

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.41.017 [http://www.crter.org]

姜雨晨, 王福波, 苗鹏, 严振国, 刘延祥, 姜俊. 肾俞穴针刺的力反馈研究[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(41):7297-7302.

## 肾俞穴针刺的力反馈研究\*

姜雨晨<sup>1</sup>, 王福波<sup>2</sup>, 苗鹏<sup>3</sup>, 严振国<sup>2</sup>, 刘延祥<sup>4</sup>, 姜俊<sup>2</sup> (1同济大学, 上海市 200092; <sup>2</sup>上海中医药大学, 上海市 201203; <sup>3</sup>上海大学, 上海市 200072; <sup>4</sup>天津中医药大学, 天津市 300193)

### 文章亮点:

1 将针刺穴位组织各层结构的动态形变与受力过程在数字人体上进行仿真, 使初级的中医解剖数字人向高一级的中医物理数字人过渡的大胆尝试和探索。

2 使针刺操作者同时得到动态的视觉感受与体会针感的触觉感受, 为针灸临床医生快速掌握针刺的各种手法提供一种更直观的训练平台, 从而为针灸教学提供一种动态的兼具视觉与触觉感受的仿真手段。

3 建立针刺时人体软组织生物力学数据库, 为以后个性化针刺治疗提供依据。

### 关键词:

组织构建; 组织构建基础实验; 肾俞穴; 针刺; 力反馈; 数字化虚拟人体; 视觉; 听觉; 触觉; 国家自然科学基金

### 主题词:

针刺穴位; 听觉; 触觉; 用户计算机接口

### 基金资助:

国家自然科学基金面上项目(81072957)\*, 项目名称: 基于数字人体力反馈角度的腧穴针刺研究

### 摘要

**背景:** 采用以计算机为核心的各种技术, 将针灸专家正确有效的针刺方法, 生成逼真的视觉、听觉、触觉一体化的计算机虚拟环境进行模拟针刺, 能够极大增强操作者的真实感, 减少临床针刺意外的发生。

**目的:** 构建虚拟肾俞穴针刺力反馈仿真系统。

**方法:** 通过力反馈设备, 录取针灸名师的肾俞穴针刺手法, 融入数字化虚拟人体。运用虚拟现实技术, 在融合了肾俞穴信息的三维数字人体上, 根据肾俞穴下各组织的物理特性, 分析针刺过程中针体与组织的相互作用力, 建立力学模型模拟针体受力, 并通过力反馈设备真实地传递给操作者。

**结果与结论:** 初步实现了肾俞穴虚拟针刺力反馈仿真, 使可视化的针灸虚拟人具有可现场模拟肾俞穴进针的触觉再现。肾俞穴针刺力反馈研究, 为融合视觉、触觉和力反馈信息一体化的虚拟针刺作了初步探索, 为针刺教学提供了一种动态的一对一仿真手段。

## Shenshu acupuncture's force feedback

Jiang Yu-chen<sup>1</sup>, Wang Fu-bo<sup>2</sup>, Miao Peng<sup>3</sup>, Yan Zhen-guo<sup>2</sup>, Liu Yan-xiang<sup>4</sup>, Jiang Jun<sup>2</sup> (1Tongji University, Shanghai 200092, China; <sup>2</sup>Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China; <sup>3</sup>Shanghai University, Shanghai 200072, China; <sup>4</sup>Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300193, China)

### Abstract

**BACKGROUND:** The correct and effective acupuncture manipulation of famous doctors are used to generate the realistic visual, auditory and tactile integrated computer virtual environments for acupuncture simulation based on the various techniques with the core of computer, which can greatly enhance the realism of the operator, and reduce the clinical acupuncture accidents.

**OBJECTIVE:** To establish the virtual *Shenshu* acupuncture force feedback simulation system.

**METHODS:** Based on the force feedback device, the *Shenyu* manipulations from the famous acupuncturists were collected and integrated into the digital virtual body. On the three-dimensional digital human body integrated with information of *Shenshu*, the interaction force of needle body and tissues during the acupuncture process was analyzed with the virtual reality technology according to physical characteristics of the tissues within *Shenshu*, in order to establish the mechanical model to simulate needle body force, and to transmit truly to the operator by the force feedback device.

