

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2013.09.018 [http://www.crter.org]

陈为坚, 谢晓辉, 李贇罡, 刘腾飞, 孙鸿涛, 李贵涛, 王法正. 虚拟膝关节镜系统培训临床医生的手术技能[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(9):1641-1647.

虚拟膝关节镜系统培训临床医生的手术技能*☆

陈为坚¹, 谢晓辉², 李贇罡¹, 刘腾飞², 孙鸿涛¹, 李贵涛¹, 王法正³

1 广东省第二人民医院, 广东省广州市 510317

2 广州数控设备有限公司, 广东省广州市 510503

3 新疆喀什地区第一人民医院, 新疆维吾尔自治区喀什市 844000

文章亮点:

1 作者设计制作一套本关节内窥镜的仿真系统, 使学习者可以通过视觉、触觉无风险地学习和操作关节内窥镜。同时, 设计了相关的实验评估该虚拟关节内窥镜系统对初学者的训练效果。

2 在国内首次将自行研制的虚拟手术设备用于临床实践, 初步提出验证仿真训练系统的实用性的方法。

关键词:

骨关节植入物; 骨损伤基础实验; 虚拟手术; 关节内窥镜; 关节镜; 手术仿真; 仿真训练系统; 仿真设备; 计算机模拟; 手术培训; 技能培训; 操作技能; 省级基金; 骨关节植入物图片文章

摘要

背景: 虚拟膝关节镜系统在国内外已有初步的研究成果, 但价格比较昂贵, 目前还无法得到推广应用, 有鉴于此, 作者设计、开发了一套虚拟内窥镜仿真设备, 它可以让外科医生运用模拟手术操作器械在虚拟的关节腔环境中进行手术, 获得训练效果。

目的: 评估本虚拟关节内窥镜系统对关节镜外科初学者的手术技能训练效果。

方法: 选择来自 5 所不同大学的实习医生和不同医院的医生 24 名, 其中无关节镜操作经验的实习医生 16 名, 有关节镜操作经验的专家 8 名, 16 名实习医生随机分为受训组和未受训组, 每组各 8 名。在对受训组进行系统培训之后, 使其分别在虚拟关节镜系统操作中和临床手术操作中与未受训组以及专家组作对比; 将对对比结果进行统计处理。

结果与结论: 在虚拟内窥镜系统操作中: 未受训组与受训组人员之间的得分差异有显著性意义($P < 0.001$); 未受训组与专家组之间差异有显著性意义($P < 0.001$); 而受训组与专家组之间的差异无显著性意义($P=0.115$)。在临床关节内窥镜手术操作中, 未受训组和受训组人员之间差异有显著性意义($P < 0.001$); 未受训组成员与专家组成员之间差异有显著性意义($P < 0.001$); 受训组与专家组之间差异有显著性意义($P=0.03$)。表明虚拟关节镜系统对初学者的手术操作技能起到良好的培训效果。同时也表明虚拟手术操作技能的提高与临床操作技能的提高具有一定的相关性。

Virtual knee arthroscopy system improves clinician surgical skills

Chen Wei-jian¹, Xie Xiao-hui², Li Yun-gang¹, Liu Teng-fei², Sun Hong-tao¹, Li Gui-tao¹, Wang Fa-zheng³

1 Guangdong No.2 Provincial People's Hospital, Guangzhou 510317, Guangdong Province, China

2 GSK CNC Equipment Co., Ltd., Guangzhou 510503, Guangdong Province, China

3 First People's Hospital of Kashi, Kashi 844000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Abstract

BACKGROUND: Virtual knee arthroscopy system has achieved some preliminary research results at home and abroad, but it is still unable to be popularized and applied widely because of the high cost. Therefore, we designed a set of simulation endoscopic equipment, which allows the surgeons to promote surgery

陈为坚☆, 男, 1977 年生, 广东省普宁市人, 汉族, 2011 年南方医科大学毕业, 博士, 副主任医师, 主要从事骨关节外科及数字化骨科研究。

cwjczb@163.com

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2013)09-01641-07

收稿日期: 2012-07-27

修回日期: 2012-09-12

(20120427004/W · C)

Chen Wei-jian☆, Doctor,
Associate chief physician,
Guangdong No.2 Provincial
People's Hospital, Guangzhou
510317, Guangdong Province,
China
cwjczb@163.com

Supported by: Guangdong
Medical Scientific Research
Foundation, No.B2010054*

Received: 2012-07-27
Accepted: 2012-09-12

skills during virtual surgery.

