



普通高等教育“十五”国家级规划教材

生物材料学

阮建明 邹俭鹏 黄伯云 编著



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本书首先分别引入材料科学的基础知识和与人体组织相关的生物学基础知识,然后介绍与人体组织相关的生物学知识,特别是细胞结构与功能、骨组织生物力学、生物相容性以及判别依据等;阐述了材料的基本结构与基本性能;介绍了金属、陶瓷、高分子植入材料,并重点论述了材料制备工艺-材料微观结构-材料性能间相互关系;介绍软组织和硬组织的修复与替代;讨论器官移植与组织工程新技术;以蛋白质功能区的特点引入生物纳米技术,并着重介绍了纳米材料制备与表征方法以及纳米药物载体与药物控释。本书附有大量图表和一些例题及习题,便于读者学习。

本书可作为材料科学领域各专业、环境工程各专业、生物医学工程专业和临床医学专业的高年级本科学生和研究生生物材料学课程的教材,也可供相关科技人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

生物材料学/阮建明,邹俭鹏,黄伯云编著. —北京:科学出版社,2004
(普通高等教育“十五”国家级规划教材)

ISBN 7-03-012582-7

I. 生… II. ①阮… ②邹… ③黄… III. 生物材料-高等学校-教材
IV. Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 124936 号

责任编辑:杨向萍 周巧龙·吴伶伶

责任校对:宋玲玲/责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年7月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年7月第一次印刷 印张:25 1/2

印数:1—3 500 字数:480 000

定价:32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

《生物材料学》是“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”之一。学科间的融合与交叉已成为 21 世纪科学技术发展的趋势,作者针对材料科学、生命科学、环境科学等专业的教学需求,并基于多年国内外研究和教学工作经历著写本书。

本书内容力图结合材料科学和医学的相关知识,突出基本概念和基本原理,目的是使读者熟悉生物材料在医学中的运用和此类运用合理性的理论基础。书中系统地介绍了体内组织与器官替代用生物材料及器械的基本结构、物理机械性能、表面性能、生化性能、人体细胞及体液组织对植入材料的反应和生物相容性,植入材料的腐蚀与毒性作用,人体软、硬组织替代材料的选择、应用与实践等,着重从材料科学和临床医学两个方面讨论材料与生命组织间的各种相互作用。

本书可作为材料科学领域各专业、环境工程各专业、生物医学工程专业和临床医学专业的高年级本科学生和研究生生物材料学课程的教材,也可供相关科技人员阅读参考。书中各章后基本附有习题可供学生练习,此外还附有参考文献,供进一步阅读。为方便读者学习,书后附有名词解释和材料常用物理性能及单位换算表。教师可以根据不同学科方向,对学生进行选择性和重点性教学。

李亚军、骆锋、张海坡、刘兵等同志参与了本书的文献收集、图表制作以及文字校对等大量工作,在此表示诚挚感谢。

由于生物材料学是我国新发展的学科,参考教材很少,因此在编著本书过程中难免存在缺点与不当之处,敬请同行专家和使用本书的师生指正。

作 者

2004.4

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 生物材料发展背景	1
1.2 生物材料的分类及基本性质	2
1.3 生物材料的使用性能	5
1.4 生物材料及学科发展	7
参考文献	8
第 2 章 生物学相关基础与生物相容性	9
2.1 细胞结构与功能	9
2.2 细胞外基质	14
2.3 人体血液与组织液系统	17
2.3.1 人体血液构成及性质	17
2.3.2 肝素	23
2.3.3 血管组织	23
2.3.4 血流量和血流速率	24
2.4 人体组织液构成及性质	26
2.4.1 组织液的生成	26
2.4.2 血液和组织液之间的物质交换	27
2.5 人体骨骼系统与骨组织生物力学	27
2.5.1 骨质与骨骼	27
2.5.2 关节生物力学	32
2.6 人体免疫系统与免疫细胞	37
2.6.1 淋巴细胞、巨噬细胞与免疫	38
2.6.2 吞噬细胞	42
2.6.3 细胞因子	44
2.7 材料-组织界面反应	45
2.7.1 物质过膜转运	45
2.7.2 反应过程与反应机理	46
2.7.3 颗粒状植入材料可能的毒副作用	48
2.7.4 细胞对植入物质的反应规律	48