**RESULTS AND CONCLUSION:** *Shenshu* virtual acupuncture force feedback simulation was preliminary established, and the sense of touch could be reproduced lively during mimic the acupuncture of *Shenshu* on the visualized virtual acupuncture human. *Shenyu* acupuncture force feedback researches have provided a preliminary exploration for virtual acupuncture that integrated with the information of visual, tactile and force feedback, and also provided a dynamic one-on-one simulation means for acupuncture teaching.

**Subject headings:** acupuncture points; auditory perception; touch; user-computer interface

**Funding:** General Project of National Natural Science Foundation of China, No. 81072957\*

姜雨晨, 男, 1991年生, 江苏省海安县人, 汉族, 2009级同济大学医学院七年制临床医学专业在读生, 主要从事医学临床研究。  
xk\_301@163.com

通讯作者: 姜俊, 硕士, 副教授, 上海中医药大学, 上海市 201203  
jj9090@163.com

中图分类号: R318  
文献标识码: B  
文章编号: 2095-4344  
(2013)41-07297-06

收稿日期: 2013-05-04  
修回日期: 2013-06-20  
(201305030/W·C)

Jiang Yu-chen, Tongji University, Shanghai 200092, China  
xk\_301@163.com

Corresponding author: Jiang Jun, Master, Associate professor, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China  
jj9090@163.com

Received: 2013-05-04  
Accepted: 2013-06-20

Jiang YC, Wang FB, Miao P, Yan ZG, Liu YX, Jiang J. Shenshu acupuncture's force feedback. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2013;17(41):7297-7302.

## 0 引言 Introduction

数字化虚拟人体自美国1989年提出以来<sup>[1]</sup>, 在军事、工程、医学、建筑等诸多领域得到迅速发展。随着国际交流与合作的深入和扩大, 作为中国传统医学重要组成部分的针灸疗法越来越走向世界。田宝俊等<sup>[2]</sup>认为要使中医药现代化, 就必须先使中医药数字化。而针刺手法则是针灸之精华, 历来被视为针刺疗效的关键。针灸巨擘陆瘦燕认为正确熟练地运用针刺手法, 是治疗疾病取得疗效的关键之一<sup>[3]</sup>, 并且注重针刺手法的临床和实验研究, 极大地丰富了针刺手法的内容。王雪苔<sup>[4]</sup>认为应利用先进的科学技术模拟手工操作以阐明针刺手法的本质。石学敏<sup>[5]</sup>认为应采用现代科技手段研究和发 展针灸学。本项目旨在结合申请者所在课题组对穴位结构研究和三维数字人体研究的工作<sup>[6-9]</sup>, 基于传统中医理念与近代生物力学理论<sup>[10]</sup>, 运用动态质点-弹簧模型和有限元素网格结点模型进行力学和组织形变的物理建模, 运用图形与图像处理技术和力反馈技术, 将针刺时穴位组织各层结构的动态形变与受力过程以虚拟现实和力反馈的方式表现出来, 给人们以视觉和触觉感知。

肾俞穴为临床常用穴, 位于腰部。腰为肾之府, 肾俞穴深部有重要内脏肾脏, 并紧邻肝脏、脾脏。肾俞穴取穴当第二腰椎棘突下, 旁开1.5寸<sup>[11]</sup>。是治疗肾病要穴, 如治疗肾炎、肾绞痛、肾下垂、腰痛、腰部软组织损伤、耳鸣、脱发、遗精、阳痿、月经不调等症。针法是: 针尖微斜向内直刺1.0-2.0寸, 可灸。通过解剖发现, 肾俞穴下方皮肤较厚, 皮下组织致密, 深处结构有胸腰筋膜、竖脊肌、腰方肌、肾脏等, 针刺过深会刺中肾脏等结构。如果再进行错误强力提插、捻转等手法, 可出现肾损伤、肝、脾出血等严重后果。肾俞穴有许多正确有效的针法技巧, 若将针灸专家的正确有效的针刺方法, 采用以计算机为核心的各种技术, 生成逼真的视觉、听觉、触觉一体化的计算机虚拟环境进行模拟针刺。能够极大增强操作者的真实感, 减少临床针刺意外的发生。本实验即以国家自然科学基金81072957项目中的肾俞穴作为研究对象, 系统地观察针刺时毫针与肾俞穴周围各组织的空间位置关系, 并在虚拟现实中, 在具有视觉反馈的同时加入力反馈来模拟真实世界中的触觉, 从而为探讨肾俞穴针刺的安全性、提高临床针刺疗效奠定较好的基础。

