

·学科进展与展望·

生物医学工程： 一个发展迅速值得关注的交叉学科

——生物力学、组织工程学、生物材料与人工器官

李恩中 曹河圻 杜生明

(国家自然科学基金委员会生命科学部,北京 100085)

生物医学工程学(Biomedical Engineering, BME)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。涉及科学领域广泛,除生物学、医学外,还有电子学、微电子学、现代计算机技术、化学、高分子化学、力学、近代物理学、光学、放射学、精密机械和近代高技术,并在不断发展扩大,是各国争相大力发展的高技术之一。

近年来,生物医学工程学的发展非常迅速,其主要分支学科如生物力学,组织工程学,生物材料,人工器官,仿生学,生物医学信号提取、传感、处理、建模,生物医学图像与医学影像学等的发展更是日新月异。

1 生物力学

生物力学是研究与生物体有关的力学问题,其主要内容是利用力学的基本原理,结合生理学、医学和生物学来研究生物体,特别是人体的功能、生长、消亡及运动的规律。生物力学的研究主题可以概括为以下三方面:生物结构与功能的关系;生物体的调节与控制机制;生物的应力-生长关系。

目前,生物力学学科基础涉及生物学、医学、农学、力学、物理学、化学和数学等多个学科;研究内容包括从整体、系统、器官到组织、细胞、分子的各个层次;研究方法和技术涉及理论模型、数值计算、离体实验、临床验证等。生物力学与生命科学其他学科的交叉、融合,已成为当今生命科学的研究热点。

从生物力学的自身发展及相关交叉学科的进展上看,当前生物力学发展的前沿领域可归纳为:

(1) 细胞-分子力学与工程;(2) 器官-组织力学与工程;(3) 骨骼-肌肉-关节力学与工程;(4) 生物力学新概念、新技术与新方法。因此,根据生物力学的发展趋势,应从生命科学中提取新的科学问题,发展或采纳新的概念、方法及技术加以解决,从而不断开拓生物力学的范畴。应进一步加强与生物医学的结合,密切与其他有关学科的联系,尽快调整好研究方向。在基础研究层面上,现代生物力学将与生物物理学、生物数学、生物信息学、生物化学等紧密结合,重点研究生物学的定量化和精确化问题;在应用研究层面上,组织工程、药物运输、血流动力学等正在或已经得到临床或工业界的认同,其核心是解决关键技术问题。

我国的生物力学研究始于上世纪70年代末,80年代以来,一批资深的力学、物理学、医学、生物学工作者逐渐加入到生物力学研究行列中,通过加强与国外学者的学术交流,建立了我国早期生物力学基地(武汉、重庆、北京等),并逐步在相关大学、科研机构陆续建立了生物力学研究团队。近十余年来,我国生物力学发展取得了长足的进步。研究内容主要是细胞分子力学、硬/软组织力学(骨、肌肉、血管、口腔等)、组织工程、血液动力学、流变学等,几乎涵盖了国际上生物力学的主要前沿研究方向。从研究对象的尺度的发展趋势来看,微观尺度上(即细胞-分子力学)的工作开始增多。在这一发展过程中,宏-微观结合的趋势也较为明显,如骨、生物流变学、组织工程等研究必须在多尺度上予以综合考虑。

