评述

军事医学科学院卫生装备及其关键技术的研究进展与发展展望

徐新喜, 孙景工*, 吴太虎, 张西正, 田丰, 朱孟府, 杨荆泉, 盛以龙, 石梅生

军事医学科学院卫生装备研究所, 天津 300161

* 联系人, E-mail: sunjg@vip.sina.com

收稿日期: 2011-07-18; 接受日期: 2011-08-25

doi: 10.1360/052011-579

摘要 卫生装备及其关键技术研究主要开展卫生防护防疫技术与装备和生物医学工程研究. 本文介绍了军事医学科学院在机动医疗平台技术与装备、急救器材与包装工程、血/液/氧保障技术与装备、生物侦检防护技术与装备、生物医学材料与装备、生物力学与组织工程、医用电子技术与装备等领域的研究进展, 并展望了卫生装备及其关键技术研究未来的发展前景.

关键词

卫生装备
关键技术

卫生装备是实施伤病员急救、治疗、运送、防疫、防护及医技保障等设备器材、运送工具和救治平台的统称. 卫生装备研究主要开展卫生防护防疫技术与装备和生物医学工程研究. 建院 60 年来, 军事医学科学院在卫生装备系统集成、机动医疗平台技术与装备、急救器材与包装工程、血/液/氧保障技术与装备、生物侦检防护技术与装备、生物医学材料与装备、生物力学与组织工程、医用电子技术与装备等研究领域形成了较强创新能力, 以野外快速部署医院、伤病员立体后送工具、生物安全防护装备、血/液/氧保障装备为代表的一大批成果实现转化, 在国家反恐怖演习、联合国维和、应急医疗救援等重大活动中发挥了重要作用. 建有国家生物防护装备工程技术研究中心, 拥有生物医学工程博士学位授权一级学科、卫生防护防疫技术与装备博士学位授权二级学科; 先后获国家科技进步二等奖 2 项, 省部级科技进步一等奖 4 项、二等奖 24 项, 获专利授权 160 项(其中发明专利 47 项); 近五年来, 公开发表学术论文 450 余篇(其

中 SCI/EI 收录 48 篇), 出版专著 8 部; 累计培养博士研究生 41 名、硕士研究生 79 名.

1 卫生防护防疫技术与装备研究

1.1 机动医疗平台技术与装备研究

主要研究满足应急医疗和卫生防护防疫需要的系列卫生技术车辆、方舱医院、帐篷医疗系统等装备, 在机动医疗平台系统设计、人机系统结构动力学仿真与优化、伤病员振动控制、舱室微环境质量控制、装备故障在线监测与诊断等技术领域形成了特色优势. 自主研发的系列卫生技术车辆和野外方舱医院达到国际同类装备先进水平, 填补了国内空白.

深入研究了人机系统结构动力学特性和伤病员振动控制、舱室微环境质量控制措施, 有效提高了机动医疗平台人机环境系统的综合效能: 一是系统分析了机动医疗平台在不同工作状态下载荷作用引起的结构变形及破坏规律^[1], 开展了机械振动对坐姿/

引用格式: 徐新喜, 孙景工, 吴太虎, 等. 军事医学科学院卫生装备及其关键技术的研究进展与发展展望. 中国科学: 生命科学, 2011, 41: 856-864, doi: 10.1360/052011-579

卧姿人体舒适性、工效性影响的理论与实验研究^[2],进行了车载担架台及医疗设备减振性能的仿真模拟与优化设计^[3],提出并实现了车厢整体减振、医疗设备二次减振以及担架台零刚度减振、阻尼减振、两级钢丝绳组合减振和电磁流变减振等技术措施^[4,5],有效控制了振动传递对人体和设备的影响,提高了伤病员运送途中的乘卧舒适性和医疗设备的工作可靠性(图 1);二是研究了机动医疗平台舱室密封技术、过滤净化超压与负压防护技术^[6]、温度湿度与照度噪声控制技术以及气流运动与污染物扩散控制技术(图 2)^[7-9],提出了舱室物理环境、化学环境、生物环境质量控制的具体措施,建立了舱室微环境质量测试评价与预测分析的技术方法与指标体系,制定了相应的国家军用标准^[10],规范了舱室微环境的质量要求与评价方法。