## 1 材料和方法 Materials and methods

**设计:** 建立针刺时人体软组织生物力学数据库。

**时间及地点:** 课题于2011年1月至2013年1月在上

海中医药大学国家中医药管理局“经穴解剖三级实验室”和上海大学通信与信息工程学院、上海交通大学生命科学技术学院进行。

### 材料:

**数据来源:** 利用中瑞合制Omega 1Dof 针灸专用力传感仪, 由针灸专家对38例自愿者进行双侧“肾俞穴”共76次手法测试, 直接获得肾俞穴进针位移、速度、力度力反馈曲线不同数据, 利用德国汉堡大学基于可视化人体(visible human project, VHP)数据集开发的三维可视化VOXEL-MAN操作平台<sup>[12]</sup>, 结合上海中医药大学严振国教授领导的课题组多年来对腧穴解剖结构的研究成果。

### 肾俞穴针刺的力反馈实验设备:

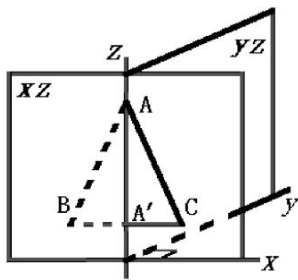
设备	来源
ScanMaker X12USL 扫描仪	上海中晶科技有限公司
Omega 3Dof 力反馈仪	瑞士 Force Dimension 公司
Omega 1Dof 针灸专用力传感仪	中瑞合制

**电脑:** 硬件配置为 P4 2.53G, 内存 1GB, Inter Brookdale i845PE 芯片组主板, 128MB nVIDIA GeForce2 MX/MX 400 显卡。课题选用的计算机是 Windows 和 Linux 双操作系统。

### 方法:

**肾俞穴在三维可视人体上的定位:** 穴位立体构筑是由皮肤、肌肉、肌腱、筋膜、神经、血管、淋巴管等多种已知的正常组织, 以一定的规律配布而成的三维立体空间结构; 因此进行穴位的三维可视化和虚拟进针研究需要在三维绝对坐标系下对穴位进行三维定位。由于传统腧穴体表定位源于“骨度分寸”理论, 其定位是在二维平面坐标系下进行。当在三维绝对坐标系下进行穴位的三维定位时, 其原点、方向和单位长度不以图像中的内容改变而改变, 也与图像中的内容没有直接关系。因此作者基于计算机图形图像学的知识先建立了一个过渡坐标系, 然后通过该坐标系将三维图像中的绝对坐标与传统中医腧穴的二维坐标结合起来, 相互转换, 即标准化二维描述的腧穴三维定位方法, 见图1, 2。

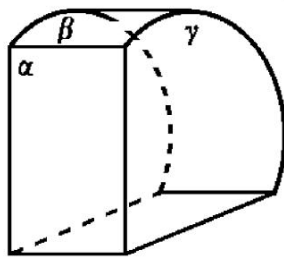
在三维定位的基础上, 将其融入虚拟人体三维图像的适当位置进行相应的表达。从而准确地反映中脘穴的体表位置、有效范围、针刺的角度、方向和深度等重要信息。通过对球体、胶囊体及圆锥体结合半球3种表达模型进行研究, 见图3, 4, 设定肾俞穴的自身参数(颜色、代码、亮度、对比度、锐度等), 这样在演示时更可以清楚地看到针刺过程中毫针经过相应的皮肤、皮下组织、肌肉、血管及神经的效果, 还可通过着色来标注重要的组织结构。



注: 基于计算机图形图像学的知识先建立一个过渡坐标系, 通过该坐标系将三维图像中的绝对坐标与传统中医腧穴的二维坐标结合起来, 相互转换, 即标准化二维描述的腧穴三维定位方法。

图 1 肾俞穴三维定位时头部过渡坐标系的定义

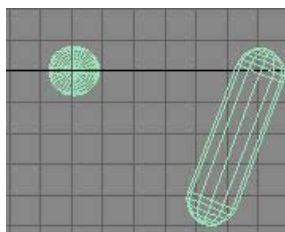
Figure 1 Definition of head transition coordinate system during three-dimensional positioning of Shenyu



注: 基于计算机图形图像学的知识先建立一个过渡坐标系, 通过该坐标系将三维图像中的绝对坐标与传统中医腧穴的二维坐标结合起来, 相互转换, 即标准化二维描述的腧穴三维定位方法。