OBJECTIVE: To evaluate the training effect of virtual knee arthroscopy system on surgical skills of the beginning students.

METHODS: Twenty-four interns and orthopedists (16 interns with no arthroscopy operating experience; eight experts with arthroscopy operating experience) were selected from five different universities and different hospitals, and 16 interns were randomly divided into training group and control group, eight interns in each group. After system training, the training group was compared with the control group and expert group in the virtual knee arthroscopy system operation and clinical surgery operation, and the results were statistically processed.

RESULTS AND CONCLUSION: In the virtual endoscope system operation, there was significant difference in the scores between the control and training groups ($P < 0.001$), and also between the control and expert groups ($P < 0.001$); however, there was no significant difference in the scores between the training and expert groups ($P=0.115$). In the clinical knee arthroscopy operation, there were significant differences between the training and control groups ($P < 0.001$), between the control and expert groups ($P < 0.001$), and between the training and expert groups ($P=0.03$). Virtual knee arthroscopy system can serve as beneficial surgery skill training for beginning students and the improvement of virtual operation technique may be related to clinical skills.

Key Words: bone and joint implants; basic experiment of bone injury; virtual surgery; articular endoscope; arthroscopy; virtual surgery; virtual training system; simulation equipment; computer simulation; surgical training; skill training; operational skills; provincial grants-supported paper; photographs-containing paper of bone and joint implants

Chen WJ, Xie XH, Li YG, Lui TF, Sun HT, Li GT, Wang FZ. Virtual knee arthroscopy system improves clinician surgical skills. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2013;17(9): 1641-1647.

0 引言

关节镜自发明以来,得到了全世界广大关节外科医师的青睐。但到目前为止,关节镜仍未能得到广泛普及,主要是由于培训周期长,技术难以掌握。特别是在经济基础比较落后的地区,往往是少数医师的专利^[1-2]。因此迫切需要实用的培训设备,来满足大多数初次学习关节镜操作技能的外科医师的要求^[3-6]。

类似的虚拟关节镜系统在国外已陆续可见报道,如Pedowitz等^[7]介绍的关节镜模拟器,包括计算机平台、视频显示器、两个同时可检测位置的力反馈装置接口与操作者双手的操作仪器相连。该系统可以实现特定的操作,如膝关节彻底的检查、撕裂半月板的切除等。

Verdaasdonk等^[8]介绍了一种名为“SIMENDO”的关节虚拟现实仿真系统,该系统具有单手浏览和双手浏览模式,通过对实习医师进行培训,再与专业的关节外科医师相对比,结果显示SIMENDO是一种有用的练习手眼协作能力的设备,可以训练临床外科中基本内镜手术操作技能,其他国内外大量的研究也得到同样的结果^[9-13]。

但遗憾的由于虚拟系统的价格比较昂贵,目前在国内还无法得到推广应用,此外关键技术还必须依靠进口。有鉴于此,作者设计、开发了这一套具有自主知识产权的虚拟内镜仿真设备,它可以让外科医生运用模拟手术操作器械在虚拟的关节腔环境中进行手术。从而提高手术技能,缩短学习时间。

与以往的虚拟内镜系统相比,本系统具有以下主要创新点:①自主创新了关节内窥镜的仿真系统,应用球杆式的外部设备,更好的响应操作者的动作,能够真实模拟关节镜的手术操作过程。同时为将来的力反馈模型开发提供了思路。②运用3D max建模技术来建立人体膝