2002 年,经联合国维和署考核、筛选,伤病员急救车和卫生防疫车正式配备联合国维和医疗队,标

图 1 担架台阻尼减振卧姿人体振动加速度功率谱密度

图 2 负压防护车厢内某时刻生物污染物分布

志着中国自主研发的卫生装备走出国门、迈向了世界(图 3)。2008 年 5 月,四川汶川发生特大地震后,野外方舱医院在绵竹、绵阳重灾区实施紧急医学救援(图 4),共救治伤员 35832 人,占灾区伤员总数的 9.7%,开展手术 1414 例(其中危重手术 256 例);2010 年 4 月,青海玉树发生 7.1 级地震后,野外方舱医院再次发挥了重大作用。

1.2 急救器材与包装工程研究

主要研究满足伤病员止血、包扎、固定、通气、搬运等需求的急救器材、包装材料及箱仪一体化装备,在载药控释、防黏连水凝胶、纳米管增强聚烯烃复合材料、滚塑成型工艺、缓冲包装结构优化设计等技术领域形成了特色优势。自主研发的急救器材和包装材料达到国际同类装备水平,处于国内领先地位。

根据现场紧急救治需求和创伤救治特点,从装备材料角度分别研究了复乳化溶剂挥发法聚羟基丁酸酯可降解控释载药微球制备体系^[11]、壳聚糖-海

图 3 卫生防疫车在执行维和任务

图 4 野外方舱医院在地震灾区救治伤病员

藻酸盐聚电解质复合膜和海藻酸盐及聚丙烯酸酯防黏连水凝胶组成及特性^[12,13]、相分离法诱导聚烯烃材料微孔形成的机理及调控、原位化学气相沉积法 CNTs/Al 复合粉末制备^[14~16]、线性低密度聚乙烯/尼龙 6 合金制备等关键技术(图 5), 掌握了羟基丁酸酯载药微球形貌结构、体外释放特性调控技术, 聚电解质复合膜强度、透气、止血、细胞黏附等性能协同关系, 制备工艺对水凝胶理化性能和蛋白质通透性的影响, 微孔形成的热力学动力学机制及 CNTs/Al 复合粉末合成方法. 开展了包装缓冲动力学数值分析及结构设计与优化^[17,18], 研制了灾害救援现场系列急救敷料、止血固定器材、复苏器材、盒囊装备、伤病员抢运工具、模块化医疗箱组等装备, 广泛应用于各级医疗机构和应急医疗救援活动(图 6); 其中医疗箱组、急救背囊和系列担架被联合国维和部队采购使用, 发挥了良好作用(图 7).

1.3 血/液/氧保障技术与装备研究

主要研究满足血/液/氧保障需要的血液/疫苗/药品储运装备、医用氧气制供装备和医药用水制取装备, 在高效制冷、温度精确控制、分子筛变压吸附制氧、电去离子高纯水制取、功能吸附材料及新型膜分离水处理等技术领域形成了特色优势. 自主研发的血液储

图 5 原位合成碳纳米管的 TEM

图 6 急救背囊在地震灾区救治伤病员

图 7 医疗箱组参加国际维和

运装备和高原高效制氧装备处于国内领先地位, 高纯水制取设备主要性能达到国际先进水平, 产水水质达到美国药典标准; 发明的反渗透医药用纯净水生产工艺被《药剂学》、《膜分离技术基础》和《工业水处理技术》等高等院校教材收录.

系统研究了血/液/氧保障装备的关键技术. 一是深入研究了血液储运装备箱体成型及保温、半导体制冷与微型压缩机变频制冷、高精度温度控制、血液冷链信息监控与预警^[19]等技术, 有效提高了血液储运装备的制冷和隔热保温效果以及血液安全性. 二是系统进行了荷电微孔滤膜结构及其对细菌、病毒吸附性能影响的研究^[20,21], 有效控制了复杂环境条件下药液的质量; 进行了电去离子深度脱盐原理及制药用水制备工艺的研究^[22~24], 可直接利用天然水源制备“纯化水”(图 8). 三是系统研究了分子筛变压吸附多塔制氧工艺流程及其控制方法、吸附床吸附机理与结构设计^[25,26], 在国内率先研制出六塔高效制氧机, 开展了高原高寒条件对制氧工艺的影响与实验研究(图 9), 掌握了不同海拔高度的制氧工艺流程及设计参数; 建立了水质及氧气分析检测方法和指标体系,

制定了相应的国家行业标准及军用标准^[27,28].