图 2 肾俞穴三维定位时的过渡坐标系相应投影平面的选取

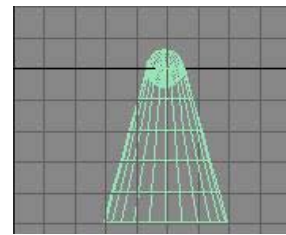
Figure 2 Selection of appropriate projection plane of transition coordinate system during three-dimensional positioning of Shenshu



注: 通过对表达模型进行研究, 设定肾俞穴的自身参数(颜色、代码、亮度、对比度、锐度等), 演示时可以清楚地看到针刺过程中毫针经过相应的皮肤、皮下组织、肌肉、血管及神经的效果。

图 3 肾俞穴球体、胶囊体表达模型

Figure 3 Sphere and capsule-like representation model of Shenyu



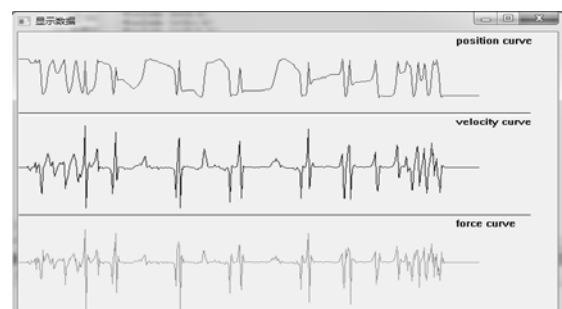
注: 通过对表达模型进行研究, 设定肾俞穴的自身参数(颜色、代码、亮度、对比度、锐度等), 演示时可以清楚地看到针刺过程中毫针经过相应的皮肤、皮下组织、肌肉、血管及神经的效果。

图 4 肾俞穴圆锥体表达模型

Figure 4 Conical representation model of Shenyu

**肾俞穴解剖结构的分割和建模:** 通过穴位的解剖学研究, 确定肾俞穴进针时针尖所触及的相应解剖结构。以 VOXEL-MAN 虚拟人体为开发平台, 通过对穴区的皮肤、肌肉等相关组织的图像分割, 对针刺过程中相关的血管和神经的图形建模, 制作智能动画与创建知识库系统, 完成肾俞穴虚拟视觉模块再现。在综合进行肾俞穴位可视化和虚拟进针力反馈模拟时, 可得到更加逼真的实效。

**肾俞穴虚拟进针力反馈模拟:** 在 Visual c++ 的编程环境中, 通过 c++ 程序来模拟针刺环境。将临床获取的针灸专家肾俞穴针刺手法的进针位移、速度、力度的力反馈曲线数据见图 5。运用虚拟现实技术, 根据各组织的物理特性, 分析针刺过程中针体与组织的相互作用力, 建立力学模型模拟针体受力, 融入肾俞穴针刺数据后, 再通过力反馈接口把数据传递到力反馈仪让操作者感知, 从而构建虚拟肾俞穴针刺力反馈仿真系统。



