

生物医学工程学复习提纲（完整版）

绪论

一、本章学习目标：

- 1、掌握生物医学工程学（BME）概念。
- 2、了解生物医学工程学的近代发展史。
- 3、熟悉 BME 涵盖的学科内容及学科分支。
- 4、了解 BME 研究的重大课题及研发趋势。

二、本章纲要：

1、掌握生物医学工程的概念、特点、发展中国生物医学工程学科的战略原则。

2、了解生物医学工程的发展史、研究现状、未来的展望。

3、熟悉生物医学工程涵盖的学科内容及学科分支。

三、思考题：

1、生物医学工程的概念、内涵和特点？

答：（1）、概念：是包含多种技术并相互交叉融合的一门科学。它综合了生物学、医学与工程学的理论和方法，研究生命体的构造、功能、状态和变化，研究新材料、新技术、新仪器设备，用于防病、治病、保护人民健康和提高医学水平。

（2）、内涵：是工程科学原理和方法与生命科学的原理和方法相结合，认识并解决人类心身健康的问题，并使有限的卫生资源为全社会共享。

①、是大跨度、多学科和多种技术的深度交叉、结合。不仅要发现规律，解释现象，还解决实际问题。

而且后者更为重要。

②、是科学研究、技术发展、产品开发和产业发展，密切结合。这里，不仅有经济效益的追求(市场

导向)，更重要的是，它必须服从全社会医疗保健系统整体目标的需要。

（3）、特点：是工程科学的原理和方法与生命科学的原理和方法

相结合，从不同的层次(整体、系统、器官、组织、细胞、亚细胞结构和生物大分子等)研究人的生命运动的规律(定量)并发展相应的技术和装置，应用于医学和保健，维持和促进人类的健康。

2、生物医学工程学涵盖的主要学科？

答：人体系统工程；生物医学传感器；医学图像技术与仪器；生物材料；人工器官；组织工程学；康复工程；家庭医疗保健工程；远程医疗系统；仿生学；医用机器人。

3、生物医学工程学发展的战略原则？

答：①、“医学应该努力使其目的适应经济现实”；

②、“公正的和公平的医学”；

③、“供得起的和可持续的医学”；

4、生物医学工程学的发展趋势？

答：①、从宏观向微观深入，宏观与微观相结合。

②、在生物医学工程科学研究的方法上，分析与综合相结合来解决实际问题。

③、东方传统医学(非常规医学或替代医学等等)

④、生物医学工程和生物化学工程正在交汇、融合。

⑤、几乎各个学科领域的新发现、新技术都有可能被引入生物医学工程领域，而应用于医学。

5、发展“省钱”的生物医学工程学的重点？

答：①、有限功能目标的选择和合理确定；

②、先进的总体(系统)设计思想；

③、系统可靠性保证；

④、使用操作简便；

⑤、耐受性和鲁棒性。

第一讲人体系统工程

1、人体系统工程的概念和研究目标？

答：(1)、概念：用系统分析、计算数学、最优化方法构筑模型，研究人体系统的结构与功能状态，使各组成部分维持平衡、协调、有序，从而达到整体最佳功能状态的应用技术。

(2)、研究目标：保证人的身心健康，提高人体素质，使人们高水平工作和生活。

2、什么是人体系统和其组成模型？

答：(1)、人体系统：人体是一个包括在宇宙这个超级系统中的、开放的、复杂的巨系统。

(2)、组成：

①、开放：指人体每日每时通过呼吸、饮食、排泄等与外界环境进行着物质和能量的交换，通过视听、

语言、动作进行着信息的交流。

②、复杂性：表现在各组成部分具有多层次、高级功能、复杂结构且密切相关等特性。

③、巨系统：“巨”是指构成人体系统的器官、组织、细胞及大分子在数量上是巨大的。

3、人体的动态性主要包括哪些内容？

答：人体属于生命运动，不同于物理运动和社会运动，其组织、结构和功能是自然的建立产生，有序的生长演化，而且具有高度的自组织、自调节和自控制机能，所以人体系统工程既关心状态，更关心过程。

