

生物医用材料系列

口腔生物材料学

陈治清 主编

化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据
口腔生物材料学/陈治清主编. —北京:化学工业出版社, 2004. 6
(生物医用材料系列)
ISBN 7-5025-5403-3
I. 口… II. 陈… III. ①口腔科材料②生物材料
IV. ①R783.1②R318.08
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 035008 号

生物医用材料系列
口腔生物材料学
陈治清 主编
责任编辑: 杨燕玲
文字编辑: 咎景岩
责任校对: 王素芹
封面设计: 潘 峰

※

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
现代生物技术与医药科技出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

※

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订
开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 23½ 字数 579 千字
2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-5403-3/Q · 89
定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

主 编 陈治清

编写人员 （以姓氏笔画为序）

李 罡	李全利	莫安春
郭永锦	曾 泉	廖红兵

前 言

当今世界的科学技术正以空前规模和速度向前发展，给社会经济带来了巨大变化。随着物质生活水平的提高，人们更加重视健康，从而促进了医疗事业的进步，特别是口腔医疗水平现已逐渐成为评定一个国家经济发达和文明程度的重要标志。

由于目前新的口腔生物材料不断涌现，口腔医学临床取得了举世瞩目的进步，同时也促进了口腔生物材料不断更新，其应用领域也不断扩大。在进入新世纪以后，结构材料和功能材料并重发展，各学科相互渗透、交叉融合，出现了史无前例的新局面，而对口腔生物材料的要求愈来愈高。在这种形势下，必须突破原来的思维格局、实现跨越，才能适应新时代的需求。

未来的口腔生物材料如何发展，我们认为必须遵循生物医学规律，从临床实践出发，借助现代技术手段，设计新的口腔生物材料，才能达到创新的目的。这不仅是合理有效的途径，也是历史发展的必然。因此，我们在现有口腔材料的基础上，总结过去几十年的工作经验和教训，结合国内外的发展趋势，与在读的博士生和博士后共同努力，编写了本书。本书与以往相比，增加了对口腔生物材料与生物医学基础的论述，并以天然生物体和颌面颌牙组织的梯度、压电、纳米三大结构与功能特征为重点，提出了编者的观点和看法，力图能使本书在理论和应用方面具有广度和深度，在学术方面具有较高水平和价值。

由于本书涉及的学科较多，涉及的知识较新，加之编者的水平所限，在内容上可能存在不足和错误，在撰写技巧上也可能存在不尽人意之处，在此期望读者给予赐教和批评，以求改正。

本书能顺利完成，还要感谢曾指导与合作的老师和同事们，是他们的鼎力支持和无私帮助，给予了编者撰写本书的勇气和力量，是他们用辛勤劳动换来的结晶丰富了本书的内容，在此，再次致以诚挚的感谢。

陈治清

四川大学华西口腔医学院

2004 年 1 月 2 日于成都

目 录

第 1 章 总论	1
1.1 概述	1
1.1.1 口腔生物材料的概念	1
1.1.2 口腔生物医学材料的历史沿革	1
1.1.3 口腔生物材料学的建立和学科地位	2
1.1.4 口腔生物材料的分类	3
1.2 口腔生物材料的性能	3
1.2.1 物理性能	3
1.2.2 化学性能	6
1.2.3 机械性能	7
1.2.4 生物性能	9
1.2.5 耐消毒灭菌性	13
1.2.6 加工成形性和临床操作性	13
1.2.7 生产实用性	13
1.3 口腔生物材料的评价标准	14
1.3.1 评价标准的意义	14
1.3.2 标准化组织的专门机构	14
1.3.3 口腔生物材料标准的发展	14
第 2 章 口腔生物材料与生物医学基础	16
2.1 概述	16
2.1.1 口腔生物材料的研究发展趋势和领域	16
2.1.2 天然生物体特性	16
2.1.3 正常人体颌骨的特点	17
2.1.4 正常牙体组织的特征	18
2.1.5 口腔生物材料的设计	20
2.2 材料与机体组织界面的关系	21
2.2.1 材料与机体界面的概念	21
2.2.2 界面的基本理论	21
2.2.3 界面结合形式	23
2.2.4 材料与细胞界面关系	24
2.2.5 界面与生物力学关系	28
2.3 材料与机体相互作用与改性	31
2.3.1 材料与机体相互作用关系	31