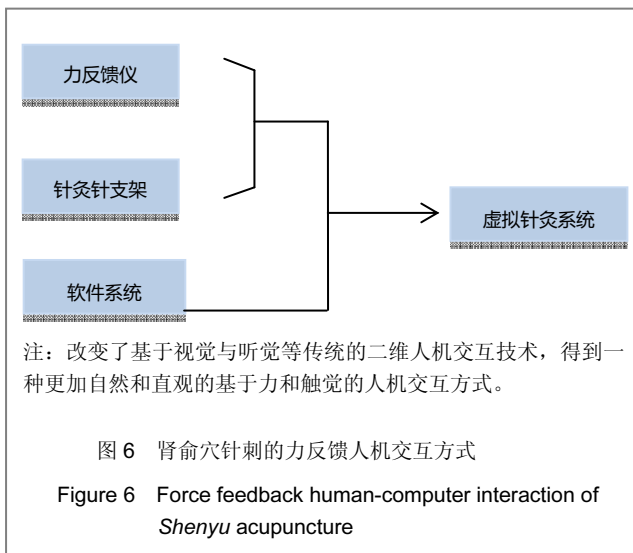
注: 临床获取的针灸专家肾俞穴针刺手法的进针位移、速度、力度的力反馈曲线数据

图 5 肾俞穴进针位移、速度、力度力反馈曲线

Figure 5 Force feedback curve of position, velocity and force of Shenyu needling

在虚拟触觉再现模块和虚拟视觉再现模块之间通

过编程进行数据通讯, 实现视觉与触觉的同步。视觉显示和触觉实现分别采用可视化工具包和 Chai3D 开源软件包两个库。程序将针灸专家中脘穴针法数据, 通过针灸专用力传感仪融入虚拟针刺力反馈系统。力反馈系统根据输入信息关联虚拟环境中的毫针。毫针从针尖接触皮肤开始, 行针至肾俞穴深处, 至最后出针、针体完全抽离人体意味着一次针刺的完成。利用组织参数计算针体受力, 毫针进入不同的人体组织, 由于各组织的物理特性和形变状态的差异, 产生作用力的机制不同, 力的大小也将产生变化。通过力反馈接口和数据转换, 操作者操作力反馈仪, 控制虚拟环境中的毫针, 对虚拟人施行针刺。随着毫针进入人体组织, 操作者在获得肾俞穴进针全过程视觉的同时, 又从力反馈仪控制末端感受到真实的反作用力。这与以往计算机用户只能通过视觉(最多又加入了听觉)与其进行交互相比, 改变了基于视觉与听觉等传统的二维人机交互技术, 得到一种更加自然和直观的基于力和触觉的人机交互方式, 见图 6。



## 2 结果 Results

经过探索, 完成了将针灸专家肾俞穴针法数据, 通过针灸专用力传感仪融入虚拟针刺力反馈系统。该系统在长期的虚拟人研究基础上, 加入了虚拟现实技术, 给传统的虚拟人增加了新的元素。运用虚拟人丰富的视觉效果, 将针刺部位放大到接近真人大小, 通过操作力反馈仪, 控制虚拟环境中的毫针, 对虚拟人施行针刺。随着毫针进入人体组织, 操作者在力反馈仪控制末端将感受到真实的反作用力。整个系统从打开力反馈开关开始, 操作者可以练习和熟练掌握对肾俞穴的针刺手法。如同名师手把手执教, 在这一过程中, 如果毫针偏离了穴区的一段特定距离, 或施力太过等一系列违反针刺规则的行为发生, 力反馈过程将停止, 一个训练过程宣告

结束。

## 3 讨论 Discussion

为了阐明针刺手法的本质以便更深入地发展针刺手法, 诸多科研工作者, 通过设计或借助仪器从一般的力的角度对针刺手法的研究进行了有益的探索, 国外曾利用超声图和弹性图观察针刺后组织的变形<sup>[13]</sup>, 但其研究手段很难对人体穴位周围血管和神经作仔细的、进一步的研究。也有研究了组织活检和穿刺时针刺组织形变的建模与算法<sup>[14-16]</sup>, 其对象为模拟人体组织的物理材料。其研究为针刺手法的研究及教学提供了宝贵的借鉴<sup>[17]</sup>, 但难以提供更直观的反映动态过程的电子解剖学手段, 难以从不同角度、不同解剖层次、不同进针层次三维立体地进行针刺手法的研究, 难以精确形象地展示针刺操作的手法过程。但如果将力反馈引入针刺与数字人相结合的研究, 则情况可大为改观。因为触觉和力觉感知技术, 是体现虚拟现实真实性的关键技术之一<sup>[18]</sup>。

虚拟现实是近几年来信息技术迅速发展的产物, 它是采用以计算机为核心的各种技术生成逼真的视觉、听觉、触觉一体化的特定范围的虚拟环境<sup>[19]</sup>。在虚拟现实, 具有视觉反馈的同时加入触觉力反馈来模拟真实世界中的触觉, 能够极大增强操作者的真实感。力反馈研究是虚拟现实技术的前沿之一, 本实验结合肾俞穴解剖结构研究和数字虚拟人体研究的工作积累, 一方面, 基于VOXEL-MAN虚拟人体开发平台, 完成了肾俞穴三维浏览器的再开发, 给人以视觉感知; 另一方面, 基于传统中医理念与近代生物力学理论, 运用图形与图像处理技术和力反馈技术进行建模, 将针刺时肾俞穴区组织各层结构的受力过程以虚拟现实和力反馈的方式, 给人以触觉感知, 从而初步实现了肾俞穴虚拟针刺力反馈仿真, 可现场模拟进针的视觉、触觉、力觉再现效果。