2.7.5 吸收物质的生物排泄	48
2.8 生物相容性	49
2.8.1 概述	49
2.8.2 生物相容性评价体系	49
习题	52
参考文献	52
第3章 材料的基本结构	54
3.1 化学键	54
3.2 晶体结构	55
3.2.1 同尺寸原子	55
3.2.2 合金材料	57
3.3 晶体结构的缺陷	58
3.4 长链分子化合物	60
3.5 过冷和网状固体	63
3.6 复合材料结构	65
习题	67
参考文献	68
第4章 材料的基本性能	69
4.1 力学性能	69
4.1.1 材料的应力-应变行为	69
4.1.2 力学性能失稳	71
4.1.3 黏弹性	74
4.2 热学特征	81
4.3 相图	84
4.4 热处理强化	86
4.4.1 金属	86
4.4.2 陶瓷和玻璃	87
4.4.3 高分子聚合物和人造橡胶	87
4.5 表面特性	87
4.6 电性能	89
4.7 光学性能	91
4.8 X射线吸收	93
4.9 密度和孔隙度	94
4.10 声学和超声波性能	95
4.11 扩散特性	97

习题	98
参考文献	98
第 5 章 金属植入材料	100
5.1 不锈钢	100
5.1.1 不锈钢种类和组成	100
5.1.2 不锈钢的性能	101
5.1.3 不锈钢植入材料的制造方法与过程	101
5.2 Co 基合金	102
5.2.1 Co 基合金的种类和组成	102
5.2.2 钴基合金的特性	103
5.2.3 钴基合金植入器件的制造	105
5.3 钛和钛合金	106
5.3.1 Ti 金属和 Ti 合金的成分	106
5.3.2 钛和钛合金的结构与性能	107
5.3.3 Ti 植入器件制造	109
5.4 齿科用金属	110
5.4.1 齿科用汞合金	110
5.4.2 金	111
5.4.3 Ni-Ti 合金	111
5.5 其他金属	115
5.6 金属植入材料的腐蚀	116
5.6.1 电化学腐蚀	116
5.6.2 腐蚀中的电势-pH 图	118
5.6.3 腐蚀速率和极化曲线	120
5.6.4 临床应用金属的腐蚀	120
5.6.5 腐蚀最小化实例分析	121
5.7 金属与合金表面涂层处理	124
5.7.1 氮化处理	124
5.7.2 涂层处理	124
习题	126
参考文献	127
第 6 章 陶瓷植入材料	128
6.1 陶瓷结构与性能的关系	128
6.1.1 原子键与原子排列	128
6.1.2 陶瓷材料的物理性能	129

6.2 氧化铝	130
6.2.1 氧化铝的性能	130
6.2.2 氧化铝单晶的制备方法	131
6.2.3 氧化铝单晶的临床应用	132
6.3 磷酸钙陶瓷	132
6.3.1 磷酸钙盐的结构	132
6.3.2 羟基磷灰石的性能	133
6.3.3 羟基磷灰石生产工艺	134
6.4 玻璃陶瓷	135
6.4.1 玻璃陶瓷的制备	136
6.4.2 玻璃陶瓷的性能	137
6.5 其他陶瓷	139
6.5.1 氧化锆、铝酸钙生物陶瓷	139
6.5.2 氧化钛、尖晶石生物陶瓷	141
6.5.3 功能性活性生物陶瓷	143
6.6 碳化物	143
6.6.1 碳结构	144
6.6.2 碳的性能	144
6.6.3 植入体制造	146
6.7 陶瓷品质的恶化	147
6.8 生物陶瓷应用	150
6.8.1 硬组织修复和替代材料	150
6.8.2 放射性生物陶瓷在治疗癌症方面的应用	153
习题	154
参考文献	154
第7章 医用高分子植入材料	156
7.1 高分子材料的聚合	156
7.1.1 缩聚反应	156
7.1.2 加成聚合或自由基聚合反应	157
7.2 分子结构和温度对聚合物性能的影响	159
7.2.1 相对分子质量和化学成分的影响	159
7.2.2 侧基团、交联和支链的影响	161
7.2.3 温度对材料性能的影响	161
7.3 聚合物植入材料	162
7.3.1 尼龙	163