关节腔的模型、疾病模型及相关场景的三维静态及动态模型。有助于真实的显示解剖结构，逼真的模拟病变结构，为将来系统的不断开发奠定基础。

在装配完该系统的设计之后，作者将硬件和外设进行组装，形成了系统的外部输入设备，又将用3D max技术建模的膝关节模型装配到OGRE系统软件中，设计了仿真训练系统的软件部分，使构造完成的膝关节镜三维虚拟场景接近于实际手术环境，使学习者可以通过视觉、触觉无风险地学习和操作。

为了验证系统的实用性，设计了相关的实验来评估本虚拟关节内镜系统对初学者的训练效果。这是在国内首次将自行研制的虚拟手术设备用于临床实践的报道，同时也初步提出验证仿真训练系统的实用性的方法。

1 对象和方法

设计：对比观察。

时间及地点：实验于2009-03-01/2010-03-30在广东省第二人民医院骨科教研室完成。

对象：受试者为来自南方医科大学、广州医学院、南华医科大学3所不同大学的外科实习医生和本院非内镜专科的临床医师共16名以及广东省第二人民医院、中山大学附属第二医院的关节内镜外科医师8名。

实验中，“专家组外科医师”定义为已进行≥30次关节内镜操作者，“外科实习生”定义为任何临床内镜操作次数<5次者。所有受试者要求记录年龄、性别、在医院中的职务以及操作过哪些内镜和操作的次数。实验前所有受试人员均已学习过关节镜和虚拟关节内镜的理论知识，使其详细了解本系统的功能和目的。实验均取得受试者同意。受试者资料见表1。

组别	专家(n=8)	实习生(n=16)	合计
中位数年龄(岁)	32(28-42)	30(24-48)	31(24-48)
中级职称	2	5	7
初级及以下职称	6	11	17

训练系统：硬件和系统材料：①虚拟内镜模拟系统：质量2.0 kg、20 cm×10 cm×40 cm大小的箱子中的仪器。具备由USB接口连接的“即插即用”功能。可另外提供电源，也可以直接用USB获取电源。②操作者需在电脑中安装软件来运行该模拟系统，但安装的过程非常简单。目前该系统已申请美国发明专利，见图1。③计算机最低配置要求：处理器722-mHz，内存128 MB，标准显卡(NVIDIA Geforce 4)，微软Office软件。任何带有微软Windows XP操作系统的计算机均可直接启动并进入该模拟系统。