低温储运血箱、野外折叠冰箱被国家应急医疗救援单位和联合国维和部队采购使用; 系列制氧机在各级医疗机构普遍推广, 且批量用于高原地区氧站建设; 医用气体方舱、制氧挂车等装备在汶川和玉树地震救援中发挥了特殊作用(图 10), 高纯水设备在医药、电子、生物等领域得到广泛应用(图 11).

图 8 EDI 产水水质长期评价图

图 9 制氧设备在海拔 5000 m 运行结果

图 10 制氧挂车在玉树地震救援中使用

图 11 电去离子高纯水设备

1.4 生物侦检防护技术与装备研究

主要研究满足生物气溶胶报警、采样、检测、防护与洗消需要的快速侦检装备、安全防护装备、高效洗消装备和杀菌过滤材料, 在激光激发生物荧光判别、气溶胶粒子粒径在线分离、可变表层多元荧光编码与检测、样本核酸快速提取与纯化、正/负压生成、高效过滤材料、二氧化氯消毒等技术领域形成了自身特色. 自主研发的生物气溶胶报警器、采样器、激光流式检测系统以及生物防护服等达到国际同类装备先进水平, 填补了国内空白.

深入研究了生物侦检、防护与消毒关键技术. 一是探索了生物体中各种功能性荧光基团的激发与发射光谱学特性, 利用人工智能识别技术, 设计了可靠的生物病原体荧光在线识别算法; 研究了纳米荧光材料的自身物理与生物学特性, 结合多波长激光激发与检测技术, 实现了目标粒子的多元编码标记与识别^[29]; 以生物样本核酸快速提取与纯化为目的, 通过微流体、微机电技术, 实现了微量液体样本的快速处理^[30]. 二是开展了移动式生物安全三级实验室 (BSL-3) 流程布局、通风空调、水电气保障、压力控制、气密防护、空气净化等技术研究^[31,32], 为实现生物安全实验室空气污染防治关键技术和产品从“进口依赖型”向“自给保障型”的转变发挥了重要作用. 三是开展了抗菌抗病毒空气过滤材料制备技术研究, 分别采用化学键结合法^[33,34]和胶黏剂结合法^[35]将多种生物抗菌剂组合固定于高效玻璃纤维滤纸和高分子非织造布上, 制备出对悬液和气溶胶中的微生物均有优良杀灭性能的空气过滤材料(图 12 和 13), 在此基础上研制出抗菌空气过滤器和抗菌防护口罩. 四是研究了气体二氧化氯现场发生、浓度实时监控及

图 12 对照空气滤纸上金黄色葡萄球菌的电子显微镜观察 (10000×)

图 13 抗菌空气滤纸上金黄色葡萄球菌电子显微镜观察 (10000×)

消毒过程监控等关键技术, 研制了结构小巧、安全稳定的二氧化氯发生器^[36]、浓度监测传感器^[37]和气体二氧化氯消毒机^[38]。

将生物防护服、负压隔离舱等装备, 推广应用到 2003 年抗击 SARS 第一线, 为阻断 SARS 病毒传播、保护人民生命健康安全发挥了重要作用(图 14); 移动式生物安全三级实验室在执行 2006 年上合组织峰会、2007 年博鳌亚洲论坛、2008 年北京奥运会等重大活动安保任务中提供了有力的生物安全技术保障(图 15)。

2 生物医学工程研究

2.1 生物医学材料与装备研究

主要研究满足创伤急救需要的生物医学材料、急救训练模拟人和伤病员搬运机器人, 在急救材料功能化与智能化、生物相容性、伤病员呼吸系统与血液循环系统模拟仿真、医疗机器人等技术领域形成了自身