获取触觉和动感的反馈, 才能形成对虚拟模型的一个完整的认识, 并感受到与虚拟对象交互产生的触觉和力, 如同操作真实物体一样。在力反馈与数字人结合方面, 国际上以德国汉堡大学为最早, 把力反馈用于颞骨手术系统中, 对颞骨手术进行了模拟<sup>[20]</sup>, 但不能用于软组织, 更没有涉及穴位。香港中文大学王平安等曾进行过将力反馈与针刺穴位及数字人相结合的研究<sup>[21]</sup>, 成功研发了最初的针刺穴位组织力学模型, 并可在虚拟现实环境中用于腧穴针刺手法的模拟训练, 但只能进行针刺手法中提插法的力学模拟, 并且虚拟人中的力学参数不是在体实时测量的, 另外, 组织形变和针刺捻转等手法的模型构建并没有涉及到。岳龙旺等<sup>[22]</sup>提出了通过虚拟现实技术实现虚拟力反馈以替代真实力反馈的方法, 在建立显微外科手术血管缝合过程中的缝合线力学模型的基础上, 操纵者可以真实感受到从手进行血管缝合时

的力和运动信息。由于软组织的反馈力往往呈现出非线性特点,李振明等<sup>[23]</sup>使用非线性力反馈模型仿真软组织对手术器械的反馈力,并对肝脏的线弹性有限元模型加入非线性扰动,建立了反馈力的非线性模型,从而使反馈力更加真实。而2006年由上海交通大学牵头启动了中国力学虚拟人研究计划,是一个以中国标准人体为仿真对象的力学虚拟人,其目标是建立一个完整的力学虚拟人体平台,也为穴位数字化虚拟人研究提供了个好的机遇和平台<sup>[23]</sup>。而欧盟启动的(IUPS/EMBS)生理人计划,在人体的生理系统建模方面已经进行了许多颇有成效的研究,主要侧重与生理系统、亚细胞信号传导、新陈代谢过程等方面的建模研究<sup>[24-25]</sup>。

中国自第174次香山会议后,中国数字化可视人体(CDVH)已由解放军第三军医大学承担实施<sup>[26]</sup>。中国穴位三维人体已由上海中医药大学承担实施。严教授领导的科研组多年来对穴位结构进行了由层次解剖结构到断面解剖结构、由大体解剖结构到显微、超微结构全面系统的研究,并且成功实现了“基于VHP数据的穴位可视化研究<sup>[27]</sup>”和“基于VOXEL-MAN针灸学三维影像浏览器的研究<sup>[28]</sup>”及“穴位融合三位数字化虚拟人体研究”等相关研究,已顺利完成了国家自然科学基金项目“穴位融合三位数字化虚拟人体研究”项目(批号30271578,期限2003.1-2005.12)。为本项目一针刺手法与数字化虚拟人体技术的结合的开展积累了丰富的资料,奠定了较好的研究基础。

课题组与上海交通大学、上海大学、同济大学、德国汉堡大学合作,已在穴位与三维数字人融合方面进行了多年的持续研究<sup>[29]</sup>,本课题组已经在力反馈仪和VOXEL-MAN虚拟人平台之间创建一个名为fifoserver的管道。通过fifoserver这个有名管道使力反馈仪和VOXEL-MAN虚拟人平台完成实时、准确的数据交换,而不会发生数据错乱。

在融合了腧穴组织结构信息的三维数字人体基础上,一定程度上实现数字人体与力反馈设备之间通信,并且对皮肤的弹性系数、黏性系数和动摩擦力作了进一步的研究。

在针刺力反馈的研究方面,根据穴位结构特征采用分层碰撞检测的方法,针对不同的行针手法已经建立动态质点-弹簧模型,并将施针过程中针体的受力通过力反馈设备表现出来,并利用上海交通大学生物医学工程实验室force dimension公司的Omega 3 DOF力反馈装置进行了预研,将针灸过程以力反馈形式表现出来已经做了初步的尝试<sup>[30-32]</sup>。能够满足虚拟进针的要求,能给操作者带来真实的触觉感受。

依据穴位所在区域的组织结构的力学物理特性,模拟施针过程力学和视觉变化。通过力反馈接口把数据传递到力学传感器从而让操作者感知,实现视觉与触觉的

同步,达到虚拟现实的沉浸感和逼真感。拟分析针灸过程中针体的受力情况,以及部分行针模式中的力感特征,建立了相应的力学模型模拟针体受力,并通过力反馈设备真实地传递给操作者。然后经过针灸研究人员的反复训练和与实验数据的比照,对力学模型的参数进行了优化和调整,达到接近真实的针灸力感效果。