2 组织工程学

组织器官的缺损或功能障碍是人类健康所面临

本文于2005年11月23日收到。

的主要危害之一,也是引起人类疾病死亡的最主要原因。传统治疗方案所采用的组织器官移植是自体组织、异体组织或人工合成的组织代用品。由于上述移植供体来源有限、破坏正常组织、存在免疫排斥反应和生物相容性问题等缺陷,限制了临床应用。组织工程学是结合工程学与生命科学的基本理论和基本技术方法,通过种子细胞培养和生物材料研制,在体外构建一个有生物活性的种植体,并植入体内进行组织缺损修复和替代器官功能,或者作为一种体外人工装置,暂时替代器官功能,达到提高生存质量、延长生命活动的目的。其核心是建立细胞与生物材料的三维空间复合体,对病损组织进行形态、结构和功能的重建并达到永久性替代;其基本原理和方法是将体外培养扩增的正常组织细胞,吸附于一种生物相容性良好并可被机体吸收的生物材料上形成复合物,将细胞-生物材料复合物植入机体组织、器官的病损部分,细胞在生物材料逐渐被机体降解吸收的过程中形成新的在形态和功能方面与相应器官、组织相一致的组织,从而达到修复创伤和重建功能的目的。而生物相容性好、可被人体降解吸收的组织工程支架材料为细胞提供生存空间,使细胞获得足够的营养物质,进行气体交换,并使细胞按预制形态的三维支架生长。在细胞和生物材料的复合体植入机体病损部位后,生物支架被降解吸收,但种植的细胞继续增殖繁殖,形成新的具有原来特殊功能和形态的相应组织器官。目前组织工程学已成为集生物工程、细胞生物学、生物材料、生物化学、生物力学以及临床医学为一体的交叉学科,它不仅具有广泛的临床应用价值,而且蕴藏着巨大的经济效益,受到各国科学家、政府、企业界的极大重视;通过近20年时间的不断发展,在部分领域已经取得了重大的突破并发展为产业。如在组织工程骨、软骨、肌腱、角膜、皮肤以及管道系统如血管、气管等方面进展很快,部分已形成产品并应用于临床^[1];但是,在神经系统尤其是中枢神经系统以及内脏器官方面,组织工程学研究则遇到了很大的挑战,一些关键技术及基础研究仍有待于突破。

内脏器官损伤和功能障碍的治疗修复是全人类共同关心的问题,已成为生命科学与工程科学研究的热点之一。近年来,随着组织工程研究的不断深入,人体内脏器官再造研究已经受到广泛关注。如心脏、肝脏、肾脏、胰腺等。与简单结构性组织不同的是,内脏器官多为代谢性器官,而且其组织必须达到足够大的体积才具有功能,因此对血液供应有很

高的要求。必须有相应的结构保证足够的氧气、营养物的供应与代谢产物的排泄。以肝组织为例,其主要的结构特点就是多血管的微阵列。此外,内脏器官的细胞组成和空间构型也更加复杂,还有细胞生长所需微环境的复杂性。即由细胞、支架材料、生长因子在空间和时间上的分布与排列所形成,包括支架材料的表面性质、微孔隙结构、微应力、微流场、细胞间作用、生长因子的浓度等等,是一个动态变化的分布。鉴于人体内脏器官组成结构及功能的复杂性,越来越多的研究表明:人体组织器官再造的研究如果要实现从结构性组织向复杂器官的跨越,必须探索新的科学问题,建立新的技术平台,提出新的解决方案;更需要在更大的范围内,进行多学科交叉与融合,特别是生命科学、材料科学与现代制造科学的交叉。当组织工程发展至今要构建复杂器官时,细胞与材料的简单复合已远远不能满足需要。人们开始寻求利用信息技术、微制造技术、微流体技术等新的科学技术手段来实现器官再造工程。然而,从结构类人体组织(皮肤、软骨、骨、肌腱、血管、气管等)组织工程研究向内脏器官(肝脏、心脏和胰腺等)组织工程研究方向发展,后者的复杂程度远远超过前者,它涵盖了种子细胞源的生物学挑战和众多的工程挑战。目前西方发达国家如美国、加拿大、欧洲和日本等已将内脏器官的组织工程作为高科技领域发展的中、长期主攻方向。

我国在组织工程研究方面已经具有良好的基础,国家“973”、“863”以及自然科学基金项目对组织工程研究均给予了支持。其中,自1997年以来,仅自然科学基金委生命科学部就受理了有关组织工程方面的项目768项,资助项目113项,资助金额达1509万元。此外,对于神经系统的组织工程研究也给予了支持,培养和锻炼了一批高素质科研人员队伍,取得了一系列科研成果。