图 14 生物防护服和负压隔离舱在抗击 SARS 中使用

图 15 移动式 BSL-3 执行上合组织峰会保障任务

特色。自主研发的胶原止血海绵、药物缓释敷料、急救训练模拟人和伤病员搬运机器人处于国内领先地位, 在创伤急救中得到逐步推广, 发挥了较好作用。

深入研究了胶原、壳聚糖等生物医学材料用于急救敷料的制备方法与复合材料的生物相容性, 实现了急救材料的功能化, 有效提高了急救材料的止血、抗菌、镇痛和促进愈合效果(图 16)^[39~41]; 建立了心肺复苏下按压力与胸骨位移的数学模型^[42], 设计了非线性弹簧阻尼器结构, 有效提高了心肺复苏训练模拟人的力学相似度(图 17); 通过建立四肢大动脉出血生理信号随出血量变化的数学模型以及优化数字 PID 控制算法, 实现了回路中液体流动特性与人体肱动脉内血液流动特性相似^[43], 为伤员止血训练提供了有效手段; 开展了伤员换乘转运机器人换乘手臂执行机构、全方位移动底盘、升降机构、无线遥控器以及控制系统的研究^[44], 通过采用四轮独立驱动的 Mecanum 轮以及控制系统, 实现了前进、后退、横移及绕自身旋转的三自由度移动和伤员换乘转运机器人的运行控制。

图 16 壳聚糖-左氧氟沙星微球的药物缓释曲线

图 17 急救训练模拟人按压力-位移滞回曲线

2.2 生物力学与组织工程研究

主要开展细胞力学、组织工程化培养中应力与人工组织生长关系、骨重建生物力学机理及其在骨相关疾病诊治中的应用、工程化培养组织的生物力学评价等研究。在力学环境促进成骨细胞、骨细胞、破骨细胞增殖等研究领域形成了特色优势。自主创新组织工程化培养、生物力学在创伤救治和组织工程中的应用, 达到国际先进水平, 在国内处于前沿位置。

开展了基底拉伸应变对体外诱导骨髓间充质干细胞 BMSCs 向成骨细胞、软骨细胞、心肌细胞以及破骨前体细胞 RAW264.7 向破骨细胞形成和分化的影响研究, 发现力学刺激在细胞诱导、分化、信号转导过程中起着十分重要的作用, 但在诱导干细胞向不同细胞分化、破骨前体细胞向破骨细胞形成和分化的过程中作用不尽相同^[45-51]; 通过骨细胞力学响应机制以及骨细胞力学信号传导的研究, 发现 BMP/Smad 通路参与成骨细胞的力学信号响应过程, 并且在力学拉伸促成骨分化过程中发挥重要作用; 通过拉伸应变作用下小鼠 MC3T3-E1 细胞的基因组学、蛋白组学的研究, 发现由于基底应变导致细胞骨架改变, 引起基因表达发生变化, 从而导致相应的骨生长与重建(图 18); 开展了骨组织工程中支架材料的三维重建、细胞三维培养力学环境、力学和电场因素对心肌细胞影响的研究^[52], 建立了骨、软骨与心肌体外组织工程化构建、活体大鼠压缩载荷作用下尺骨应力与生长的生物力学模型^[53-56]。

图 18 应变下的差异基因功能分类

图 19 穿戴式生命体征监测系统实时获取的多通道生理信号

(A) 实时检测 ECG 和胸腹呼吸; (B) 人体跌倒实时分析

2.3 医用电子技术与装备研究

主要研究满足前沿急救需要的集成化、一体化救治装备与诊断装备,在生命体征监测、急救装备小型化智能化、生命支持-治疗-监护一体化、野外快速检验等技术领域形成了自身特色。自主研发的移动式重症监护系统达到国际先进水平,移动式生命支持系统、自动胸外按压心肺复苏担架系统在国家应急医疗救援和重大活动医学保障中得到应用,发挥了良好作用。

在生命体征监测和急救装备小型化智能化技术领域,深入研究了无创血压检测技术、穿戴式生命体征监测技术(图 19)、远程无线生命体征监测及移动定位技术^[57]、移动健康监护技术^[58]、自动胸外按压检测技术以及便携式智能化现场急救复苏技术^[59,60],研制了系列微型化和便携化的生命体征检测/监测设备和现场急救装备;在生命支持-治疗-监护一体化技术领域,提出了一体化集成急救技术的概念,开展了生命支持-监护-救治一体化集成关键技术研究,获得了国家高技术研究发展计划(2009 AA02Z410)和国家科技支撑计划(2009BAI79B03)的支持,研制的一体化集成急救装备^[61,62]具有自主知识产权,构建了较为完善的现场、途中、院内相互衔接的“无缝隙”救治链条。