2.3.2	口腔生物材料的改性	33
第3章	口腔生物梯度材料	35
3.1	概述	35
3.1.1	生物梯度材料及其产生背景	35
3.1.2	生物梯度材料分类和特点	37
3.1.3	生物梯度材料的研究内容	38
3.2	生物梯度材料的组成结构及性能评价与检测	39
3.2.1	生物梯度材料组成结构的表征	40
3.2.2	热机械化学性能评价	41
3.2.3	生物学评价	41
3.3	口腔生物材料的本体梯度设计与制备	41
3.3.1	口腔生物材料的本体梯度设计思路和物系选择	41
3.3.2	本体梯度材料制备方法	43
3.3.3	口腔生物梯度本体材料的研究现状	47
3.4	口腔生物材料的表面梯度设计和制备	53
3.4.1	口腔生物材料的表面梯度设计思路和物系选择	53
3.4.2	制备方法	55
3.4.3	口腔生物材料表面梯度的研究现状	60
3.5	口腔生物材料的界面梯度设计	67
3.5.1	材料界面结合形式	67
3.5.2	界面梯度设计	68
3.6	生物梯度材料的研究展望	69
	参考文献	70
第4章	口腔电活性功能材料	75
4.1	概述	75
4.2	生物电学基础	76
4.2.1	生物电和材料的生物电学相容性	76
4.2.2	骨的电现象与电刺激骨生成	77
4.2.3	压电效应与骨改建的分子机理	78
4.3	口腔高分子驻极体的设计和制备	82
4.3.1	概述	82
4.3.2	驻极体材料的种类	83
4.3.3	口腔高分子驻极体材料的设计和制备	89
4.4	口腔生物压电陶瓷的设计和制备	92
4.4.1	压电效应机理	92
4.4.2	压电材料的特征值	93
4.4.3	生物压电材料的种类	94
4.4.4	复合压电陶瓷的设计	95
4.4.5	压电陶瓷的制备	96
4.5	检测与性能评价	97

4.5.1	机械性能	97
4.5.2	生物性能	98
4.5.3	结构和表面形态的观察和评价	98
4.5.4	电学性质的检测和评价	99
4.6	应用技术与开发	99
4.6.1	PMMA 驻极体基托材料	99
4.6.2	口腔压电陶瓷材料	100
4.6.3	口腔电活性功能材料的发展趋势	100
	参考文献	101
第5章	口腔纳米材料与技术	104
5.1	概述	104
5.1.1	纳米材料与技术概念	104
5.1.2	口腔纳米材料与技术体系	108
5.2	口腔纳米材料与技术体系分类	109
5.2.1	口腔组织修复和替换材料	109
5.2.2	口腔纳米药物传输系统	121
5.2.3	口腔纳米装置	122
5.2.4	口腔手术辅助设备	124
5.2.5	口腔诊断工具	124
5.3	口腔纳米材料的性质、设计与制备	125
5.3.1	口腔纳米微粒材料	125
5.3.2	口腔纳米陶瓷	129
5.3.3	口腔高分子-无机纳米复合材料	131
5.4	纳米材料与口腔生物学基础	139
5.4.1	纳米材料与细胞	139
5.4.2	纳米材料与口腔组织	141
5.4.3	纳米材料与口腔细菌	144
5.5	应用技术与开发	144
5.5.1	口腔纳米粘接技术	144
5.5.2	激光纳米治疗技术	147
5.5.3	纳米复合树脂修复技术	147
5.6	口腔纳米材料与技术展望	150
	参考文献	151
第6章	口腔种植材料	155
6.1	概述	155
6.1.1	口腔种植材料概念	155
6.1.2	口腔种植材料的分类	155
6.1.3	口腔种植材料应具备的性能	156
6.1.4	口腔种植材料的相关概念	156
6.2	各类口腔种植材料	157