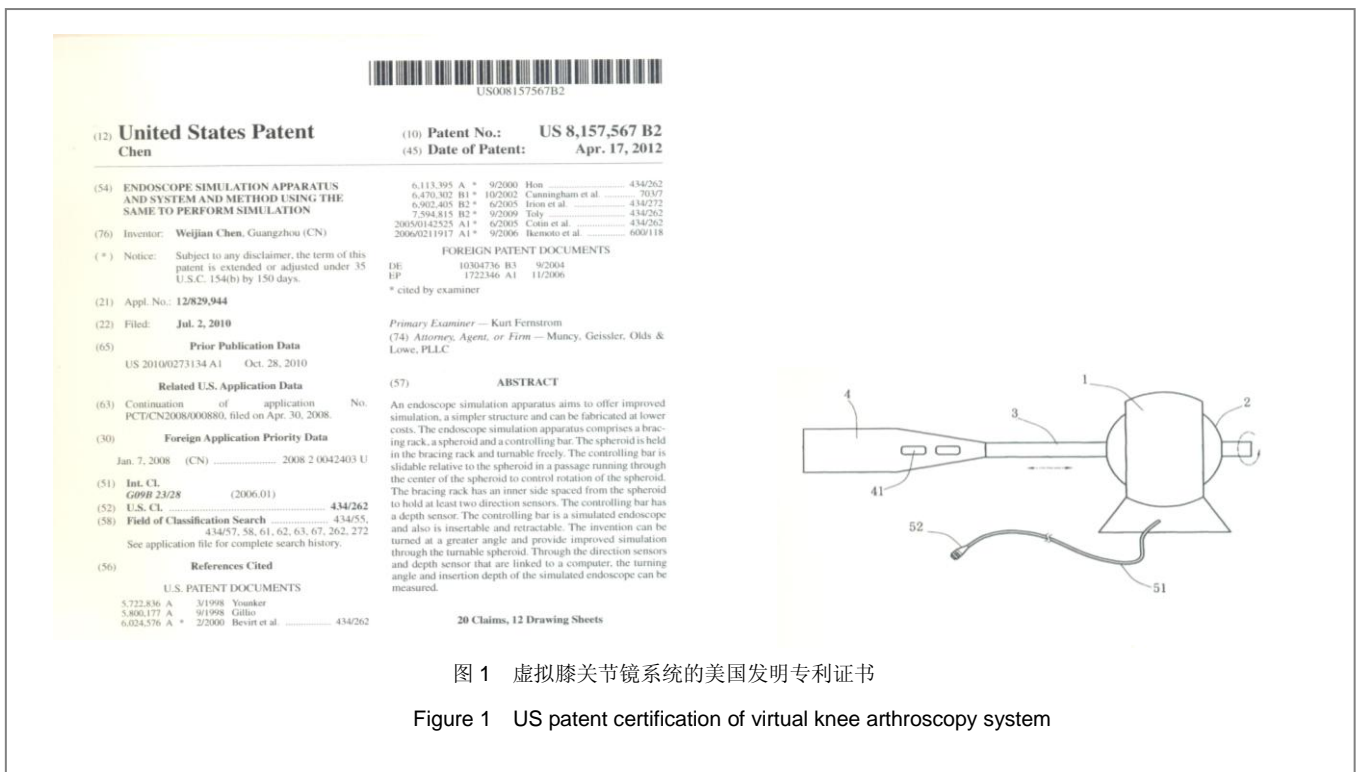


图1 虚拟膝关节镜系统的美国发明专利证书

Figure 1 US patent certification of virtual knee arthroscopy system

方法: 16名无内镜手术操作经验的实习医生参与第1、2组试验。受试者用信封抽签法随机分成2组, 每组8位。第1组为未受训组, 不接受任何培训; 第2组为受训组, 接受虚拟现实模拟系统培训。要求受试者操作虚拟内镜系统来演示关节手术中所显示的内容。主要包括以下3个方面: ①关节腔浏览。②指定游离体摘除。③指定半月板切除。其中第1项为单手操作, 第2、3项为双手操作, 见图2-4。

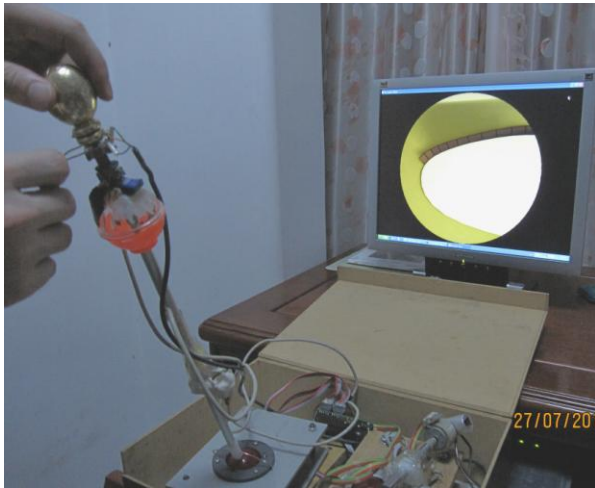


图2 受试者操作虚拟内镜系统单手训练操作场景

Figure 2 System scenes of one hand training of the trainer with virtual knee arthroscopy system