3 展望

军事医学科学院卫生装备未来的发展,将坚持

以机械化为基础、信息化为核心,走机械化与信息化复合发展的道路;坚持卫生装备与医学工程、技术标准有机结合,通过瞄准制约卫生装备性能水平的关键问题,联合国内外优势科研力量集智攻关,攻克关键技术、实现重大突破、促进集成创新,不断提高中国重大疫情防控、灾害医学救援、突发事件处置的应急医学保障能力。

在系列装备研究方面,将重点发展现场急救与紧急救治、伤病员立体后送、野外定点救治、康复与训练、疾病防控、生物侦检和特殊环境保障等装备;在关键技术研究方面,将重点发展以“高机动性、高可靠性、高防护性和数字化、网络化、智能化”为特征的机械化信息化技术,以虚拟设计和虚拟实验为代表的计算机仿真与优化技术,以人机界面设计、作业空间设计、舱室环境设计和电磁兼容设计为主要内容的人-机-环境系统工程技术,以生物医学材料、空气过滤材料、生物防护材料为主要对象的新材料技术,以现场快速荧光 PCR 检测、全自动无人值守检测、高效空气过滤净化、防护效能在线检测预警为主要攻关点的生物侦检防护技术。

军事医学科学院将通过联合国内外优势科研院所集智攻关,打破技术壁垒,打造核心团队,集成优势资源,形成拳头力量,实现关键突破,产生标志成果;同时通过凝练学科方向、完成重大任务,打造一支能领衔重大项目、担当重大任务、问鼎重大成果的卫生装备科技人才队伍。