6.2.1	金属类种植材料	157
6.2.2	生物反应性陶瓷种植材料	161
6.2.3	聚合物基种植材料	170
6.2.4	羟基聚磷酸钙钠	173
6.3	生物矿化与骨修复改建	179
6.3.1	人体硬组织矿物的基本结构	179
6.3.2	磷酸钙盐的化学形成	180
6.3.3	细胞外基质对矿化的作用	181
6.3.4	细胞对矿化的调控作用	182
6.3.5	骨生长的细胞学	182
6.3.6	细胞-细胞外基质的相互作用	184
6.3.7	骨创的愈合与骨生长因子	185
6.4	口腔种植材料-骨组织界面	186
6.4.1	种植界面研究的重要性和复杂性	186
6.4.2	界面研究的基本方法	186
6.4.3	界面的组织学类型	187
6.4.4	骨性结合界面形成机理	187
6.4.5	材料与机体相互作用的机理	190
6.5	口腔硬组织植入性替代材料的生物力学	193
6.5.1	种植材料与骨组织生物力学相容性	193
6.5.2	骨整合牙种植体生物力学	194
6.6	人工牙根种植体	196
6.6.1	常用牙种植体材料	197
6.6.2	牙种植体的设计及理论依据	197
6.6.3	牙种植体设计的趋势	201
6.7	口腔人工骨种植材料	202
6.7.1	颗粒和块状人工骨种植材料	203
6.7.2	原位自固化磷酸钙人工骨种植材料	203
6.7.3	膜引导骨组织再生材料与技术	205
6.7.4	口腔颌面骨替代的相关临床特点	208
6.7.5	人体硬组织替代材料发展趋势	210
	参考文献	213
第7章	口腔生物可降解与吸收材料	216
7.1	概述	216
7.1.1	概念	217
7.1.2	生物降解材料的降解机理	217
7.1.3	降解材料的种类	219
7.2	天然可生物降解材料	220
7.2.1	多糖类生物降解材料	220
7.2.2	蛋白质类生物降解材料	223

7.3	人工合成可生物降解材料	226
7.3.1	聚羟基乙酸和聚乳酸	226
7.3.2	聚 ϵ -己内酯	229
7.3.3	聚酸酐	230
7.3.4	聚磷腈	232
7.3.5	氨基酸类聚合物	233
7.4	口腔生物降解材料的应用	234
7.4.1	药物缓释系统及相关的材料和装置	234
7.4.2	颌骨固定	238
7.4.3	牙周诱导再生和牙槽骨再生	238
7.4.4	颞颌关节盘的修复和置换	238
	参考文献	239
第8章	口腔组织工程与支架材料	242
8.1	概述	242
8.1.1	组织工程学的概念	242
8.1.2	组织工程学的基本原理	242
8.2	组织工程支架材料	243
8.2.1	组织工程材料的制备	244
8.2.2	高分子组织工程支架材料	246
8.2.3	陶瓷材料	248
8.2.4	复合材料	251
8.3	细胞与组织工程材料	253
8.3.1	细胞与材料的界面反应	253
8.3.2	细胞生长的微环境	255
8.4	牙组织工程	257
8.4.1	牙齿发育的分子机制	258
8.4.2	牙髓干细胞	262
8.4.3	牙组织工程的研究现状	263
	参考文献	263
第9章	口腔粘接材料	266
9.1	概述	266
9.1.1	口腔粘接的概念	266
9.1.2	口腔粘接的发展	266
9.2	口腔粘接基础	268
9.2.1	牙体组织的成分和结构	268
9.2.2	口腔粘接材料应具备的性能	269
9.3	口腔粘接材料种类	269
9.3.1	口腔粘接剂的分类	269
9.3.2	口腔粘接剂的组成	270
9.3.3	常用的口腔粘接材料	273