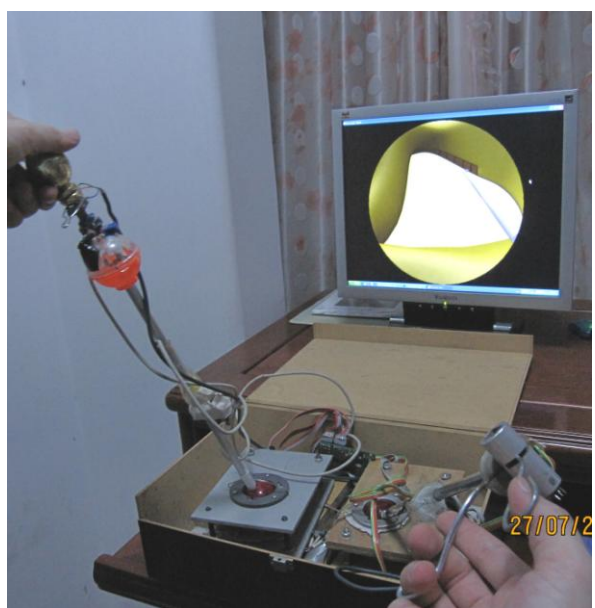


图3 受试者操作虚拟内镜系统双手训练半月板切除的操作场景

Figure 3 Meniscectomy scenes of two hands training of the trainer with clinical arthroscopy system



图4 受试者操作虚拟内镜系统双手训练游离体摘取的操作场景

Figure 4 Free body harvesting scenes of two hands training of the trainer with clinical arthroscopy system

按从左到右的顺序依次进行游离体摘除和半月板切除的操作, 训练时间从1-3个月不等, 每个项目操作次数约10次。目的是培训非专家受试者处理内镜手术的特殊技能, 例如仪器使用、操作定向、支轴效应、深度知觉等内镜手术中必用的技术。第3组为关节内镜外科医生8名, 均为男性。

实验一: 在受训组接受了培训之后, 对所有受试者进行实际临床关节镜手术操作的测试。测试的内容为: 在临床手术操作中, 将镜头从患者的髌间窝前又韧带起点开始, 依次检查内侧半月板前角-前交叉韧带-外侧半月板前角-髌间窝顶点, 最后回到前交叉韧带起点。每位受试者在接受该测试前均由本课题负责人将该检查顺序事先演示一次。由另一个人记录课题负责人和受试者完成整个过程的时间。将受试者的完成时间减去本课题负责人的完成时间。并对得到的时间差进行对比。

实验二: 所有受试者在完成实验一之后, 接受实验二测试。即要求受试者操作虚拟内镜和设备来演示临床关节手术中所显示的内容。主要包括以下3个方面: ①关节腔浏览。②指定游离体摘除。③指定半月板切除: 每人各操作2次。第1次为熟悉及练习, 第2次操作要求完成一次操作中从关节内间隙到外间隙再到内间隙的观察, 再将指定的半月板碎块和游离体摘除, 记录其操作的总时间。

主要观察指标: ①临床关节镜检查中各组人员之间的差别。②虚拟系统操作中各组人员之间的差别。

统计学分析: 应用SPSS 13.0软件进行数据分析。

应用单因素方差分析对比试验1和试验2中3组人员手术操作评分和系统训练评分的差别。采用LSD方法进行两两比较, 如果方差不齐则采用校正的 F 检验和Tamhane两两比较。

2 结果

2.1 临床关节镜检查中各组人员之间的差别 在实验一的临床操作中, 经对比得到的时间差, 经统计学分析发现各组间差异均有显著性意义, 见表2。未培训和受培训人员之间差异有非常显著性意义($P < 0.001$); 未培训人员与专家组之间差异有非常显著性意义($P < 0.001$); 受培训人员与专家之间差有显著性意义($P = 0.03$)。

表2 临床关节镜检查中未培训组、培训组、专家组人员与课题负责人完成时间差的比较

Table 2 Comparison of the operation time during clinical arthroscopy examination between training group, control group, expert group and the person in charge (min)

人员	n	与课题负责人完成时间差
未培训组	8	8.88±2.17
培训组	8	3.38±1.06
专家组	8	1.50±1.41
F		45.084
P		< 0.001

注: 临床关节镜检查中操作能力专家组好于培训组($P < 0.05$), 培训组好于未经培训组($P < 0.001$)。

2.2 虚拟系统操作中各组人员之间的差别 见表3。

表3 虚拟系统操作中未培训组、培训组和专家组人员之间的差别

Table 3 Comparison of the operation time during virtual endoscope system examination between training group, control group, expert group and the person in charge

人员	n	操作时间(min)
未培训组	8	113.14±19.04
培训组	8	50.63±7.87
专家组	8	40.50±5.42
F		52.017
P		< 0.001