7.3.2 聚乙烯	164
7.3.3 聚丙烯	165
7.3.4 聚丙烯酸酯	166
7.3.5 碳氟聚合物	170
7.3.6 橡胶	171
7.4 高强度的热塑料	172
7.5 生物降解性高分子材料	174
7.6 聚合物的破坏	177
7.6.1 化学作用	177
7.6.2 消毒作用	177
7.6.3 机械化学作用	178
7.6.4 体内环境的作用	179
7.7 复合材料结构	180
7.7.1 复合材料的力学性能	181
7.7.2 复合生物材料的应用	184
习题	189
参考文献	190
第8章 生物组织的结构-性能关系	192
8.1 蛋白质	192
8.1.1 胶原蛋白	193
8.1.2 弹性蛋白	195
8.2 多糖	196
8.2.1 透明质酸与软骨素	197
8.2.2 硫酸软骨素	197
8.3 组织的结构性能关系	198
8.3.1 矿化组织(骨与牙)	198
8.3.2 骨改造	207
8.3.3 富含胶原蛋白的组织	209
8.3.4 弹性组织	213
习题	218
参考文献	219
第9章 人体组织对植入材料的反应	221
9.1 正常伤口的治愈过程	221
9.1.1 炎症	221
9.1.2 细胞在伤口修复过程中的反应	223

9.2 人体对植入材料的反应	227
9.2.1 细胞对植入材料的反应	227
9.2.2 植入材料对全身的影响	230
9.3 血液相容性	232
9.3.1 影响血液相容性的因素	232
9.3.2 无凝血作用的表面	233
9.4 致癌性	234
9.4.1 致癌性的测试	235
9.4.2 风险评估	235
9.5 植入物的病理学反应	236
9.5.1 硅树脂植入物的病理学并发症	236
9.5.2 磨损颗粒引发的炎症反应	239
9.5.3 生物材料表面的补体激活	239
9.5.4 植入物的异常矿化作用	241
9.5.5 细胞毒性反应	241
习题	247
参考文献	247
第 10 章 软组织替代与植入	249
10.1 缝合线、手术胶带和组织胶带	249
10.1.1 缝合线	249
10.1.2 手术胶带和手术纤维	251
10.1.3 组织胶带	251
10.2 经皮植入体和皮肤植入体	253
10.2.1 经皮器	253
10.2.2 人造皮肤	256
10.3 颞面组织和其他软组织修复	257
10.3.1 颞面植入体	257
10.3.2 眼、耳植入体	258
10.3.3 体液传输植入体	260
10.3.4 孔隙填充植入体	261
10.4 血管植入材料	262
10.5 心脏瓣膜植入材料	264
10.6 心和肺辅助装置	266
10.7 人造器官	268
10.7.1 人造心脏	269

10.7.2 心脏起搏器	270
10.7.3 人工肾脏透析膜	271
习题	276
参考文献	277
第 11 章 硬组织替代与修复	278
11.1 植入用金属丝、销和螺钉	279
11.1.1 金属丝	280
11.1.2 内固定钉	280
11.1.3 螺钉	281
11.2 接骨板	284
11.2.1 皮质骨接骨板	284
11.2.2 松质骨接骨板	286
11.3 骨髓腔内置装置	287
11.4 脊柱固定器件	290
11.5 骨折电磁刺激疗法	290
11.6 关节的替换	292
11.6.1 下肢关节植入	294
11.6.2 上肢关节植入	301
11.7 牙科植入材料	306
11.7.1 牙根植入体	306
11.7.2 骨膜接触型种植体和下颌骨穿孔型植入体	307
11.8 矫形植入的界面问题	308
11.8.1 骨水泥固定	308
11.8.2 孔隙内生长固定	311
11.8.3 直接骨性结合	313
11.8.4 界面与被动固定	313
习题	313
参考文献	314
第 12 章 器官移植与组织工程	315
12.1 器官移植	315
12.1.1 移植过程免疫学因素	316
12.1.2 血液组织移植(输血)	317
12.1.3 个体器官移植	318
12.1.4 骨移植	322
12.1.5 皮肤和头发移植	323