9.4	口腔粘接临床技术与应用	283
9.4.1	牙釉质粘接	283
9.4.2	牙本质粘接	284
9.4.3	口腔陶瓷的粘接	288
9.4.4	口腔金属粘接	290
9.4.5	口腔颌面部软组织粘接	291
9.5	口腔粘接的评价	292
9.5.1	原则与测试项目	292
9.5.2	粘接性能	293
9.5.3	边缘封闭性	295
9.6	口腔粘接材料的研究趋势	296
9.6.1	改善封闭作用	296
9.6.2	降低聚合收缩	297
9.6.3	提高性能	297
	参考文献	298
第10章	口腔修复材料	300
10.1	概述	300
10.1.1	口腔修复材料发展的特点	300
10.1.2	口腔修复材料的分类	300
10.1.3	口腔修复材料的发展趋势	301
10.2	常用口腔修复材料述评	301
10.2.1	印模材料	301
10.2.2	模型材料	301
10.2.3	蜡型材料	302
10.2.4	牙体充填材料	302
10.2.5	根管充填材料	302
10.2.6	义齿基托材料	302
10.2.7	成品人工牙	303
10.2.8	义齿软衬材料	303
10.2.9	颌面假体修复材料	303
10.2.10	齿科水门汀	304
10.2.11	铸造包埋材料	304
10.3	复合树脂	305
10.3.1	树脂基质	306
10.3.2	无机填料	306
10.3.3	固化体系	308
10.3.4	临床应用的进展	309
10.3.5	研究趋势	311
10.4	玻璃离子水门汀	314
10.4.1	GIC 的组成及凝固机理	314

10.4.2	GIC 的氟释放	315
10.4.3	GIC 与牙齿的化学结合	316
10.4.4	GIC 生物性能	316
10.4.5	GIC 抗龋性能研究	316
10.4.6	含银玻璃离子水门汀	317
10.4.7	树脂改性 GIC 的研究	317
10.4.8	GIC 剂型和固化方式的演变	318
10.4.9	GIC 相关的临床进展	318
10.4.10	GIC 的研究趋势	319
10.5	PMMA 义齿基托材料	319
10.5.1	PMMA 聚合粉的改性	320
10.5.2	纤维增强 PMMA 复合材料	322
10.5.3	PMMA 基托与口腔微生态的关系	323
10.5.4	PMMA 纳米复合材料	324
10.5.5	PMMA 基托成型方式的研究进展	325
10.6	口腔陶瓷材料	325
10.6.1	金属烤瓷材料	326
10.6.2	烤瓷全瓷冠材料	329
10.6.3	铸造陶瓷	332
10.6.4	热压铸造陶瓷	333
10.6.5	可切削加工性口腔陶瓷	333
10.6.6	多元陶瓷复合材料	334
10.6.7	纳米复合陶瓷	335
10.7	口腔金属材料	337
10.7.1	口腔金属材料的分类	337
10.7.2	口腔金属材料的安全性	338
10.7.3	各类口腔合金的特点	339
10.8	口腔修复材料抗菌性能	342
10.8.1	口腔修复材料抗菌性能的意义	342
10.8.2	口腔修复材料抗菌性能	342
10.8.3	口腔材料的抗菌性能与口腔微生态平衡的关系	344
	参考文献	345
第 11 章	口腔预防保健材料	349
11.1	概述	349
11.2	口腔防龋材料	349
11.2.1	牙釉质再矿化和再矿化液	350
11.2.2	氟化物	352
11.2.3	窝沟封闭剂	354
11.2.4	其他防龋材料	356
11.2.5	未来龋病预防实施对策	357