参考文献

- 1 徐新喜, 苏卫华, 宁洁, 等. 一种夹层板结构车厢的有限元简化模型及模态分析. 机械设计与制造, 2006, 7: 42–43
- 2 徐新喜, 祁建城, 李若新. 卧姿人体全身振动暴露舒适性降低界限的实验研究. 汽车运输研究, 1996, 15: 49–56
- 3 徐新喜, 王猛, 宁洁, 等. 急救车担架架两级钢丝绳组合式减振的仿真分析与优化设计. 噪声与振动控制, 2010, 30: 13–15
- 4 孙景工. 一种电磁流变流体智能隔振装置. 中国专利, 200520123468.6. 2006
- 5 徐新喜, 王猛, 崔向东, 等. 急救车担架台阻尼减振仿真分析与优化设计研究. 振动工程学报, 2009, 22: 352–356
- 6 徐新喜, 刘亚军, 王太勇, 等. 方舱式机动医疗系统超压集体防护的技术研究. 军事医学科学院院刊, 2005, 29: 547–549
- 7 Xu X X, Liu Y J, Wang T Y, et al. Analysis and design for thermal environment inside mobile operating compartment. *Int J Man Machine Environ Syst Eng*, 2007, 1: 23–30
- 8 徐新喜, 刘亚军, 赵秀国. 负压防护急救车车厢内生物污染物运动扩散的数值模拟与试验验证. 中国安全科学学报, 2009, 19: 28–33
- 9 徐新喜, 赵秀国, 刘亚军. 超压防护急救车车厢内生物污染物运动扩散的数值模拟与试验验证. 安全与环境学报, 2010, 10: 185–188
- 10 GJB6805-2009. 野战卫生舱室微环境质量和评价方法. 北京: 中国标准出版社, 2009
- 11 Li F, Tian F, Liu C J, et al. Preparation of improved microsphere containing bovine serum albumin. *J Appl Polym Sci*, 2009, 114: 818–825
- 12 Meng X, Tian F, Yang J, et al. Chitosan and alginate polyelectrolyte complex membrane and their properties for wound dressing application. *J Mater Sci: Mater Med*, 2010, 21: 1751–1759
- 13 邢楠, 田丰, 刘圣军, 等. 海藻酸钙-壳聚糖微胶囊的蛋白质通透性研究. 化学学报, 2007, 65: 2952–2958
- 14 He C N, Tian F. A carbon nanotube-alumina network structure for fabricating epoxy composites. *Scripta Mater*, 2009, 61: 285–288
- 15 Tian F, Li H P, Zhao N Q, et al. Catalyst effects of fabrication of carbon nanotubes synthesized by chemical vapor deposition. *Mater Chem Phys*, 2009, 115: 493–495
- 16 He C N, Tian F, Liu S J. A carbon nanotube/alumina network structure for fabricating alumina matrix composites. *J Alloy Com*, 2009, 478: 816–819
- 17 Wei G F, Bai X L, Wang H S, et al. Component mode synthesis approach to estimate tibial strains in gait. *J Med Eng Technol*, 2009, 33: 488–495
- 18 Wei G F, Wang H S, Zhang X, et al. A method of human biodynamic measurement based on virtual marker technology and wavelet algorithm. *Instrum Sci Technol*, 2010, 38: 83–95
- 19 赵鹏, 吴太虎, 孙建军. 基于 ZigBee 技术的血液冷链无线监测系统的研制. 中国医疗器械杂志, 2008, 32: 26–30
- 20 朱孟府, 龚承元, 苏建勇, 等. 浸涂法荷电微孔滤膜基本结构及性能. 膜科学与技术, 2006, 26: 105–108
- 21 Deng C, Song Y C, Zhu M F, et al. Preparation and characterization of polyborazine as novel precursor to boron nitride ceramic. *Adv Mater Res*, 2011, 194-196: 1749–1754
- 22 董翠玲, 刘红斌, 靖大为. 进水水质对 EDI 产水电阻率的影响分析. 净水技术, 2009, 28: 11–13
- 23 Zhu M F, Wang H Y, Su H B, et al. Study on oxidation effect of ozone on petroleum-based pollutants in water. *Mod Appl Sci*, 2010, 4: 6–11
- 24 Yuwen L L, Zhu M F, Su H B, et al. Effects of synthesis parameters on hydrothermal synthesis of NaA zeolite. *Adv Mater Res*, 2011, 148-148: 1444–1448
- 25 石梅生. 一种医用制氧设备及控制方法. 中国专利, 01120583.0. 2003
- 26 石梅生. 六塔制氧机的控制系统. 中国专利, 200720095661.2. 2008
- 27 YY/T 0298-1998. 医用分子筛制氧设备通用技术规范. 北京: 中国标准出版社, 1998
- 28 HY/T 120-2008. 电去离子膜堆(组件). 北京: 中国标准出版社, 2008
- 29 詹宁波. 用于粒子计数器的侧向散射光传感装置. 中国专利, 200910305418.2. 2010
- 30 杜耀华. 基于免疫磁珠的顺序流动式全自动磁性分选装置与方法. 中国专利, 201010507305.3. 2011
- 31 王玉民. 移动式生物安全实验室. 中国专利, 200610014327.X. 2007
- 32 祁建城. 高效空气过滤单元. 中国专利, 200910308438.5. 2010
- 33 Duan H L, Hao L M, Qi J C. Preparation of bio-antimicrobial filter media and efficacy evaluation. *Indoor Air* 2008, Copenhagen, the Denmark, 2008
- 34 Hao L M, Wang Z, Qi J C, et al. Immobilized antibacterial peptides on PET nonwoven fabrics and antibacterial activity evaluation. *Textile Res J*, in Press
- 35 Yang J Q, Wang Z, Wu J H, et al. Study on an air filter material immobilized with bio-antimicrobials. *Adv Mater Res*, 2011, 152-153: 1519–1524
- 36 吴金辉. 一种空间消毒气体二氧化氯发生装置与方法. 中国专利, 2011105856. 2011