4、人体——环境系统是如何定义的？

答：人体与自然环境、社会环境的相互作用，构成了人体系统的开放性，构成了人体-环境系统。

5、影响人体组成的主要因素有哪些？

答：社会环境因素；天体和地理因素；物理因素；化学因素；生物因素；行为因素。

第二讲生物传感器

1、生物传感器的概念、工作原理？

答：(1)、概念：使用固定化的生物分子(immobilized biomolecules)结合换能器，用来侦测生物体内或生物体外的环境化学物质或与之起特异性交互作用后产生响应的一种装置。

(2)、工作原理：通过感受器的分子识别作用，生物传感器中的

生物敏感材料和样品中的待测物质，发生生物化学反应，产生离子、质子、气体、光、热、质量变化等信号。在一定条件下，信号的大小与样品中被测物质的量存在定量关系。这些信号通过换能器转换成电信号或光信号，再经信号处理放大系统处理后，在仪器上显示或记录下来。

2、生物敏感物质的固定化方法及优点？

答：（1）、概念：生物活性物质的固定化技术是指通过物理或化学的方法，将酶、抗体、抗原等生物物质限制在一定的区间内，使其只能在特定的区间进行生化反应，但不妨碍底物的自由扩散的技术。

（2）、方法：夹心法；吸附法；包埋法；交联法；共价结合法；微胶囊法。

（3）、优点：

- ①、生物材料固定化后，热稳定性提高；
- ②、可以重复使用；
- ③、不需要在反应完成后进行生物材料和敏感物质的分离；
- ④、能避免外源微生物对生物敏感物质的污染和降解。

3、生物传感器的特点？

答：（1）、生物传感器由选择性好的主体材料构成的分子一识别元件，因此，一般不需要进行样品的预处理，它利用优异的选择性把样品中被测组分的分离和检测统一为一体。测定时一般不需要另加试剂。

（2）、体积小，可实现连续在位监测。

（3）、响应快、样品用量少，且由于敏感材料是固化的，可以反复多次使用。

（4）、传感器连同测定仪的成本远低于大型的分析仪器，因而便于推广普及。

4、生物传感器的分类？

答：（1）、根据生物传感器中分子识别元件（即敏感元件）可分为五类：酶传感器（enzymesensor），生物传感器（microbialsensor），细胞传感器（organallsensor），组织传感器

(tissuesensor) , 免疫传感器 (immunolsensor) 。显而易见 , 所应用的敏感材料依次为酶、微生物个体、细胞器、动植物组织、抗原和抗体。

(2)、根据生物传感器的换能器 (即信号转换器) 分类 : 生物电极 (bioelectrode) 传感器 , 半导体生物传感器 (semiconductbiosensor) , 光生物传感器 (opticalbiosensor) , 热生物传感器

(calorimetricbiosensor) , 压电晶体生物传感器 (piezoelectricbiosensor) , 换能器依次为电化学电极、半导体、光电转换器、热敏电阻、压电晶体等。

(3)、以被测目标与分子识别元件的相互作用方式进行分类 : 生物亲合型生物传感器 (affinitybiosensor) 。

分类标准	生物传感器中分子识别元件		生物传感器的换能器	
	敏感元件	分子识别部分	信号转换器	信号转换部分 (换能器)
主要类别	酶传感器	酶	生物电级传感器	电化学电极
	微生物传感器	微生物个体	半导体生物传感器	半导体
	免疫传感器	抗体和抗原	光生物传感器	光电转换器
	细胞传感器	细胞器	热生物传感器	热敏电阻
	组织传感器	动、植物组织	压电晶体生物传感器	压电晶体

5

答 : (1)、电化学传感器 : 传感电极通过电化学仪器将化学和物理信号转化为电信号 (电流、电压、电量、阻抗) 。

电化学传感器分类 : ①、电流型化学传感器 ; ②、电位型化学传感器 ; ③、电阻型化学传感器 ;

(2)、光导纤维生物传感器 : 光导纤维生物传感器 (fiber opticalbiosensor) 是近年来随着光导纤维技术的发展而出现的新型传感器 , 具有抗电磁干扰能力强、安全性能高、灵巧轻便、使用方便等特点。

(3)、酶传感器 (enzyme sensor) : 酶传感器的基本原理是用电化学装置检测在酶催化反应过程中产生或消耗的化学物质 , 将其转变为电信号输出。

特点：①、稳定性好，分析精度高。②、分析成本最低。③、品种多，应用范围广，适用于许多生物技术产业过程监控和科学研究。④、分析速度快，不到 20 秒可以获得准确的分析结果，这在临床急救室、某些重症病人的监护等许多场合都很重要。