3 生物材料

生物材料是用来对于生物体进行诊断、治疗、修复或替换其病损组织、器官或增进其功能的新型高技术材料。随着生物技术的蓬勃发展和重大突破,生物材料已成为各国科学家竞相研究和开发的热点。当代生物材料的发展不仅强调自身理化性能和生物安全性、可靠性的改善,更强调赋予其生物结构和生物功能,以使其在体内调动并发挥机体自我修复和完善的能力,重建或修复受损的人体组织或器官。目前,生物纳米材料的研究热点主要是药物控

释材料及基因治疗载体材料,纳米量子点,纳米支架材料,纳米薄膜以及纳米表面修饰等。药物控释是指药物通过生物材料以恒定速度、靶向定位或智能释放的过程。基因治疗是导入正常基因于特定的细胞(癌细胞)中,对缺损或致病的基因进行修复;或者导入能够表达出具有治疗癌症功能的蛋白质基因,或导入能阻止体内致病基因合成蛋白质的基因片段来阻止致病基因发生作用,从而达到治疗的目的。基因疗法的关键是导入基因的载体,只有借助载体,正常基因才能进入细胞核内。高分子纳米材料和脂质体是基因治疗的理想载体,它具有承载容量大,安全性能高的特点。量子点由于其三个维度的尺寸都在100纳米以下,外观恰似一极小的点状物,故称为纳米量子点。纳米量子点材料在生物荧光标志方面有着广泛而优良的应用前景,所具有的激发谱宽,发射谱窄的优点,弥补了传统有机染料荧光剂激发谱窄而发射谱宽化的问题,同时纳米量子点还具有光致退色时间长的优点。纳米薄膜以及纳米表面修饰均属于纳米颗粒表面工程。纳米薄膜是指尺寸全部在纳米量级的晶粒(或颗粒)构成的薄膜,或将纳米晶粒镶嵌于某种薄膜中构成的复合膜,以及每层厚度在纳米量级的多层薄膜。纳米表面修饰则常通过有机分子对纳米粒子进行表面化学修饰,可有效地防止粒子团聚,增加其稳定性和分散性,从而满足各种实际应用的需要。目前,纳米薄膜以及纳米表面修饰在生物传感器、医用材料改性等方面越来越受到关注。如纳米药物制剂中,普通的纳米粒容易被单核细胞吞噬系统和网状内皮系统吞噬,体内半衰期较短。纳米粒可以对多糖表面进行修饰,多糖具有多种活性基团,通过共价键结合的大分子具有许多独特的理化特性(如网状结构,双亲性)、良好的生物相容性和生物降解性,所形成的纳米粒或者胶束具有很好的稳定性,并且能产生很好的靶向性。近来新合成的树枝状高分子材料作为基因导入的载体亦值得关注。血液净化材料是采用滤过、沉淀或吸附的原理,将体内内源性或外源性致病物质高选择性地去除,从而达到治疗的目的。尿毒症、药物中毒、免疫性疾病、高脂血症等都可采用血液净化疗法。血液净化的核心就是滤膜、吸附剂等生物材料。血液净化材料的研究和临床应用在欧洲和日本已成为生物材料发展的热点。我国在这一研究领域亦具有一定实力,研究水平居于世界前列,但在临床应用方面有待于进一步加强。复合生物材料作为硬组织修复材料的主体受到广泛重视,它具有强度高、韧性

好等特点,目前已广泛应用于临床。通过具有不同性能材料的复合,可以达到“取长补短”的效果,可以有效解决材料的强度、韧性及生物相容性问题,是生物材料新品种开发的有效手段。提高复合材料界面之间的相容性亦是复合材料研究的重要课题。根据使用方式不同,研究较多的是:合金、碳纤维/高分子材料、无机材料(生物陶瓷、生物活性玻璃)、高分子材料的复合。生物相容性包括血液相容性和组织相容性,是生物材料应用的基本要求。除了设计、制备性能优异的新材料外,通过对传统材料进行表面化学处理、表面物理改性和生物改性亦是有效的途径。材料表面改性依然是生物材料研究的永久性课题。