12.1.6 组织和器官再生	323
12.1.7 伦理上的考虑	324
12.2 组织工程	324
12.2.1 组织工程概况与研究进展	324
12.2.2 细胞免疫和组织移植	328
12.2.3 基体和细胞外支架在细胞移植中的作用	329
12.2.4 外衬结构的组织工程	331
12.2.5 骨组织工程	333
12.2.6 人造器官的组织工程	335
12.2.7 组织工程研究和应用的若干问题	336
12.2.8 组织工程展望	337
12.3 干细胞工程	338
12.3.1 干细胞的概念和特性	338
12.3.2 干细胞工程的临床应用	339
12.3.3 干细胞工程中的主要问题	341
12.3.4 干细胞工程中亟待解决的关键问题	343
12.3.5 干细胞工程展望	343
12.3.6 干细胞工程的伦理学考虑	343
习题	344
参考文献	344
第 13 章 生物纳米技术	346
13.1 蛋白质纳米功能区域	346
13.2 纳米生物材料概念	348
13.2.1 纳米生物材料基本特性	348
13.2.2 纳米生物材料制备技术	350
13.2.3 纳米颗粒表征方法(纳米颗粒测量技术)	355
13.3 纳米传感器	357
13.4 纳米药物/基因载体技术	361
13.5 纳米药物载体导向技术	364
13.5.1 物理化学导向	364
13.5.2 生物导向	365
13.6 纳米材料控释作用	365
13.6.1 纳米材料控释作用优越性	366
13.6.2 药物控释纳米载体材料的基本要求	366
13.6.3 制备胶囊药物释控体系的高分子材料	368

13.6.4 纳米微胶囊载体的制备方法	369
13.6.5 纳米药物载体的药物控释机理	370
13.6.6 纳米颗粒表面改性与药物组装	373
13.6.7 高分子纳米颗粒药物控释体系的给药途径	375
习题	378
参考文献	379
附录	381
附录 1 物理常数表	381
附录 2 单位换算表	381
附录 3 基本公制单位	381
附录 4 衍生单位表	381
附录 5 常用前缀符号表	382
附录 6 部分元素的特征数据表	382
附录 7 部分工程材料的性能表(20℃)	383
附录 8 名词解释	384

第 1 章 绪 论

1.1 生物材料发展背景

生物材料学研究用于修复人体缺陷的各类材料的基本结构、基本特性、生物性能和人体组织及器官对材料的反应,从基本原理上探索生物材料与细胞间的相互作用,研究材料过程-材料结构-材料性能之间的关系。

人们已经发现,许多无生命的材料可以用于治疗疾病与创伤,一些普通的应用包括创伤缝合和补牙。生物材料是一种用来取代活体部位或在与活体组织内部联系中发挥作用的合成材料。根据生物材料的特点和性质,可将生物材料定义为“一种用于植入或与活体系统结合的无药理学和无生命性质的物质”。随着社会的发展和科学技术的进步,生物材料的种类越来越多,包括所有植入人体体内且与体内组织直接接触并起到某一特定作用的材料都称为生物材料。因为皮肤对人体内部器官起屏障作用,所以仅仅用于与皮肤相接触的如助听器和人造假肢之类的人工材料并不是生物材料。生物材料的作用在表 1-1 中进行了描述,包括取代由于疾病或创伤丧失功能的人体部位,协助治愈、增强功能和矫正畸形。