(4)、生物芯片：生物芯片是生物传感器的阵列和集成化。生物芯片是指包被在硅片、尼龙膜等固相支持物上的高密度的组织、细胞、蛋白质、核酸、糖类以及其它生物组分的微点阵。芯片与标记的样品进行杂交，通过检测杂交信号即可实现对生物样品的分析。

(5)、组织传感器 (tissue sensor)：组织传感器是利用天然动植物组织中酶的催化作用，本质上属于酶传感器。

优点：①、酶存在于天然的动植物组织中，与其他生物分子协同作用，性质非常稳定，制备成的传感器的寿命较长；②、组织细胞中酶处于天然状态和理想环境，可发挥最佳的催化功效，催化效率高；③、生物组织通常有一定的膜结构和机械性，适于直接固定做膜。所以，组织传感器制作简便、价格便宜；④、生物组织可提供丰富的酶源，有利于工作。

(6)、微生物传感器：微生物传感器 (Microbial Sensor) 是把经过培养的细菌细胞 (或固定化细胞) 覆盖于相应的电学元件 (电极或 FET) 表面而构成的生物传感器。

(7)、免疫传感器：免疫传感器是利用抗体和抗原的特效性结合，检测膜上生成抗体和抗原的复合物的电位改变，从而获得不同的响应的装置。

第三讲组织工程学

1、组织工程的概念、基本原理和方法？

答：(1)、概念：应用工程学和生命科学的原理与方法,将在体外培养、扩增的功能相关的活细胞种植于多孔支架上,细胞在支架上增殖、分化,构建生物替代物,然后将之移植到组织病损部位,达到修复、维持或改善损伤组织功能一门科学。

(2)、基本原理：如下图所示：

(3)、方法：只有获得足够量的、具有特定生物学活性的种子细胞，配以合适的生物支架材料，通过特定的构建技术，才有可能在体外制造出具有正常生理结构与功能器官、组织。

2、组织工程研究的主要内容？

答：(1)、细胞体系的研究：

①、种子细胞 (Seed Cell) 干细胞 (Stem Cells) 定向分化 (Directed differentiation)。

②、适于组织工程需要的种子细胞应解决的问题。

(2)、生物材料：

①、细胞外基质 (extracellular matrix, ECM)：ECM 是细胞附着的基本框架和代谢场所，其形态和功能

能直接影响所构成的组织形态和功能。

②、组织工程材料种类：

a、天然 ECM：胶原、脱细胞技术

b、人工的 ECM：聚乳酸、聚羟基乙酸、两者的共聚物 (PGA-PLA)、聚 β -羟基丁酯 (PHB)；聚

乳酸-己内酯的共聚物 (PLC)、聚原酸酯、聚磷本酯、聚酸酐等。

c、天然高分子同合成高分子的复合物

胶原-PCA 的复合物等

d、有机材料同无机材料的复合物：羟基磷灰石-甲壳素的复合物，羟基磷灰石 PLA 的复合物等。

(3)、组织器官的构建：形成具有生命力的活体组织用最少量的组织细胞修复大块组织缺损任意塑形。

3、细胞三维生长的条件？

答：(1)、以经过特定的表面处理的生物可降解材料网络或多孔介质为生长构架，在适当的环境条件(物理的和化学的)进行细胞培养；

(2)、利用空间微重力条件，避免重力沉降，进行三维培养。

4、组织工程支架的要求？

答：(1)、符合生物安全性要求

(2)、合适的可生物降解吸收性

(3)、合适的孔尺寸、高孔隙率和相连的孔形态

(4)、特定的三维外形

(5)、高表面积和合适的表面理化性质

(6)、与植入部位组织力学性能相匹配的结构强度

5、药物控释系统的优缺点？

答：(1)、优点：①、持续释放并保持有效浓度；

②、释放位点特异可控；

③、可保护药物活性；

④、可实现多种因子的递送。

(2)、缺点：体系复杂，控制较难。

第四讲康复工程

1、康复工程的概念、任务和目标？

答：(1)、概念：康复工程是工程学在康复医学领域中的应用。利用工程学的原理和手段，通过对所丧失的功能进行代偿和补偿，来弥补功能缺陷，使患者能最大限度的实现生活自理和回归社会。