11.3	口腔保健清洁材料	358
11.3.1	牙刷	358
11.3.2	牙膏	360
11.3.3	邻间清洁器	360
	参考文献	361

第 1 章 总 论

1.1 概述

1.1.1 口腔生物材料的概念

口腔生物材料系指应用于替换与恢复颌面颌牙及颞颌关节等组织器官缺损缺失外形，重建生理功能以及体外辅助使用的一类特种功能材料，是生物医学材料的一个重要分支，是口腔医学与材料科学的重要组成部分。

1.1.2 口腔生物医学材料的历史沿革

口腔医学的历史中，以采用材料作修复的历史最古老。从历史发展的阶段来看，可分为古代、近代和现代三个时期；从使用的材料性质来看，经历了天然物质—金属—陶瓷—高分子—复合材料的综合发展过程；从医学应用来看，经历了从体外到体内、从局部到全身的发展变化。

从公元前的古埃及、古罗马和古代中国的古墓中，已发现采用石头替代失牙修复的实例。之后又采用木质、象牙作为牙的修复材料，但均是采用天然材料进行原始的修复方法，经历了漫长的时期。

有文字记载以来，在中国唐朝就有采用银膏补牙的记载，宋朝楼钥所著《玫瑰集》一书中有对采用骨、象牙、宝石材料制作牙缺损缺失修复的描述。1050 年开始采用乳香、明矾与蜂蜜混合进行龋洞充填。1480 年，意大利利用金箔补牙。1530 年开始利用金银制品，并在其表面用纸浆粘接棉麻和皮革作义面修复。1565 年采用金属片作腭裂修补，是最早的颌面缺损修复的记载。1756 年用蜡制作口腔印模和用石膏作模型，使制作牙科修复体的工艺和准确度明显提高。1770 年，Jean Darcet 开始用低熔合金补牙。而最有代表性的是法国 De Chemal 发明了瓷牙制作方法，促进了陶瓷嵌体修复的进步。直到 19 世纪初，由于金银铜镍等各种金属冶炼技术的提高，带动了牙科修复的发展，其间最重要的是 1826 年银汞合金问世以后，给牙体修复带来了划时代的进步。紧接着在 19 世纪中叶，氧化锌丁香酚水门汀和磷酸锌水门汀相继推出，1840 年赛璐珞的发明，以及 1869 年硫化橡胶和硝酸纤维的出现，才真正提高了修复技术，并促进了口腔材料的广泛应用。在这些材料技术不断发展的推动下，1878 年，在临床出现了金属桩冠修复和钛金属制作牙种植体修复，开创了口腔植入材料的先例，口腔材料从体外使用进入到体内使用，表明了口腔医学的研究和临床进入了一个新的阶段。

进入到 20 世纪初叶，1912 年开始采用酚醛树脂作根管充填，采用明胶-甘油化合物及乳胶制作软性颌面部缺损修复，使临床治疗范围不断扩大。1930 年钴铬合金的出现和 1931 年醋酸纤维素引入口腔医学，扩大了修复的种类。特别是 1937 年采用甲基丙烯酸甲酯作义齿基托，使口腔修复工艺大大简化，修复技术与效果明显提高，而且一直沿用至今，具有划时代的意义。再有 1940 年发明钛及钛合金，1960 年氧化铝陶瓷和聚羧酸水门汀问世，以及

1971 年的玻璃离子水门汀的应用，将口腔临床修复推向一个崭新的阶段。紧接着 1973 年的生物玻璃陶瓷和 1978 年的羟基磷灰石陶瓷作为植入体成功地应用于临床后，真正丰富了这门学科。

随着世界科技的迅速发展，材料科学已成为经济发展的三大支柱之一，形成了所谓全材料的概念，并有目的、有计划去探索、发现、发明新材料，同时也促进了口腔仿生学的发展，对模拟自然界和人体组织成分结构材料的研究受到高度重视，并取得了前所未有的成果。在 20 世纪 90 年代中期，植入人体材料的精细化和功能化极大促进了口腔生物材料研究与应用的发展，使之获得了空前的进步。近年来，新的高强度口腔陶瓷材料、新型复合树脂和高黏性生物粘接材料、生物降解材料以及钛金属的推广应用，均给临床带来了惊人的变化。特别是进入 21 世纪以后，新的口腔梯度功能材料、口腔电活性材料和口腔纳米材料的崛起，势必在口腔材料的改性与创新中发挥巨大的作用，预计在不久的将来能取得突破性进展，给临床带来革命性变化。