我国的生物材料研究有很好的基础,从1994年以来,自然科学基金委生命科学部对生物材料给予了连续的支持。十多年间,资助108项,总金额为2084万元。我国生物材料研究在材料复合、血液净化、生物相容性与表面改性等方面均取得了一定成果。四川大学国家生物医学材料工程技术研究中心已研发成功了骨诱导人工骨。这种通过材料自身的优化设计,具有骨形成作用的新型人工骨,而不是外加骨生长因子或培养活体骨组织细胞,用于临床疗效良好,为千百万骨患者带去了福音。这是我国在生物医学材料研究上取得的一项重大突破。近几年来,我国在生物医学材料方面取得了突飞猛进的进步,新成果、新材料层出不穷,国际地位迅速提升,并先后赢得了2005年第8次国际组织工程大会,2006年第19次国际生物陶瓷大会和2012年第9次世界生物材料大会的主办权。一系列国家项目的实施是我国生物材料研究开发水平大幅度提升的重要原因。科研项目的成功实施,凝聚了我国一大批生物材料科学家的心血,对产业的发展产生了效应。如发现并提出了“无生命的钙磷生物材料可以诱导骨形成”,建立了原创性的生物材料骨诱导理论;提出维护血液凝血系统核心蛋白构象不变的生物材料抗凝血学说,为解决心血管系统修复材料的抗凝血问题提出了新思路;成功装配出纳米羟基磷灰石——胶原仿骨结构;研究出转染率达国际先进水平的一系列用于肿瘤治疗的基因靶向控释载体,以及用于高血脂、类风湿病毒消除的新型血液吸附剂,并向国外转让了专利技术。

4 人工器官

人工器官(artificial organs)是用人工材料制成能部分或全部代替人体自然器官功能的机械装置。

近年来,人工器官在挽救危重病人、为脏器移植争取时间方面起到了越来越重要的作用。目前,除人脑外,几乎人体各个器官都在进行人工仿真研制,其中已有不少人工制造的器官如人工关节、人工喉、人工耳蜗、人工瓣膜、人工角膜、人工皮肤等成功地用于临床,修复了不少病损器官功能。另外,一些更为复杂的内脏器官如人工心、人工肺、人工肝、人工肾等亦用于临床,可在一定的时间内代替病损器官,使得患者度过危险期。一般来说,人工器官只能在期限不等的时间内暂时替代病损器官,通常是在手术期间。近来随着科学技术的进步,一些植入性人工器官在体内最长可达数年。自然科学基金委自1989年起,受理该类项目254项,资助58项,资助金额为1038万元。资助内容包括,人工肝及其支持系统、人工心脏瓣膜表面改性、电子耳蜗、人工肺、人工关节、人工血管、人造涎腺、人工肾、人造膀胱等。下面我们主要就四种复杂的人工器官:人工心脏与瓣膜、人工肺、人工肝与人工肾进行讨论。

人工心脏主要用于帮助准备移植心脏的患者度过等待期,帮助严重心衰的患者度过危险期至心脏功能恢复,完全或部分替代患者心脏的泵血功能,达到终生治疗。人工心脏有全心人工心脏(TAH)和部分人工心脏之分。前者可以替代病人的心脏;后者用于帮助病人的心脏“泵”血,常被称为人工心室辅助装置(VAD)。如今,部分人工心脏技术已趋成熟。无论短期性还是长期性的部分人工心脏都趋向微型化、智能化和人性化。可以说,人工心脏是21世纪治疗心衰的主要手段。我国开展人工心脏研制工作虽有一、二十年的历史,国家自然科学基金也曾经给予一定的资助,但总体来说资助强度不足,研究成果距离临床应用的要求较远。个别医院如同济大学附属东方医院等单位引进国外技术设备,已有成功病例报道。但此类进口医疗产品价格高昂,短期性泵约10—15万元,长期性泵约50—100万元甚至更高,置入后支持期间所发生的费用也很昂贵,再加上人工心脏新概念还没有被全社会接纳,限制了此项技术在我国的应用。