(2)、任务：利用一切现代科学技术、提取残疾人体存在的残留控制信息，为他们提供工具，使他们能从事健全人所能做的一切事情。

(3)、目标：充分利用现代科学技术手段克服人类由于意外事故、先天缺陷、疾病、战争和机体老化等因素产生的功能障碍或残疾，使其尽可能最大程度地恢复或代替原有功能，实现最大限度的生活自理、乃至回归社会，以提高人们特别是伤残人士和老年人的生活水平。

2、康复工程的研究方法？

答：(1)、3个理论--控制论、模型论、优化论；

(2)、3个要素--人、机、环境；

(3)、3个阶段--方案决策、研制生产、实际使用；

(4)、3个目标--安全、高效、经济；

3、康复机械的定义及残疾人辅助器械的分类？

答：(1)、定义：将残疾人使用的、特别生产或一般有效地防止、补偿、抵销残损(Impairment, 病损)、残疾(Disability)“失能”或残障(Handicap)的任何产品、器械、设备或技术系统均称为残疾人辅助器具。一般又称为康复器械。

(2)、分类：①. 治疗和训练辅助器具；②. 矫形器和假肢；③. 生活自理及防护辅助器具；④. 个人移动辅助器具；⑤. 家务管理辅助器具；⑥. 家庭及其他场所使用的家具及配件；⑦. 通讯、信息及信号辅助器具；⑧. 产品及物品管理辅助器具；⑨. 环境改善辅助器具和设备、工具及机器；

⑩. 休闲娱乐辅助器具。

4、人体外部功能障碍的种类及康复途径？

答：(1)、种类：

①、运动功能障碍：主要指由于截肢、脑瘫、截瘫、偏瘫、儿麻病引起的肢体活动功能障碍。以及外科手术后引起的运动功能障碍。

②、脑功能障碍：主要指先天性、脑损伤以及老年性脑疾引起的包括学习能力、记忆能力、平衡能力等方面的缺陷。

③、感观功能障碍：主要指视觉、听觉障碍。

④、交流功能障碍：主要指由于先天或后天疾病引起语言能力障碍。

(2)、康复途径：

①、通过一些装置使功能得到部分或全部恢复：例如最常见的视力缺陷(近视、远视、老花)可通过适当选配眼镜得以恢复。

②、通过科学的训练，使功能得到逐步恢复：如骨科术后关节活动能力的恢复，中风后的体疗、理疗使肌肉活动能力得到恢复等。

③、采用专门装置代偿失去的功能：如导盲装置可代偿眼睛辨别障碍物的功能。轮椅代偿截瘫者步行功能，截肢者可以通过安装假肢

实现行走或取物功能等。

④、环境改造与控制例：如对老年行动不便者的居室安装助行的围栏，利用患者尚具有的功能，设计一些人机交互装置用于操纵电灯、电话及其他家用电器等。

⑤、护理设施：利用搬运装置进行重残者的搬移、洗浴、采用装置跟踪健忘者防止失踪等护理设施。

⑥、精神康复：采用一些设施排除不能外出参与社会活动者的孤寂、忧郁等。

5、康复工程新技术的发展趋势？

答：（1）、传统产品与计算机技术相结合，形成机电一体化或人工智能化产品。

（2）、将生物材料技术用于人体康复，形成“人机一体化”产品。

（3）、根据人体功能的可塑性，设计一些装置，促进功能的恢复和再生。

6、神经——肌肉系统康复设备与功能训练器械？

答：神经 - 肌肉系统康复是脑血管意外（CVA）患者和脊髓损伤（SCI）患者康复的重要问题。据广州，上海等六大城市调查结果，脑血管意外的致残率高达 71.3%，且老龄人口居多。脊髓损伤则主要由于事故或自然灾害造成的伤害。随着老龄人口的增加，神经 - 肌肉系统康复问题将越来越突出。

神经 - 肌肉系统的康复设备的目的是为患者提供康复运动的装置，利用和调动神经损伤的自身的修复潜力。

第五讲家庭保健与远程医疗

1、家庭保健工程的概念、目标和服务对象？

答：（1）、概念：家庭保健（Home Health Care, HHC）工程是生物医学工程中专门致力于研究、开发和生产面向家庭的，与个人身心保健相关的各种医用技术和产品的新的分支领域。