模型的力学波形图与针灸实验数据进行比对,力学特征点基本达到一致,波形的变化趋势基本吻合,结果是较为满意的。

结合国内外的研究报道<sup>[33]</sup>,目前初步认为皮肤弹性系数为300-600 N/m、黏性系数为0-5.0 Ns/m<sup>2</sup>和动摩擦力为0.10-2.0 N。因为人体体格的不同、体质的差异或者所从事的工作性质的差异,人体皮肤、脂肪、肌肉和骨骼的各项物理系数不可能相同。中国古代宋慈在其所著的《洗冤录》指出:“负米者死,肩骨后朽,舆夫死,腿骨后朽。”现代研究也表明在生活过程中,由于劳动、训练、疾病等因素的影响,芭蕾舞演员的足跖骨骨干增粗,骨密质变厚;卡车司机的掌骨和指骨骨干增粗从而出现差异等。作者通过在两种不同的力反馈仪设备PHANTOM和Omega 3Dof下的体会,刺破皮肤阶段的确需要很大的力,而皮肤之下的脂肪和肌肉则相对容易,但在力反馈仪设备PHANTOM下骨骼则非常坚硬。目前课题组还正在进一步研究,计划建立符合中国人特点的皮肤、脂肪、肌肉和骨骼的力学参数。因为影响皮肤力学性能的因素很多,包括性别、年龄、在人体上的位置、相对湿度、pH值以及一天中的不同时间段等等,已与合作单位在联合进行。

肾俞穴针刺力反馈研究,全面融合了视觉、触觉、力觉力反馈信息,为肾俞穴针刺提供了一种动态的高仿真手段,使学者能获得视觉的同时,并能体验针刺手法触觉、力觉的客观针感效果,弥补只能口口相传的教学模式。虽然肾俞穴力反馈研究还仅仅只是开始,但随着更多腧穴力反馈数据的采集和处理,可以使训练更真实、准确、全面,使广大学员获得更多犹如名师亲临现场一对一指导的效果,极大地节约名医的烦重劳动和时间,从而达到迅速提高学习者的针刺技能的目的,有利于具有中医特色的虚拟解剖人向虚拟物理人的跨越,有利于中国针灸优秀经验的传继与发展。

**作者贡献:** 设计、实施、评估者为本文作者,均接受过专业培训。

**利益冲突:** 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

**伦理要求:** 参与实验的个体均自愿参加,对实验过程完全知情同意。

**学术术语:** 虚拟现实(Virtual Reality)-简称VR,又译作灵境、幻真)是近年来出现的高新技术,也称灵境技术或人工环

境。虚拟现实是利用电脑模拟产生一个三维空间的虚拟世界, 提供使用者关于视觉、听觉、触觉等感官的模拟, 让使用者如同身历其境一般, 可以及时、没有限制地观察三度空间内的事物。