在人工心脏瓣膜研究方面,国家自然科学基金也给予了相应的支持,并取得了很好的成果,包括我国第三代全热解碳双叶型人工心脏瓣膜的研制、心脏瓣膜的表面改性等。人工心脏瓣膜主要分为两大类。一是机械瓣,二是生物瓣。前者是采用高级合成材料制成的,而后者是同时采用人工合成的高级材料和经过复杂化学处理的生物组织膜而制成。机

械瓣的优点是耐久性好,缺点是需终生抗凝,血栓栓塞率较生物瓣高。生物瓣的优点是术后不必终生抗凝,血栓栓塞率较低,缺点是耐久性不如机械瓣,瓣膜的寿命约在十年左右,如损坏则需第二次换瓣。此外,人工心脏瓣膜有球型、碟型、双叶型三代之分。在过去的几十年里,人工心脏瓣膜尽管拯救了数百万人的生命,但其设计仍有缺陷。机械瓣膜置换术后抗凝血性能不足是目前国际上急需解决的难题之一,世界上先进的St. Jude全热解碳双叶型人工心脏瓣膜也存在这一问题。通过表面改性的手段改善人工瓣膜的血液相容性并抑制细菌的粘附和生长,成为迫切需要解决的问题,西南交通大学等在该方面做出了很好的成绩,实现了对形状复杂的人工心脏瓣膜的均匀表面改性,动物实验在不抗凝条件下改性瓣膜表面基本无血栓形成。

人工肺是一种具有血气交换功能的人工脏器,可暂时替代肺的气体交换功能,因此,主要用于心胸手术的体外循环和呼吸功能衰竭病人的呼吸辅助。由于接触式人工肺血液与氧气直接接触,容易产生气栓和血栓,不够安全而少用。非接触式人工肺由于血液和氧气之间用透气性优良的高分子膜隔开,氧气可以透过膜与血液氧合,因而称为膜式人工肺,简称膜肺。由于血液与氧气不直接接触,因此该人工肺安全,对血液的损伤小。目前心胸手术中基本都使用膜肺。膜肺又分为平膜式和中空纤维式,中空纤维式膜肺已成为当今膜肺的主流。人工肺在心胸手术中可以短时间地(1—3小时)取代人肺的功能;而在呼吸功能衰竭病人的呼吸辅助方面,则有体外膜肺(ECMO)支持和植入式人工肺如血管内置式人工肺(IVOX)两种方式。体外膜肺主要用于新生儿的急性肺功能衰竭救护,可获得90%的生存率。植入式人工肺可以植入体内,需要比体外膜肺有更长的使用时间,通常作为肺衰竭病人在肺移植前的一种过渡措施。据报道IVOX的植入时间可以达到29天,能提供成人所需氧气的一半。随着膜肺气体交换理论的迅速发展,通过计算可优化膜式人工肺的结构设计,又能预测手术过程中人工肺中的血流和氧合状况。对于血管内置式人工肺,通过模型计算,可以根据静脉尺度的不同和循环参数的差异,进行中空纤维长度、数目和编织方式的设计。人工肺是一项较长时间的非生理状态体外循环支持技术,对机体的影响很大,所以目前国内外只有大的医疗中心可开展此项技术。国内的心脏手术中已大量应用中空纤维膜式人工肺,以进口膜肺为主。近年来,

西安引进技术生产的膜肺和复旦生物材料公司自主开发的膜肺已相继进入市场。2003年8月,西安交通大学第一医院运用自行研制的膜肺,双侧股动脉一股静脉无泵驱动体外循环代替动物肺的功能均获成功。