注: 在虚拟系统操作的成绩培训组好于未经培训组($P < 0.001$), 接近专家组($P > 0.05$)。

在实验二的虚拟系统操作中, 各组操作的总时间经统计分析如下: 未受训组与受训组人员之间差异有非常显著性意义($P < 0.001$); 未受训组人员与专家组之间差异有非常显著性意义($P < 0.001$); 而受训组人员与专家组之间的差异无显著性意义($P = 0.115$)。

3 讨论

实验显示了专家组和非专家组的外科医师均认为本训练系统是一种有用的练习手眼协作技能和基本内镜外科手术操作技能的培训设备。在对受训组、未受训组和专家组的对比中发现: 经培训者在系统操作中的成绩远远比未经培训者好, 已达到专家组的水平($P = 0.115$); 而在临床手术操作中, 证实他们对关节镜的操作能力也得到显著提升, 虽然水平仍不如专家组, 但已经比较接近($P = 0.03$)。这是作者在国内首次将自行研制的虚拟手术设备用于临床实践, 取得满意的实验结果, 同时验证了仿真训练系统的实用性。

在实习医师进入手术室并在患者身上进行现实关节镜手术操作前, 对实习医师进行结构化培训和手术技能的评估是手术教育中的一个重要项目^[3, 14-16]。虚拟现实被认为是一种有价值的培训方法, 国内外已有大量的研究证实虚拟现实培训的正面效应^[17-20]。同时虚拟现实技术也可客观评估实习医生的技术水平, 以便于筛选出已经掌握手术技能或者有潜力的外科医生。

然而, 目前流行的虚拟现实模拟系统都倾向于高价位, 这就限制了此项技术的推广和使用。另一个缺点是现在大多数设备属大型设备, 移动性很差, 离开了实验室, 根本无用武之地。而本系统具有便宜、小巧、便携的优点。可以让初学者在医院或在家中利用空闲的时间进行大量的训练, 对于初学者是相当有利的。同时可以将大量的培训浓缩在一个较短的时期内, 从而迅速提升技能^[7]。在国内外, 每年从医学院毕业大量的医学生, 此项技术可以为他们提供岗前培训, 让他们在未进入临床工作之前, 就已经对关节镜技术了如指掌。如果能开发出系列产品, 也将对医学其他学科内镜技术的发展起到推动作用^[7]。

对于已掌握部分关节镜操作技术的医生而言, 如果不频繁练习, 随着时间的推移, 基本技术会逐渐退化。尤其是在基层医务工作重, 一个医生做完一例手术之

后, 往往要经过很长的时间, 才能再次遇到相类似的手术病例。而对于关节镜这种对手感和方向感要求相当严格的手术操作技术来说, 通过使用较简单的模拟系统经常性地训练手眼协作能力, 是有效地保留技术, 提高医疗效果的重要手段^[21-24]。

在实验中, 作者应用球杆式的外部设备, 能更好更精确的响应操作者的动作, 应用3D max建模技术建立的静态及动态模型, 有助于真实的显示解剖结构, 逼真的模拟病变结构。虚拟系统在经多次实践操作之后, 证明具有高仿真度, 结构简单, 设计合理, 稳定性高, 使用方便。在系统的操作过程中, 系统能够实现手术操作方向和视触感的真实模拟, 甚至能够应用于手术的预练习中。另外, 由于本系统所用硬件全部为成本低廉的常规电子配件, 能够大批量生产, 适用于大规模的教学和培训。本设备还可以应用于类似内窥镜的设备中, 具有广泛的使用面。因此, 相对于现有其他内镜技术和虚拟设备, 本装置具有更高的真实效果, 更易于推广和使用, 对培养熟练的内镜手术医师将起到重要的推动作用^[25-27]。因此, 总结本系统有别于其他设备的最大的优点是结构轻便, 经济实用, 大部分应用者都能体会到这一点。