表 1-1 生物材料的应用

应用方面及结果	体内用生物材料及医疗器械
坏死或创伤组织替代	人工髋骨关节,肾透析仪
辅助组织愈合	手术线,接骨板,接骨螺钉
改进器官或组织功能	心脏起搏器,隐形眼镜
异位矫正	Harrington 脊椎骨杆
协助诊断	探针,导管,内窥镜
协助治疗	导液管,排尿管

早期的外科手术总是因为感染而失败,直到 19 世纪 60 年代李斯特(Lister,德国)开始研究无菌外科手术,生物材料才获得实际运用。因为植入可能导致某些部位的组织或器官与肌体免疫组织相容性较差,所以生物材料的出现和在临床上的应用使感染问题趋向恶化。就像大部分现代植入一样,早期的成功植入往往出现在骨骼系统。金属骨骼板在 20 世纪初就被应用于骨折的固定上,但是这种早期的板形植入器件许多在体内断裂。原因是材料设计太薄并且存在应力集中的转角,与人体运动所产生的负荷不匹配,导致疲劳断裂。同时,还因为发现具有优异机械性能而被临床应用的钒钢在人体中也被体液组织逐渐腐蚀,材料在体内的生物相

容性和化学稳定性引起了更多的关注。在同时考虑力学性能和生物相容性能的综合要求后,产生了更好的设计和材料。在 20 世纪 30 年代,不锈钢和钴铬合金应用于固定骨折之后,成功实施了首例人工关节植入手术。高分子聚合物材料在人体中的应用出现在第二次世界大战时期,当时是人们发现被战斗机塑料遮蓬碎片(聚甲基丙烯酸)击伤的飞行员并没有因为体内碎片的存在而产生不利的慢性反应。之后,高分子聚合物作为生物材料逐渐得到了应用,从此有机玻璃(聚甲基丙烯酸甲酯)在眼角膜和受损头骨部分的植入中得到了广泛应用。随着材料和外科手术的进步,20 世纪 50 年代尝试进行了血管植入,60 年代进行了心脏瓣膜和骨水泥固定人工关节的植入。许多医药领域的进步极大地促进了生物材料的发展。例如,随着抗生素的出现,传染病已经没有以前那么危险。此外,外科技术的进步也促进了生物材料临床应用的发展。总结生物材料发展历史及所使用的材料,生物材料一般可分为三代。第一次世界大战以前所使用的可归于第一代生物医学材料,代表材料有石膏、各种金属、橡胶以及棉花等物品,这一代的材料多数已被现代医学所淘汰。第二代生物材料的发展是建立在医学、材料科学(尤其是高分子材料学)、生物化学、物理学及物质结构性能测试技术发展的基础之上的,代表材料有羟基磷灰石、磷酸三钙、聚乙醇酸、聚乳酸、聚甲基丙烯酸甲酯、胶原、多肽、纤维蛋白等。第三代生物材料是一类具有促进人体自身修复和再生作用的生物医学复合材料。它们一般由具有生理活性的组元及控释载体的非活性组元构成,具有比较理想的修复再生效果,骨形态基因蛋白(bone morphogenetic protein, BMP)材料是第三代生物医学材料中的代表。

1.2 生物材料的分类及基本性质

生物材料种类繁多,到目前为止,被详细研究过的生物材料已经超过 1000 种,在医学临床上广泛应用的也有几十种,涉及材料学科各个领域。依据不同的分类标准,生物材料可以分为不同的类型。如果以材料的生物性能为分类标准,生物材料可分为生物惰性材料、生物活性材料、生物降解材料和生物复合材料四类。

(1) 生物惰性材料(bioinert material)。生物惰性材料是指一类在生物环境中能够保持稳定,不发生或仅发生微弱化学反应的生物医学材料,主要是惰性生物陶瓷类和医用金属及合金类材料。由于在实际中不存在完全惰性的材料,因此生物惰性材料在肌体内也只是基本上不发生化学反应,它与组织间的结合主要是组织长入其粗糙不平的表面形成一种机械嵌联,即形态结合。生物惰性材料主要包括氧化物陶瓷(Al_2O_3 、 ZrO_2)、 Si_3N_4 陶瓷、玻璃陶瓷、医用碳素材料、医用金属材料等。该类材料由于具有生物惰性,植入体内后无论是形体或结构一般不会发生改变,力学性能稳定,因此该类材料是目前人体承重材料中应用最广泛的材料。