1.1.3 口腔生物材料学的建立和学科地位

1.1.3.1 口腔生物材料学的内容

随着口腔生物材料研究的深化、应用的拓展，逐渐形成了口腔生物材料学科，使口腔生物材料学成为口腔医学的重要组成部分，成为口腔临床医学的基础。这门新兴学科采用了现代自然科学的理论方法和工程技术，用来研究口腔组织结构、生理功能与生物材料的相互关系，从而达到利用口腔生物材料和制品，替代和恢复天然牙和骨缺损缺失后的生理外形和重建已丧失的生理功能，现已成为一门独立学科。口腔生物材料学不仅包括口腔医学的内容，而且还包括理学领域、工学领域、工程学领域的内容，是一门内容丰富、知识广泛的边缘性学科。作为口腔医师，必须具有材料科学的基本知识，有机、无机或金属材料，均应按材料的物性、化学反应性、生物电活性、生物力学性以及生物相容性提出与机体形态与功能相适应的合理设计，在牙体、牙列、颌面部缺损缺失、牙颌畸形和牙周病矫治、龋病预防和口腔种植等修复中获得最佳效果。这样就将口腔医学与材料科学紧密结合在科学的理论基础上，形成具有高度学术水平的基础应用学科。

1.1.3.2 口腔生物材料学在口腔医学中的地位

口腔生物材料学是处于口腔医学与材料科学之间的交叉学科，对现代多学科交叉发展具有重要的地位。近年来，随着现代科学技术的迅速发展，材料科学已成为人类跨越时代的物质基础。由于金属、无机非金属、有机高分子三大类材料及其复合物的大力开发，已逐渐形成了活性金属、生物陶瓷、医用高分子材料的新概念。随着社会发展的需要，结束了人类简单地利用天然材料的时代，而有目的、有计划地探索、发现、发明新材料，特别是采用人工合成的方法研制自然界本来没有的特定材料，与医学是息息相关的，因此成为生命科学的一个重要组成部分。在短短的几十年间，由于口腔生物材料的更新，临床随之产生了巨大的变革，不断取得丰硕成果，显示出了口腔材料在口腔医学中的先导地位和推动作用。所以，研究和开发口腔生物材料，已关系到口腔医学的未来。目前世界各国在口腔生物材料的研究方面发展很快，扩展了内容，成立了口腔生物材料研究中心和学会，编辑了专业分科杂志，并定期举行学术交流会。在教学方面许多大学已将其纳入教学计划，成为必修课程，有计划地培养专门人才。另一方面，由于当今世界正处于知识老化速度与知识更新速度同时加快的时代，若不迅速扩大多学科知识领域，将不能适应这种发展的需要。所以，口腔生物材料学在国内外口腔医学中均占有非常重要的地位。

1.1.3.3 口腔生物材料的学科教育

在中国，口腔生物材料学正式纳入口腔医学专业的教学计划后，现已成为本专业学生的必修课程，已出版了本学科全国规划教材和实验教程，还出版了相配套的英文材料和教学参考书。在此基础上不仅为口腔医学专业的专科生、本科生开设了口腔生物材料课程，还为硕士研究生和博士研究生开设了口腔生物材料课程和专题讲座，并招收了博士后进行口腔生物材料的研究和教学，同时还不断培养了本学科专业的各级教学人员，为建立和完善学科体系作出很大贡献，使口腔生物材料的学科教育得到了迅速提高和发展，在口腔医学学科教育中具有特殊的重要性。