虽然大部分人对本系统比较满意, 也有少数人提出如果有力反馈功能将更为理想, 所谓力反馈是指操作虚拟系统的过程中, 设备对手具备一定的阻力, 模拟真实手术操作过程中碰撞到各种组织时的手感。但目前力反馈并非本培训设备的重点, 因为力反馈在手术中的作用和意义并不清楚。此外, 由于增加了对硬件的要求, 在相当程度上将增加费用。这些硬件的扩增将降低系统的简易性, 加上费用的增加, 将失去了本模拟系统的宗旨^[28-29]。另外, 也有不少人认为本系统的深度感觉不强, 主要是因为系统的外设的材料未能经得起多次的摩擦, 伸缩不太自如引起。在未来的设计中, 作者将改进材料, 使系统部件的外表面更为光滑, 摩擦力更小, 为使用者制造更好的实践操作设备。取得更好的学习效果^[30-32]。

基金资助: 科学研究基金项目: 广东省医学科研基金(B2010054)。

作者贡献: 设计、实施、评估者分别为第一、二、三作者。非盲法评估。

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: 参与实验的受试者均为自愿参加, 对实验过程完全知情同意。

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

- [1] Wang LD. Zhongguo Jiaoxing Waike Zazhi. 2009;17 (19): 1447-1448.
王立德. 我国膝关节镜外科发展的历史进程[J]. 中国矫形外科杂志, 2009, 17(19):1447-1448.
- [2] Bigony L. Arthroscopic surgery: a historical perspective. Orthopaedic Nursing. 2008;27(6):349-354, quiz 355-356.
- [3] Andersen C, Winding TN, Vesterby MS. Development of simulated arthroscopic skills. Acta Orthop. 2011;82(1): 90-95.
- [4] Zhang H. Xibei Yixue Jiaoyu. 2010;18(01):48-51.
张晗. 虚拟现实技术在医学教育中的应用探讨[J]. 西北医学教育, 2010, 18(01):48-51.
- [5] Rosen JM, Soltanian H, Redett R, et al. Evolution of virtual reality. IEEE Engineering in Medical and Biology. 1996;15(2): 16-22.
- [6] Justo-Janeiro JM, Pedroza-Meléndez A, et al. A new laparoscopic simulator. Cir Cir. 2007;75(1):19-23.
- [7] Pedowitz RA, Esch J, Snyder S. Evaluation of a virtual reality simulator for arthroscopy skills development. Arthroscopy. 2002;18:E2
- [8] Verdaasdonk EG, Stassen LP, Schijven MP, et al. Construct validity and assessment of the learning curve for the SIMENDO endoscopic simulator. Surg Endosc. 2007;21(8): 1406-1412.
- [9] Maher SA, Rodeo SA, Doty SB, et al. Evaluation of a porous polyurethane scaffold in a partial meniscal defect ovine model. Arthroscopy. 2010; 26(11):1510-1519.
- [10] Scanzello CR, McKeon B, Swaim BH, et al. Synovial inflammation in patients undergoing arthroscopic meniscectomy: molecular characterization and relationship to symptoms. Arthritis Rheum. 2011;63(2):391-400.
- [11] Thein R, Haviv B, Kidron A, et al. Intra-articular injection of hyaluronic acid following arthroscopic partial meniscectomy of the knee. Orthopedics. 2010;33(10):724.
- [12] Han SB, Shetty GM, Lee DH, et al. Unfavorable results of partial meniscectomy for complete posterior medial meniscus root tear with early osteoarthritis: a 5- to 8-year follow-up study. Arthroscopy. 2010; 26(10):1326-1332.
- [13] Sturnieks DL, Besier TF, Mills PM, et al. Knee joint biomechanics following arthroscopic partial meniscectomy. J Orthop Res. 2008; 26(8):1075-1080.
- [14] Bu JM, Fan LH, Xiao Y. Zhongguo Yiliao Shebei. 2009;24(11): 62-63, 47.
步金梅, 范林华, 肖毅. 计算机仿真技术在临床教学中的应用研究 [J]. 中国医疗设备, 2009;24(11):62-63, 47.
- [15] Howell SM. The role of arthroscopy in treating osteoarthritis of the knee in the older patient. Orthopedics. 2010;33(9):652.