(2) 生物活性材料(bioactive material)。生物活性材料是一类能与周围组织发生不同程度生化反应的生物医学材料。生物活性材料主要有以下几类:羟基磷灰石材料、磷酸钙生物活性材料、磁性生物陶瓷材料、生物玻璃等。目前,关于此方面的研究已成为生物材料的主要研究方向之一。羟基磷灰石是一种典型的生物活性材料,是人体骨的主要无机质成分,当其植入体内时不仅能引导成骨,而且能与新骨形成骨性结合。在肌肉、韧带或皮下种植时,能与组织密切结合,无炎症或刺激反应。

(3) 生物降解材料(biodegradable material)。生物降解材料是指那些被植入人体以后,能够不断发生降解,降解产物能够被生物体所吸收或排出体外的一类材料,主要包括 β -TCP 生物降解陶瓷和降解性高分子生物材料两类。前者主要用于修复良性骨肿瘤或瘤样病变手术刮除后所致缺损,后者主要作为药物载体和组织工程支架材料以及骨科内固定器件。

(4) 生物复合材料(composite biomaterial)。生物复合材料又称为生物医用复合材料,它是由两种或两种以上不同材料复合而成的生物医学材料。制备此类材料的目的就是进一步提高或改善某一种生物材料的性能。此类材料主要用于修复及替换人体组织、器官或增进其功能。根据不同的基材,生物复合材料可分为高分子基、金属基和陶瓷基复合材料三类。它们既可以作为生物复合材料的基材,又可作为增强体或填料,它们之间的相互搭配或组合形成了大量性质各异的生物医学复合材料。根据材料植入体内后引起的组织反应类型和程度,生物复合材料又可分为生物惰性的、生物活性的、可生物降解的和吸收的复合材料等类型。生物医学复合材料的发展为获得真正仿生的生物材料开辟了广阔途径。

根据材料的属性,生物材料又可分为金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料以及它们的复合材料。金属材料、有机高分子材料与无机非金属材料的性能比较如表 1-2 所示。

表 1-2 金属材料、有机高分子材料与无机非金属材料的性能比较

性能	金属材料	有机高分子材料	无机非金属材料
生物相容性	中等	中等	良好
化学稳定性	低	中等	高
耐热性	中等	差	好
热膨胀系数	中等	大	小
热传导性	好	差	中等
硬度	中等	低	高
拉伸系数	大	中等	中等
可成形性	中等	易	难
压缩系数	中等	大	小

除上述四种生物材料外,下面再介绍四种生物医用材料。

(1) 生物医用金属材料(biomedical metallic material)。生物医用金属材料是

用于生物医学材料的金属或合金,又称外科用金属材料(surgical metal),是一类惰性材料。此类材料具有高机械强度和抗疲劳性能,是临床应用最广泛的承力植入材料。此类材料的应用非常广泛,涉及硬组织、软组织、人工器官和外科辅助器材等各个方面。医用金属材料应用中的主要问题是:由于生理环境的腐蚀,会造成金属离子向周围组织扩散及植入材料自身性质的蜕变,前者可能导致毒副作用,而后者常常导致材料植入失败。已经用于临床的医用金属材料主要有不锈钢、钴基合金和钛基合金等。此外,还有形状记忆合金、贵金属以及纯金属钽、铌、锆等。