**作者声明:** 文章为原创作品, 数据准确, 内容不涉及泄密, 无一稿两投, 无抄袭, 无内容剽窃, 无作者署名争议, 无与他人课题以及专利技术的争执, 内容真实, 文责自负。

#### 4 参考文献 References

- [1] Ackerman MJ. The Visible Human Project: a resource for education. *Acad Med*. 1999;74(6):667.
- [2] 田宝俊, 朱训生, 章浩伟, 等. 基于运动控制针刺手法仪的工程研究[J]. *计算机工程与应用*, 2008, 44(20):206-207.
- [3] 陆焱垚, 陆瘦燕, 朱汝功. 针灸临床经验选介(三)——精通手法, 针药兼施的医疗特点[J]. *上海中医药大学学报*, 1999, 13(4): 10-12.
- [4] 王雪苔. 论针灸特色[J]. *中国针灸*, 2005, 25(2):75-78.
- [5] 石学敏. 新世纪针灸学科面临的问题和对策[J]. *中国针灸*, 2005, 25(4): 225-226.
- [6] 严振国. 英汉对照全身经穴应用解剖图谱[M]. 上海中医药大学出版社, 上海, 2003.
- [7] 严振国, 白娟, 邵水金, 等. 危险穴位针刺深度与角度的研究[J]. *中国针灸*, 2004, 24(11):769-772.
- [8] 邵水金, 严振国. 穴位形态结构配布的研究[J]. *中国针灸*, 1996, 23(5): 23-24.
- [9] 邵水金, 牟芳芳, 严振国, 等. 基于VOXEL-MAN平台的危险穴位可视化研究[J]. *上海针灸杂志*, 2007, 26(6):34-36.
- [10] 庄天戈, 严振国. 基于中医理念的穴位融合的三维可视人[J]. *中国基础科学*, 2004, (1): 26-29.
- [11] 严振国. 中医应用腧穴解剖学[M]. 上海: 上海科技出版社, 2005:129.
- [12] Pommert A, Höhne KH, Pflesser B, et al. Creating a high-resolution spatial/symbolic model of the inner organs based on the Visible Human. *Med Image Anal* vol. 2001;5:221-228.
- [13] Konofagou EE, Langevin HM. Using Ultrasound to Understand Acupuncture. *Engineering in Medicine and Biology Magazine*. 2005;24(2):41-46.
- [14] DiMaio SP, Salcudean SE. Simulated Interactive Needle Insertion in Proceedings of the 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environments and Teleoperator Systems. *Virtual Reality*. 2002;23(5):344-351.
- [15] DiMaio SP, Salcudean SE. Needle Insertion Modeling and Simulation. *International Conference on Robotics and Automation*. 2002;12(4):156-161.
- [16] DiMaio SP, Salcudean SE. Needle Insertion Modeling for the Interactive Simulation of Percutaneous Procedures. *Medical Image Computing and Computer Aided Intervention*. 2002;2489(23):253 - 260.
- [17] 胡银娥, 杨华元. 针刺手法测定与分析[J]. *中国针灸*, 2007, 27(11): 829-831.
- [18] 谢叻, 张艳, 张天宇, 等. 虚拟手术中的力学变形和力觉感知[J]. *医用生物力学*, 2006, 21(3):241-249.
- [19] 刘文霞, 王树杰, 张继伟. 虚拟现实技术在医学上的应用[J]. *医学工程杂志*, 2007, 24(4):946-949.
- [20] Bernhard Pflesser, Andreas Petersik, Ulf Tiede, et al. Volume cutting for virtual petrous bone surgery. *Computer Aided Surgery*. 2002;56(5):74-83.
- [21] Heng PA, Wong TT, Yang R, et al. Intelligent Inferencing and Haptic Simulation for Chinese Acupuncture Learning and Training. *Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2006;10(1):28-41.
- [22] 岳龙旺, 王树新, 曾妍文, 等. 基于多体理论的虚拟血管缝合分析[J]. *天津大学学报*, 2006, 39(1): 89-95
- [23] 李振明, 贾世宇, 潘振宽. 基于非线性力反馈模型的软组织变形仿真[J]. *计算机仿真*, 2007, 24 (1):225-229
- [24] 魏高峰, 王成焘. 虚拟人体的研究现状与进展[J]. *北京生物医学工程*, 2008, 27(4):431-435.
- [25] Hunter PJ. The IUPS Physiome Project A framework for computational physiology. *Prog Biophys MolBio*. 2004;85(2): 551-569.
- [26] Noble D. The Rise of Computational Biology. *Nature Rev Mol CellBio*. 2002;3: 460-463.
- [27] 程卓, 王海生, 闵友江, 等. 数字人体的针灸力感虚拟现实初步研究[J]. *中国医疗器械杂志*, 2007, 31(1):5-9.
- [28] 王海生, 严振国, 王媛媛, 等. 基于VOXEL-MAN操作平台孔最穴的三维可视化研究[J]. *中华中医药杂志*, 2007, 22(3):178-181.
- [29] 杨浩, 郭春霞, 庄天戈, 等. 针灸虚拟现实系统的初步实现——谈VOXEL-MAN与力反馈仪的接口[J]. *计算机应用与软件*, 2010, 27(7):223-226.
- [30] 邵水金, 严振国, 牟芳芳, 等. 任督二脉在数字人体上的可视化研究[J]. *上海中医药大学学报*, 2008, 23(3):70-72.
- [31] 邵水金, 董艳, 严振国, 等. 手太阳肺经在虚拟人体上的可视化研究[J]. *针刺研究*, 2008, 33 (3): 191-193.
- [32] 邵水金, 牟芳芳, 严振国, 等. 基于VOXEL-MAN操作平台的肩井穴可视化研究[J]. *江苏中医药*, 2008, 40(10):75-77.
- [33] 卢天健, 徐峰. 皮肤的力学性能概述[J]. *力学进展*, 2008, 38(4): 393-397.