- [16] Spahn G, Klinger HM, Mückley T, et al. Four-year results from a randomized controlled study of knee chondroplasty with concomitant medial meniscectomy: mechanical debridement versus radiofrequency chondroplasty. *Arthroscopy*. 2010;26(9 Suppl):S73-80.
- [17] Netravali NA, Giori NJ, Andriacchi TP. Partial medial meniscectomy and rotational differences at the knee during walking. *J Biomech*. 2010;43(15): 2948-2953.
- [18] Zhang Y, Liu GT, Zhang ZH. *Zhongguo Yiliao Shebei*. 2010; 25(06):69-71,74.
张媛, 刘国通, 张志华. 消化内镜模拟训练系统在医师培训中的应用[J]. *中国医疗设备*, 2010, 25(06):69-71, 74.
- [19] Fisher L, Ormonde DG, Riley RH, et al. Endoscopic skills training in a simulated clinical setting. *Simul Healthc*. 2010;5(4):232-237.
- [20] López-Vázquez E, Juan JA, Vila E, et al. Reconstruction of the anterior cruciate ligament with a Dacron prosthesis. *J Bone Joint Surg Am*. 1991;73(9):1294-300
- [21] Tan K, Guo GY, Pan XH, et al. *Jisuanji Fangzhen*. 2009;26(12): 290-293, 324.
谭珂, 郭光友, 潘新华, 等. 膝关节镜手术仿真训练系统设计[J]. *计算机仿真*, 2009, 26(12):290-293, 324.
- [22] Luo W, Li SS. *Shengwu Yixue Gongchengxue Jinzhan*. 2010; 31(03):149-152.
罗伟, 李珊珊. 仿真手术刀在虚拟外科手术系统中的应用与研究[J]. *生物医学工程学进展*, 2010, 31(03):149-152.
- [23] Gketsis ZE, Tzagkas D, Hatziliadis PV, et al. Laparoscopic image analysis for robotic arm guidance. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2006;1:148-151.
- [24] Wang YK, Zhu JF. *Zhangao Weichuang Waikexue*. 2010; 10(3):278-280.
王永坤, 朱江帆. 虚拟内镜技术在消化系统疾病诊断中的应用[J]. *中国微创外科杂志*, 2010, 10(03):278-280.
- [25] Spahn G, Klinger HM, Mückley T, et al. Four-year results from a randomized controlled study of knee chondroplasty with concomitant medial meniscectomy: mechanical debridement versus radiofrequency chondroplasty. *Arthroscopy*. 2010;26(9 Suppl):S73-80.
- [26] Netravali NA, Giori NJ, Andriacchi TP. Partial medial meniscectomy and rotational differences at the knee during walking. *J Biomech*. 2010;43(15): 2948-2953.
- [27] Stein T, Mehling AP, Welsch F, et al. Long-term outcome after arthroscopic meniscal repair versus arthroscopic partial meniscectomy for traumatic meniscal tears. *Am J Sports Med*. 2010;38(8):1542-1548.
- [28] Justo-Janeiro JM, Pedroza-Meléndez A, et al. A new laparoscopic simulator. *Cir Cir*. 2007;75(1):19-23.
- [29] Vosburgh KG, San José Estépar R, et al. Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES): an opportunity for augmented reality guidance. *Stud Health Technol Inform*. 2007;125:485-490.
- [30] Xiong YS, Xu K, Wang YZ, et al. *Guofang Keji Daxue Xuebao*. 2007;29(1):66-72.
熊岳山, 徐凯, 王彦臻, 等. 虚拟膝关节镜手术仿真系统的关键技术研究[J]. *国防科技大学学报*, 2007, 29(1):66-72.
- [31] Xie XH, Chen WJ. *Xiandai Dianzi Jishu*. 2012, 35(18):139-145.
谢晓辉, 陈为坚. 虚拟关节内窥镜手术训练系统[J]. *现代电子技术*, 2012, 35(18):139-145.
- [32] Fan LD, Li SG, Zhang ZG, et al. *Changshang Waikexue*. 2008;10(6):567-570.
范立冬, 李曙光, 张治刚, 等. 虚拟现实技术在医学训练中的应用[J]. *创伤外科杂志*, 2008, 10(6):567-570.