(2) 生物医用高分子材料(biomedical polymer)。生物医用高分子材料是生物医学材料中发展最早、应用最广泛、用量最大的材料,也是一个正在迅速发展的材料。它既可以来源于天然产物,又可以人工合成。此类材料除应满足一般的物理、化学性能要求外,还必须具有足够好的生物相容性。按照不同的性质,医用高分子材料可分为非降解型和可降解型两类。对于前者,要求其在生物环境中能长期保持稳定,不发生降解、交联或物理磨损等,并具有良好的物理机械性能。非降解型高分子主要包括聚乙烯、聚丙烯、聚丙烯酸酯、芳香聚酯、聚硅氧烷、聚甲醛等。可降解型高分子主要包括胶原、线性脂肪族聚酯、甲壳素、纤维素、氨基酸、聚乳酸、聚乙醇酸、聚己内酯等。根据使用的目的或用途,医用高分子材料还可分为心血管系统、软组织及硬组织等修复材料。

(3) 生物医用陶瓷材料(biomedical ceramic)。生物医用陶瓷材料又称生物医用无机非金属材料,包括陶瓷、玻璃、碳素等无机非金属材料。此类材料化学性能稳定,具有良好的生物相容性。一般来说,生物陶瓷主要包括惰性生物陶瓷、活性生物陶瓷和功能活性生物陶瓷三类。其中,惰性生物陶瓷和活性生物陶瓷在前面已经简要做了介绍,而功能活性生物陶瓷是近年来提出的一个新概念。功能活性生物陶瓷主要包括以下两类:模拟性生物陶瓷材料和带有治疗功能的生物陶瓷复合材料。现在,功能活性生物陶瓷的研究还处于探索阶段,很少有临床应用报道,但其应用前景是很光明的。

不同种类的生物陶瓷的物理、化学和生物性能差别很大,在医学领域中的用途也不同,详见表1-3。临床应用中,生物陶瓷存在的主要问题是拉伸强度、扭转强度和韧性较差。氧化铝、氧化锆等生物惰性陶瓷耐压、耐磨和化学稳定性比金属、有机材料都好,但其脆性的问题没有得到解决。生物活性陶瓷的强度则很难满足人体较大承力部位的需要。

(4) 生物衍生材料(biologically derived material)。生物衍生材料是由经过特殊处理的天然生物组织形成的生物医用材料,也称为生物再生材料,主要用于人工心脏瓣膜、血管修复体、皮肤敷膜、纤维蛋白制品、骨修复体、软膜修复体、鼻软骨种植体、血液透析膜等。

表 1-3 生物陶瓷材料的临床应用范围

材料	人工骨	人工关节	人工齿根	骨填充材料	心脏瓣膜	人工血管	人工气管	人工肌腱
羟基磷灰石	✓	✓	✓	✓				
氧化铝	✓	✓	✓					
碳		✓	✓		✓	✓	✓	✓
磷酸钙	✓		✓	✓				
磷酸盐骨水泥			✓					
P ₂ O ₅ 系生物玻璃	✓	✓						
氧化锆		✓	✓					

1.3 生物材料的使用性能

材料在人体中的应用可以从不同角度来认识。首先,我们可以从生物材料解决问题的范围来认识它,如表 1-1 中所示;其次,我们可以从器官(表 1-4),或者系统(表 1-5)这个层次来认识;第三,我们可以从材料的分类来认识,如表 1-2 中所示的金属材料、高分子材料、陶瓷和化合物。通过这些分类方法,考察和评定生物材料的功能受到材料和肌体之间的相互作用的影响,特别是肌体环境对材料的作用和材料对肌体的作用。

表 1-4 生物材料在器官中的应用

器官	应用器械
心脏	起搏器,人工瓣膜
肺	制氧机
眼睛	隐形眼镜
耳	外耳重建,人工耳
骨骼	接骨板
肾	肾透析仪
膀胱	导排器

表 1-5 应用于肌体系统的生物材料

肌体系统	生物材料
骨骼	内固定板,人工关节替换
肌肉组织	手术线(缝合)
消化管	手术线(缝合)
循环系统	人工血管和人工瓣膜
呼吸系统	制氧机
外皮(表面组织)	手术线,烧伤覆盖物,人工皮肤
泌尿系统	导管,透析仪
神经系统	起搏器
内分泌系统	人工胰岛素微囊
再生生殖系统	整形,矫形,替代,乳房再植和整形