- 37 吴金辉. 一种在线检测二氧化氯气体浓度的方法和装置. 中国专利, 201110104758.6. 2011
- 38 吴金辉. 一种气体二氧化氯消毒装置. 中国专利, 201110104819.9. 2011
- 39 Wu J M, Xu Y Y, Li Z H, et al. Heparin-functionalized collagen matrices with controlled release of basic fibroblast growth factor. *J Mater Sci: Mater Med*, 2011, 22: 107-114
- 40 Cheng P, Guan J, Zhang H. Preparation and application of fluoroquinolones-loaded sustained-release chitosan microspheres. *J Clin Reha-tati Tiss Eng Res*, 2009, 13: 3193-3196
- 41 Xu Y Y, Wu J M, Guan J, et al. Physiochemical and biological properties of modified collagen sponge from porcine skin. *J Wuhan Univ Technol(Mater Sci Ed)*, 2009, 24: 619-626
- 42 谢新武, 孙秋明, 倪爱娟, 等. 人体胸廓心肺复苏胸外按压力学模型及其模拟研究进展. *生物医学工程学杂志*, 2009, 26: 681-684
- 43 倪爱娟, 孙秋明, 谢新武, 等. 急救止血训练模拟系统的四联阀 PI 控制研究. *军事医学科学院院刊*, 2008, 32: 555-557
- 44 侍才洪, 张西正, 康少华, 等. 伤员转运机器人全向行走系统研究. *自动化与仪器仪表*, 2009, 24: 5-8
- 45 Zhang C Q, Zhang X Z, Guan J, et al. Direct compression as an appropriately mechanical environment in bone tissue reconstruction *in vitro*. *Medical hypothesis*, 2006, 67: 1414-1418
- 46 郭新, 张西正, 张永红, 等. 一种仿生型心肌组织工程生物反应器的设计. *航天医学与医学工程*, 2009, 22: 18-21
- 47 郭春, 张西正, 闫玉仙, 等. 力学拉伸强度对小鼠单核细胞 RAW264.7 诱导分化为破骨细胞的影响. *中国组织工程研究与临床康复*, 2009, 13: 7211-7216
- 48 王昊, 张西正, 郭勇, 等. 剪应力诱导成骨细胞钾离子通道开放的研究. *生物医学工程与临床*, 2007, 11: 430-433
- 49 赵红斌, 吕同德, 马敬, 等. 机械力对间充质干细胞向成骨细胞分化的力学响应机制. *生物化学与生物物理进展*, 2007, 34: 718-723
- 50 郭春, 闫玉仙, 张西正, 等. 力学拉伸强度对破骨细胞形成和分化的影响. *中华创伤杂志*, 2009, 39: 228-235
- 51 曾强成, 张西正, 邢建新, 等. NMDA 谷氨酸受体在骨祖细胞和成骨细胞表达并介导力学信号转导. *生物技术通讯*, 2007, 18: 940-944
- 52 魏严, 张西正, 郭勇, 等. 体外培养心肌细胞代谢和微管蛋白对拉伸应变的响应. *中国生物医学工程学报*, 2009, 28: 421-427
- 53 Chen X Y, Zhang X Z, Guo Y, et al. The establishment of a mechanobiology model of bone and functional adaptation in response to mechanical loading. *Clin Biomech*, 2008, 23: s88-s95
- 54 毛艳, 张西正, 李瑞欣, 等. 压应变作用下组织工程软骨的构建. *中国生物医学工程学报*, 2008, 27: 297-302
- 55 陈旭义, 张西正, 张永亮, 等. 不同载荷对大鼠尺骨影响的在体研究. *中华医学杂志*, 2007, 87: 27-32
- 56 张政波, 吴太虎. 无创血压测量技术与进展. *中国医疗器械杂志*, 2003, 27: 196-199
- 57 郑捷文, 吴太虎, 韩浩. 基于 CDMA 网的 GPS 心电远程监护系统的研究. *北京生物医学工程*, 2006, 25: 517-519
- 58 Zheng J W, Zhang G, Wu T H. Design of automatic fall detector for elderly based on triaxial accelerometer. *IEEE-ICBBE*. 2009
- 59 Zhang G, Zheng J W, Wu T H. A novel method of measuring the depth of manual chest compressions during CPR. *IEEE-ICBBE*. 2009
- 60 张广, 郑捷文, 赵鹏, 等. 基于加速度传感器的胸外按压深度检测研究. *传感器与微系统*, 2011, in press
- 61 郑捷文, 吴太虎, 宋振兴, 等. 担架集成式急救系统的设计. *中国危重病急救医学*, 2009, 21: 521-524
- 62 吴太虎, 宋振兴, 王宇晓. 自动胸外按压心肺复苏担架系统. *中国医疗设备*, 2010, 2: 13-15