1.1.4 口腔生物材料的分类

口腔生物材料的种类繁多，从研究、应用和教学的不同角度，采取的分类不尽相同，一般有以下几种分类方法。

(1) 按材料性质分类

①有机高分子材料；②无机非金属材料；③金属材料。

(2) 按材料用途分类

①印模材料；②模型材料；③基托材料；④牙体修复材料；⑤衬垫材料；⑥颌面修复材料；⑦粘接材料；⑧种植材料；⑨包埋材料；⑩磨平抛光材料；⑪其他材料，如分离剂、清扫剂、焊剂等。

(3) 按材料与口腔组织接触方式分类

① 直接、暂时与口腔组织接触的材料，如印模、模型蜡、磨平抛光材料等。

② 直接、长期与口腔组织接触的材料，如基托材料、牙体修复材料、粘接材料、种植材料、颌面修复材料等。

③ 间接与口腔组织接触的材料，如模型材料、包埋材料等。

(4) 按材料应用部位分类

①非植入人体的材料；②植入人体的材料。

以上材料分类方法各有优点，但也有不足之处。目前国内外一般是按材料性质与用途综合分类。

1.2 口腔生物材料的性能

1.2.1 物理性能

1.2.1.1 密度

密度是物质在单位体积中的质量（单位为 g/cm^3 ）。固体物质的密度是根据物质在空气中的质量或物质在已知的液体（如水在 4°C 时的密度是 $1\text{g}/\text{cm}^3$ ）中的质量来决定的，一般按公式计算密度。

$$D=\frac{GS}{G-g}$$

式中 D ——物质密度；
 G ——物质在空气中的质量；
 g ——物质在液体中的质量；
 S ——测定温度下测定液体的密度。

作为口腔生物材料，保证有足够的使用强度下要求密度小（表 1-1），有利于加工和固位，并增加自然感。

表 1-1 常用口腔材料密度

材 料	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	材 料	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
金	19.3	汞合金	11
银	10.3	钴铬合金	8.3
铜	8.93	18-8 不锈钢	7.9
镍	8.8	氧化铝陶瓷	2.87
铬	7.2	羟基磷灰石陶瓷	1.16~1.20
铂	21.37	丙烯酸树脂	2.07~2.2
钛	4.5	石英玻璃	2.68~2.92
汞	13.59	牙釉质	2.3
金合金	17	牙本质	3.10
银合金	9		

1.2.1.2 熔点

当结晶物质在外部受热时，获得热能，产生热振动。温度越高振动越大，原子和分子的自由度急剧增强，固体逐渐变为液体，这就是熔解。在一定的压力下，固体和液体处于一种共存的平衡状态，这时的温度称为熔点，同时也是凝固点。如果是非结晶物质，如无机玻璃加热变为液体时，称为软化点。它们在意义上有所差异。熔点对于口腔生物材料的热处理，特别是金属材料的铸造，是非常重要的。

1.2.1.3 热膨胀

多数物质在受热时，将获得热能，原子和分子振动幅度加大，其原子和分子的距离增加，固体的体积也随之增加，这就是正热膨胀。物质在受热时，固体体积反而产生收缩，称负热膨胀，如硅酸铝锂等。若指长度变化的，称为线膨胀。一般体积膨胀是线膨胀的 3 倍，以热膨胀系数表示，所以必须是在某一定温度下测定热膨胀系数，见表 1-2。

表 1-2 常用口腔材料的热膨胀系数

材 料	热膨胀系数/ 10^{-6}K^{-1}	材 料	热膨胀系数/ 10^{-6}K^{-1}
金	14.1(0~100℃)	丙烯酸树脂	81.0
银	19.1(0~100℃)	复合树脂	26.0~40.0
铜	17.0(0~100℃)	嵌体蜡	350~450
铂	9.0(0~100℃)	玻璃离子水门汀	10.2~11.4
钛	8.40	磷酸锌水门汀	0.32
金合金	13.0~15.0	牙釉质	11.40(牙冠部分)
汞合金	22.1~28.0		8.30(牙根部分)
钛合金	12~18	牙本质	11.40(牙冠部分)
长石质烤瓷	12~15		8.30(牙根部分)

