变就是弓丝客观存在的性质之一。但由于工艺、材质等因素,相变温度的高低差异非常的大,有的可以高达几百摄氏度。因此对于正畸临床来说,并不是所有镍钛丝的相变温度都具有临床可操控性,例如低于冰点或者高于口腔温度过多都是临床不容易实现的。这种在临床不能实现相变温度的镍钛丝,只能利用其拟弹性或超弹性,但不具备记忆性。如果需要利用镍钛丝的记忆性,其相变温度首先应当在临床可操控的范围之内。

90年代后,许多大型正畸材料公司相继推出相变温度可以临床控制的弓丝,称为热激活型镍钛丝,这种弓丝在低温下柔软,有利于临床操作,温度升高时,恢复原有形状,应力增加,产生矫治力。镍钛丝的相变温度可以有多种不同的设计,以Ormco为例,有17℃、22℃、35℃、40℃等不同相变温度的种类,我们将在后面讨论如何选择这些型号。

6. 弓丝的弯制性能

具有记忆特性的镍钛矫正弓丝出厂时其被制作成了一定的形状。在低温下加载形变,一旦受热就会恢复到原来形状。但形状记忆合金在有些情况下也可以发生永久性变形,这种永久性变形一般情况下应当避免,但有时候也可以被利用。

两种方式可以让镍钛丝产生永久性形变:加载过大的应力和弓丝的热处理。通过较大的加载力使镍钛丝产生永久性变形,需要的时间比较长,也比较费力。在加载外力的情况下,通过瞬间加热处理使镍钛丝重新定形的方法则相对简单、省时,更适合临床使用。

在镍钛丝受到约束(如受力)时,一般情况下,当受到比Af点(Af表示加热时马氏体相转变的终了温度)高60℃以上的温度时则形变产生的应力超过丝材本身的屈服应力,与形变过大时的情况一样,合金形状记忆特性被部分影响,弓丝将产生永久性变形。这种过程一般需要有特殊的热处理仪来完成,利用这种仪器,我们可以在镍钛丝上进行曲的弯制。

7. 耐腐蚀及生物相容性

任何合金都存在不同金属间电位差的问题,都会有电化学腐蚀的可能。腐蚀的过程有快有慢。腐蚀会导致金属离子进入周围机体组织,影响细胞内的生物化学反应。同时腐蚀产物和腐蚀电流会刺激组织,影响机体的新陈代谢。如果腐蚀产物中含有毒性离子,问题会更严重。金属材料的抗蚀性及其合金组成是决定其生物相容性的两大因素。一般来说,镍钛合金材料中,镍(Ni)元素具有一定的生物毒性,而且有许多人对这种毒素过敏。因此,耐腐蚀性越好的弓丝,其生物毒性或引起过敏的可能性也越小。

镍钛合金的生物相容性和腐蚀行为与其表面状态密切相关。一般情况下,镍钛合金因钝化表面有一层氧化膜,这层氧化膜有助于使镍钛合金在生理环境下保持相对惰性。但据报道,镍钛合金表面因钝化自然形成的氧化膜并非很理想,这层氧化膜容易发生变形和脱落。通过不同的表面处理可以改变这一氧化层的厚度、形貌和化学组成,从而进一步增强其钝性。但这种处理对植入型的镍钛材料可能更有意义,口腔镍钛丝由于是体表接触,因此并不是一个重要的考虑因素。

8. 弓丝的摩擦力

弓丝的摩擦力也因为弓丝的性质、生产工艺有很大的差异,一般而言,不锈钢丝具有

最小的摩擦力， β 钛合金丝和镍钛合金丝有较大的摩擦力。摩擦力是影响正畸临床治疗的重要因素，虽然影响的机制目前还没有定论，但临床上还是希望使用摩擦力最小的弓丝。有许多表面处理工艺可以用来降低摩擦力，例如电化学抛光、表面镀层、机械抛光等。

三、不同材质的弓丝的选择

常用的正畸弓丝根据材料可以分为不锈钢 (stainless steel, SS) 弓丝，钴铬镍合金 (cobalt-chromium-nickel) 丝， β 钛合金 (beta-titanium, β -Ti) 丝，镍钛合金 (Nickel-Titanium, NiTi) 丝。另外还有金合金丝，由于其成本高昂，用量很少，不在本文讨论之中。

1. 不锈钢弓丝

是正畸临床中使用最多的弓丝之一，其优点是有较好的弯制性能、耐腐蚀、价格便宜。其原材料大部分为符合美国钢铁协会 (AISI) 规定的 302 和 304 奥氏体不锈钢。它们一般都被称为 18-8 SS，因为两者原料中的铬和镍大约各为 18% 和 8%。也有用 17-7 SS，其性质相与 18-8 SS 相似。

不锈钢弓丝具有较大的弹性模量，其大小受多种因素影响，如合金的组成、拉伸工艺、热处理等等。弹性模量显著下降是较为困难的。不锈钢弓丝的屈服力变化较弹性模量大，通过热处理可以增大屈服力，同时还可以消除弓丝残余应力，增大弹性模量。残余应力的消除可以减少弓丝在临床使用过程中折断的可能性。热处理的温度及时间有严格的要求，具体可以参考厂家的说明，过度的热处理会破坏金属内晶体的结构，弓丝变软。临床常用的热处理方式是利用点焊机的加热功能，通过电流进行有控的加热。