人工肝又称生物人工肝或者人工肝支持系统,它借助体外机械、化学或生物性装置,暂时部分替代肝脏功能。近年来,人工肝技术在国内外得到迅速发展和广泛应用,已成为重症肝炎、肝衰竭及其他一些疾病最重要的治疗方法。人工肝的关键是获取理想的肝细胞材料,而培养的肝细胞必须达到两个标准:一是具有肝特异性功能,肝细胞分化程度要求较高,其来源可为原代肝细胞和高度分化的肝肿瘤细胞系,如来源于肝母细胞瘤、分化良好的C3A细胞系;二是满足患者的需求,要求肝细胞达到一定的数量。随着细胞培养和细胞工程技术的发展,一些大规模的细胞培养工程技术被引入了人工肝的研究领域。目前,对中空纤维肝细胞生物反应器研究较多,应用效果也最好,初步临床应用也获得了激动人心的结果,已有6例患者在使用这种组合性人工肝功能辅助治疗后得到恢复。国内在人工肝研究方面亦取得了很好的成绩,如浙江大学医学院李兰娟课题组在非生物人工肝技术取得成功的基础上,对生物人工肝细胞源和混合型人工肝进行深入研究并建立了我国第一个永生化人源性肝细胞系,为人肝细胞在体外长期培养和功能维持拓展了广阔的空间^[2]。在应用方面,目前全国各大中城市的近700家单位已经开展了人工肝及相关治疗,每年进行各种人工肝操作一万余人次,我国人工肝技术无论是在治疗人数还是在普及程度上均已达到了国际前沿水平。广东等地有些单位应用多种组合混合人工肝治疗重型肝炎,治愈好转率优于相应的非生物人工肝,说明结合非生物人工肝和生物人工肝技术的混合人工肝是今后人工肝发展的方向。

人工肾即为人工透析治疗的设备。常用于治疗急、慢性肾功能衰竭、药物中毒、某些酶缺乏症和免疫性疾病、水肿、电解质平衡紊乱、尿毒症等。制造高效微型适用的人工肾,关键在于研制出高选择性半透膜。目前研制的制膜材料有很多种,主要是人工合成的高分子化合物,如最常用的聚丙烯腈硅橡胶。另外,半透膜的形式也可制成很多种样式,如制成膜、制成空纤维状等。这些膜在显微镜下观察,上面布满了微孔,孔的直径只有 2×10^{-9} — 3×10^{-6} m。目前,人工肾研究已进入了第四代。人工肾体积从

第一代约有一间房屋大小到第四代变成了可植入人体的小装置。近年来,美国研究人员最近利用纳米技术,制造出功能性人工肾。这种装置就像人体内真肾的过滤结构一样,可每天工作12小时,比一个星期进行3次传统透析提供的透析率更高。此外,美国密歇根大学医学院发明了一种生物人工肾。目前,关于该生物人工肾的首次人体试验取得了令人振奋的结果。该生物人工肾比标准透析系统多了一项名为肾小管辅助装置,其内含有约109个人体近曲小管细胞,因而不但可重吸收在传统透析中丢失的葡萄糖、电解质、盐和水,而且可以调节粒细胞集落刺激因子(G-CSF)、白细胞介素6(IL-6)和L-10等细胞因子的水平^[3]。在首次人体试验中,10例伴有多器官功能衰竭的急性肾衰患者接受了生物人工肾治疗。这10例患者的预计住院期间死亡率为86%,但在接受生物人工肾治疗后,6例患者生存了30天以上,其余4例患者分别死于家属放弃治疗(1例)和与该治疗无关的急慢性合并症。国内人工肾或血液透析机研究方面起步较晚,设备基本上是靠进口。近年来,在国家基金的支持下,国内有少数单位对人工肾进行了研究,如暨南大学尹良红课题组成功的研制出血液透析机并形成了产品,现已远销东南亚。另外,重庆等地有些单位也进行了相关研究。