受热膨胀，受冷收缩，是绝大多数物质的性质。此性质对于口腔生物材料在作为充填体、金属烤瓷修复体时都非常重要。因为不同物质在同一温度下，其热膨胀系数是不同的。当材料与材料，材料与牙体之间的热膨胀系数相差明显时，两者结合面就容易出现间隙，而导致失败。另外口腔用金属在铸造时产生的膨胀和随之产生的收缩，均须采用相匹配的包埋材料，以同等膨胀来补偿铸金的收缩，才能获得精密的铸造修复体。也可采用加入负热膨胀的物质来补偿膨胀差。

1.2.1.4 热导性

热导性是指物质的内能从高温向低温传递的性质，这对于口腔修复体非常重要。即在牙体修复时，接近牙髓的部位，必须选择热导率低的材料，避免刺激牙髓；而义齿基托，则要选择热导率高的材料，获得温度感觉。口腔材料中导热性差异很大，应根据不同的用途进行选择。见表 1-3。

表 1-3 牙釉质、牙本质及一些口腔材料的热导率

材 料	热导率/ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	材 料	热导率/ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
牙釉质	0.87~0.92	磷酸锌水门汀	1.05~1.29
牙本质	0.57~0.63	氧化锌丁香酚水门汀	0.46
银汞合金	23	银	385~421
复合树脂	1.1	铜	370~394
金合金	297.3	金	297
丙烯酸树脂	0.21	铂	69.8
陶瓷	1.05		

1.2.1.5 弹性

物质由分子、离子、原子构成，一般情况下是保持平衡关系。但是，当受外力作用时，物质内部发生变化而产生抵抗外力的内力，两种力的方向相反，当一个物体受力时所产生的应力及两个物质受力时在界面产生的应力均引起物体发生形变，但外力消除后应力为零，变形也消失，这种性质就称为弹性。所产生的形变，称为弹性形变，应力愈大，形变也愈大。根据这种直线正比关系，就求得这种物质的弹性系数。以上是晶体的情况。而非晶体因原子间的束缚力弱，分子间的结合力也弱，容易产生形变，而形变后的回复较困难。除产生弹性形变外，同时又产生流动形变，两者常常同时发生而难以区分开。这对于骨的修复材料更加重要，要求材料和骨的弹性系数必须相适应，特别是种植材料，一般为硬质材料，当植入骨内后，因弹性系数小，容易产生应力集中，在咀嚼作用下，骨将受到材料的应力作用，易造成损伤而失败。

1.2.1.6 刚性

刚性是表示物体在受外力作用下最大的折断率，即物体能够抵抗外力作用直到断裂时的最大强度。在口腔生物材料中，作为体积较大的修复体，如果要求在强的应力作用下而不产生永久形变或破裂，就应选择刚性较好的材料，才能满足治疗的要求。但刚性很大的材料加工困难，而且会造成骨吸收，所以种植材料宜采用刚性较小的材料才符合生物力学性。

1.2.1.7 塑性

物体耐受外力是有一定限度的，应力的限度称为弹性限度。超过这个限度，将产生永久形变不能恢复，这种永久形变的性质称为塑性。在弹性限度以内，几乎不产生永久形变而且是可塑的。塑性受温度的影响很大，温度高，形变大。一般热塑性高分子材料明显属于这种塑性体。口腔高分子材料制作的修复体就必须具有这一性质。

1.2.1.8 延性和展性

延性是指丝状、棒状物体受到拉伸应力产生伸长形变的性质。拉伸形变大，延性就大。牙用钢丝必须具有这种性质。展性是指薄的片状和板状物体，在受外力时产生扩大形变的性质。这不仅与受力大小有关，而且也与温度影响有关，温度上升时，展性增大。