（2）、目标：改变以医院为基础的院内临床医疗为主的方式，逐步建立起以家庭为基础的院前预防、急救，院内诊断、治疗，院外监测、康复，及与日常家庭保健相结合的多元化、多层次的现代医疗卫

生保障体系。

(3)、服务对象：①手术后在家中恢复的病人；

②残疾和老年人；

③高发病人群的家庭监护；

④健康人的家庭监护。

2、家庭保健设备的应用方面？

答：(1)、诊断与监护仪器：能够经常检测患者的生理指标，帮助医生及时掌握病情。循环系统功能信息，如心电、血压、心率等；呼吸功能信息，如呼吸曲线、动脉血氧饱和度等；其它的生理信息，如体温、膀胱储尿量等。目前，我国市场上的家用诊断和生理信息监测的设备主要有血压（包括电子血压计）、温度、血氧饱和度、心电图等监测仪。

(2)、家庭保健、治疗、康复、急救设备：家用理疗仪器是 HHCE 中量大面广较容易进入家庭应用的部分，用于家庭经常性的保健和康复治疗。这类设备还包括用于冠心、呼吸功能、慢性肾功能等疾病常见的需要长期护理治疗的慢性病症的家庭专用的医疗设备、简易的康复器械和轻便的急救复苏设备等。在少数病人家里，已经装备了一些类似的仪器，如红外理疗仪、氧气袋等。然而普及面不是很大。主要的原因，一方面是因为这类设备不属于公费医疗的范畴，另外与我国的经济水平及家庭保健意识有关需要患者自己负担。

(3)、家庭患者病理信息的通信与传递系统：这类系统主要包括遥测监护系统，将患者的生理功能检测

系统与通信传递系统一体化，用于将检测到的病人生理信息数据直接从家中送到有医生值班的医疗中心机构，以得到及时的医疗指导。这类系统属于网络系统，涉及到家庭配置、通信网络以及医疗中心工作站。

3、远程医疗的概念、目标和基础？

答：(1)、概念：使用远程通信技术、全息影像技术、新电子技术和计算机多媒体技术发挥大型医学中心医疗技术和设备优势对医疗卫生条件较差的及特殊环境提供远距离医学信息和服务。

远程医疗信息服务

远程教育远程会诊及护理远程诊断

广义远程医疗

(2)、目标：

①、医学信息(数据)的传输速率的提高：随着光纤通信技术、计算机的速度和存储容量、通信方式的演进，医疗信息可走上一条高速、大容量的通道。“信息高速公路”使得远程医疗才能接近目前医院中患者与医生交流的实际环境。

②、虚拟医院(hyper hospital)：虚拟医院是一种基于计算机网络的虚拟现实系统,建立在一个分布的计算机网络上，各节点代表了门诊室、护士室、检验科等，提供了一个友好的人-机-人的界面。

③、对于病人：可以随时在远程以不同身份登录，利用个人的医疗信息记录，还可以设置个人环境。④、对于医生：各专家（包括人工专家）可以协同工作；利用世界上的各种医学数据和新闻；利于评价医疗效果。

(3)、基础：①、多媒体技术：媒体采集；媒体存储；压缩/解压缩；图像处理；用户界面。

②、通信技术：网络接口；网络协议；视频传输；音频传输；静态图像传输；病历档案；

骨干网络。

4、远程医疗的意义和潜在的效益？

答：(1)、意义：①、在一定程度上缓解了我国专家资源、中国人口分布极不平衡的现状。②、缓解了偏远地区的患者转诊比例高、费用昂贵的问题。

(2)、潜在效益：

①人们能够享有更好的医疗保健,特别是偏远地区；

②可降低保健费用(交通、工资、床位费、早诊断早治疗)；

③当地的社区医院可以有较高的收入；

④病人在家中接收远程医疗可减轻许多医院就医时的思想压力

⑤容易建立跨越国界的护理和医疗标准；

⑥医生在会诊中业务水平得以提高；

⑦能提高急救诊治水平等。

5、远程医疗的几个重要的应用领域？

答：（1）、应用于战争前线伤病员的诊治；

（2）、应用于诸如地震等自然灾害时的医疗咨询；

（3）、继续医学教育；

（4）、实时远程医疗咨询及医疗交流；

（5）、交互式外科手术；

（6）、急救远程医疗；

（7）、区域远程家庭保健；

（8）、远程医疗会诊；

（9）、远程医疗国际会议。

第六讲仿生学、机器人

1、仿生学(Bionics)：模仿生物系统的原理以建造技术系统，或者使人造技术系统具有生物系统特征或类似特征的科学。Bion -- 生命单元。ics –工程技术。