5 问题与建议

近年来随着生物医学工程的迅速发展,很多科学问题越来越值得关注。生物力学研究在80—90年代主要集中在硬/软组织力学、血流动力学与血液流变学等领域,而2000年后主要在细胞-分子生物力学以及组织工程等领域,符合世界生物力学发展规律。近年来,由于生物力学研究范围涉及器官、组织、细胞、亚细胞及分子等各个层次上的生命运动,尤其是细胞-分子水平的生命活动,更应该密切关注宏-微观结合的趋势。此外,加强与组织工程、生物材料的交叉和融合,包括发展自组装技术实现生物纳米结构的制备,关注生物材料的力-电-磁耦合场行为与化学力之间的关系等。随着组织工程研究进展,内脏器官再造研究日趋重要。如何解决内脏器官的细胞组成、空间构型及其微环境等复杂科学问题,包括支架材料的表面性质、微孔隙结构、微应力、微流场、细胞间作用、生长因子的浓度等等,涵盖了众多生物学及工程学的挑战。建议在更大的范围内,进行多学科尤其是生命科学、材料科学与现代制

造科学的交叉与融合,利用信息技术、微制造技术、微流体技术等新的科学技术手段来实现器官再造工程。生物材料的发展已进入第三代生物材料时代。第三代生物材料以同时具备生物相容性和生物降解性为基本特征。如何完成生物活性、组织诱导再生,以及同步生物降解等诸多深层次的科学问题,不但需要材料学者通过材料的选择和改性来解决,更需要与生物技术、生命科学以及生物材料学界的科学家共同探讨和协调。人工器官目前仍是暂时代替身体某些器官主要功能的人工装置,而且只能模拟被替代器官1—2种维持生命所必需的最重要功能,尚不具备原生物器官的一切天赋功用和生命现象。但是,它拓宽了疾病治疗的途径,增加了病人获救的机会,已经并仍在继续使越来越多的患者受益。随着

技术的发展,人工器官除要求其功能尽可能接近人体器官的功能外,还要体积小、能佩戴甚至能体内植入。建议通过多学科交叉,探讨解决关键科学问题,满足上述人工器官的需要。

参 考 文 献

- [1] 曹谊林. 组织工程的基本科学问题. 生命科学, 2005, 17(2): 106—111.
- [2] 李君, 李兰娟, 曹红翠等. SV40LT 抗原介导的人源性肝细胞系的构建. 中华传染病杂志, 2004, 22(3): 149—153.
- [3] Humes HD, Weitzel WF, Bartlett RH et al. Initial clinical results of the bioartificial kidney containing human cells in ICU patients with acute renal failure. *Kidney Int*, 2004; 66: 1578—1588.

BIOMEDICAL ENGINEERING — A FAST DEVELOPING AND NOTICEABLE DISCIPLINE BIOMECHANICS, TISSUE ENGINEERING, BIOMATERIALS AND ARTIFICIAL ORGANS

Li Enzhong Cao Heqi Du Shengming
(Department of life sciences, NSFC, Beijing 100085)

Abstract Biomedical Engineering(BME) is a multidisciplinary combining knowledge. It combines engineering with the theories and methods of biological and medical sciences, to study the structure, function, state and change of life; to create new materials, new instruments and devices, and also to develop new technology, for the purpose of preventing from and controlling diseases, protecting the public health and improving medicine. Beside biology and medicine, it covers the scientific field of electronics, microelectronics, modern computer science, chemistry, macromolecule chemistry, mechanics, neoteric physics, optics, radiology, exact instruments and neoteric high technology, its field becomes extensive, and still develops and spreads. It is the one of the high technologies all countries strive for developing. In this part we mainly discuss about biomechanics, tissue engineering, biomaterials and artificial organs.

Key words Biomedical Engineering, biomechanics, tissue engineering, biomaterials and artificial organs