并不是所有的不锈钢弓丝都需要热处理，对弹性模量大或金属晶体结构易改变的弓丝，一般不主张再进行热处理。

2. 钴铬镍合金

钴铬镍合金是一种外观、性质和不锈钢丝非常相似的弓丝，但其组成与不锈钢丝有本质不同，并且有非常独特的热处理特性。最典型的弓丝是 Elgiloy (RMO 公司生产)，它含有 40% 钴、20% 铬、15% 镍、15.8% 铁、7% 钼等元素，其性质与义齿生产材料相似。

Elgiloy 根据回火形式有四种不同的种类：柔软、有延展性的、半弹性、弹性，分别用四种不同的颜色标出。柔软型 Elgiloy 为蓝色，是最常用的一种弓丝，因为它易于弯制成形，热处理后可以增加屈服力和弹性，有报告称屈服力的增加可以达到 20% ~ 30%，从 830 ~ 1000 MPa 增加到 1100 ~ 1400 MPa；弹性模量从 160 ~ 190 GPa 增加到 180 ~ 210 GPa。其他三种 Elgiloy 弓丝由于价格较贵，成形性差，没有蓝色的应用广泛。蓝色 Elgiloy 的力学特点总体上和不锈钢丝弓丝非常相似。

3. β 钛丝

也称为 TMA，最早由 Ormco 公司推出，其金属组成中含有 77.8% 的钛及 11.3% 钼，钼的存在改变了金相结构，使其具有良好的弯制性能，并能保持永久的形变。锌和锡的加入又增加了材料的强度。TMA 大约只有不锈钢一半的弹性模量，屈服力大约只有 690 ~ 970 MPa。可以说 TMA 是一种介于不锈钢丝与镍钛合金丝性能之间的一种弓丝，能产生适中的矫治力，具有可弯制性，可以在一根弓丝上同时进行整平、旋转、关间隙等多种移动。

TMA 最值得一提的是其可焊接性，可以和不锈钢、钴铬合金等多种材料进行焊接。

一般不主张对 TMA 进行热处理。TMA 表面较粗糙，摩擦力较大，有厂家使用离子植入的技术来降低其表面摩擦力。

4. 镍钛丝

是目前研究发展最热的弓丝材料。镍钛丝一般被总称为 Nitinol，这个词从美国海军军需实验室（Nickel Titanium Navy Ordnance Laboratory）的名称衍生而来，也是镍钛丝最早发明的地方。镍钛丝中镍和钛的含量几乎是对半的，不同的配方、工艺略有差别。镍钛丝最重要的力学特点为超弹性和形状记忆效应。根据镍钛丝在正畸中的发展可以分为四个阶段。

第一代的镍钛丝，也称为 Nitinol，不具有超弹性。但其弹性模量较不锈钢丝低，相同尺寸的情况下，只有不锈钢丝的五分之一或 TMA 的二分之一，但其应力应变依然接近直线。

第二代的镍钛丝一般称为中国镍钛，应力应变曲线为非线性的双模曲线，加载和卸载分别有不同的曲线，但其卸载初始力值的大小取决于加载的强度，加载越大，卸载初始力值也越大。这种现象也称为拟弹性，也属于超弹性的一种。对于拟弹性的弓丝，在使用时需要注意加载幅度与卸载应力的关系，如果牙齿移位较大时，就不能选择一次性将弓丝入槽，否则会产生过大的矫治力。

第三代镍钛丝是以日本镍钛丝为代表，是真正的超弹性镍钛丝。在加载超过一定形变后，应力并不随着形变的增加而增加，卸载时应力在另一个平台上保持相对的稳定，这种双平台、双模的应力应变曲线称为超弹性效应。选择这类镍钛丝时只需要注意其卸载应力的大小，对于移位较重的牙齿，可以选择一次结扎入槽。如果能选择滞后较小的弓丝，临床结扎操作也会变得容易。

热处理过程是镍钛丝产生应力的另一个重要环节，根据热处理的时间不同，可以产生不同的应力，也可以利用热处理的特点，对镍钛丝进行弯制后的再定型，这需要使用专门为弯制镍钛丝设计的热处理仪器。以 GAC 公司的镍钛弓丝为例，一般热处理的温度在 500℃，当温度超过 600℃ 时，弓丝将失去超弹性。这种热力学性质也存在于第二代镍钛丝中，但在第一代镍钛丝没有。

第四代的镍钛丝是具有温度引导相变性质，也称为热激活镍钛（Heat activated NiTi）。其应力应变曲线与第三代镍钛丝相似，只是相变过程不但受应力的影响，同时也可以由临床改变温度来完成。温度引导相变本是镍钛材料的一个固有的特性，只不过第三代以前的镍钛丝其相变温度往往很高，是不可能临床实现的，因此这个特性也不能被临床使用。最有特点是 Ormco 公司的热激活铜镍钛，分别具有不同的相变温度，如 27℃、35℃、40℃。不同的相变温度在口腔内产生的力学效果是不相同的，27℃ 相变的镍钛丝放入口腔内的同时就产生相变，而且一直维持在相变后的状态，其作用类似第三代镍钛丝，40℃ 相变弓丝只有在口腔接触热水或食物时才可能有相变，而且是较短暂的作用，因为对牙齿有间歇加力的效果。因此在临床选择何种热激活镍钛丝，也需要根据实际情况来定。通常对复杂拥挤的排齐，还是主张使用相变温度低于体温的镍钛丝，利用其相变之前的弓丝的柔软，很轻松的结扎入槽，在口腔温度的作用下，相变后的镍钛丝产生合适的矫治力；对于一些单个离牙弓较远的牙齿，如阻生牙开窗后，可以考虑使用高于体温相变的镍钛丝，对其产生间歇加力的效果，更有利于保护牙根及牙周的健康。

除了从力学性质上来选择镍钛丝，摩擦力也是一个重要因素。由于工艺的问题，镍钛