2、仿生学的研究方法？

答：（1）、从生物体出发，通过观察、研究它的某种结构和功能，排除一些无关因素并加以简化，提出一个生物模型。

（2）、将有关生物模型的实验资料翻译成数学语言，用数学公式来表示，变成具有普遍意义的数学模型。

（3）、根据数学模型或直接根据生物模型，用各种手段（电子线路、机械结构、化学结构等）制作出可以在工程技术上进行实验的实物模型，再经过反复验证，发展成技术模型，最终制作成技术装置。

整个过程就实现对生物系统的工程模拟。

3、仿生学符号：

4、分子仿生：“分子仿生”即是在分子水平上，对生物体的某一组成，结构单元或功能，用化学的方法进行模拟组装，人为地构造新型的体系，以模仿其生物功能或性质。例如：纳米机器人、生物制药。

5、“机器人三守则”？

答：1950年，美国著名科学幻想小说家阿西莫夫在他的小说《我是机器人》中，提出了有名的“机器人三守则”：

(1)、机器人必须不危害人类，也不允许它眼看人类将受害而袖手旁观；

(2)、机器人必须绝对服从于人类，除非这种服从有害于人类；

(3)、机器人必须保护自身不受伤害，除非为了保护人类或者是人类命令它作出牺牲。

这三条守则，给机器人社会赋以新的伦理性，并使机器人概念通俗化，更易于为人类社会所接受。至今，它仍为机器人研究人员、设计制造厂家和用户提供了十分有意义的指导方针。

6、机器人进化？

答：工业机器人（主要理论是力学和经典控制论）→遥控机器人（主要用于危险性大、环境恶劣的场合）→智能机器人（将人工智能等成果融入机器人系统中）→进化机器人（设计原理侧重于生物运动学、遗传学与进化论等）

7、使用医疗外科机器人的目的？

答：(1)、最大程度地利用现有技术，以提高疾病的诊断和手术治疗的质量。

(2)、拓宽手术治疗的范围，使原来无法进行的手术在新设备新的支持下能够进行。

(3)、拓宽微创手术治疗范围，缩短病人术后恢复时间。

(4)、降低手术中的作用的放射性设备或药品对医患的伤害。

(5)、缩短手术时间，降低医疗成本。

(6)、提高手术的可视化程度，使手术安全性得到提高。

第七讲医用成像技术

1、X线成像的原理？

答：（1）、穿透效应：X 线能够穿透吸收或反射可见光的物质。

（2）、荧光效应：当 X 线被吸收时，可导致某些物质发出荧光，也就是说，发出低能量的辐射（可见光和紫外光）

（3）、感光效应：象光线一样，X 线可以在感光胶片上产生影像，如照相胶卷或 X 线胶片，通过冲洗能够显影。

（4）、电离效应：由于能量较高，X 线能产生离子，也就是说，能使电子从原子逃逸出来形成正离子和负离子。以可控制的方式形成和收集时，这些离子用来测量和控制 X 线成像曝光。

X 线的这些特性应用于医学和工业 X 线摄影、放射治疗和研究。

2、X 线放射防护？

答：我们在使用 X 线时要遵循下列原则：

（1）、时间防护：指尽可能减少在 X 线场内的时间，尽量缩短照射时间；

（2）、距离防护：指 X 线机工作时，应尽可能使工作人员远离 X 线源；

（3）、屏蔽防护：指在 X 线源和人员间放置一种能吸收 X 线的物质，如铅玻璃、混凝土。

3、数字减影血管造影：利用计算机处理数字化的影像信息，通过减影处理，消除骨骼和软组织影像，从而得到清楚血管影像的一种成像技术。

4、数字减影血管造影 DSA 有三种基本方法？

答：时间减影、能量减影、混合减影。

5、DSA 的优点？

答：（1）、图像中没有原来的骨与软组织影，使血管显示清楚。（祛除伪影）

（2）、减少了造影剂浓度与用量，减少了造影剂的并发症。（减少剂量和并发症）

（3）、运用图像处理技术进行造影后处理，提高了图像质量与增强了更多信息。（提高质量）

（

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/608015136017007047>