·康复教育·

虚拟仿真技术在《人体运动与控制学》教学中的运用效果分析*

朱翔宇[1] 汪雪峰[1] 王佳颖[1] 李龙女[1] 李文迅[1,2] 陈静漪[1,2] 陈朝晖[1] 黄怡然[1] 胡志伟[1]

《人体运动与控制学》的内容、特点及教学要求:《人体运动与控制学》是康复治疗学一门重要的基础专业课,包含人体的功能解剖学、生物力学、运动与心肺功能、运动控制与步态等内容,主要研究人体活动的运动规律,重点要求学生掌握人体的生物学特征、生理功能、形态特点和组织性状,增强对力与人体结构和系统的力学特点及其与人体功能关系的理解,提高学生康复治疗的实践操作能力[1]。随着近年来康复治疗学或者康复治疗技术专业教育在国内的迅速开设,《人体运动与控制学》越来越得到重视,但是如何将该课程形象生动地展现给学生,仍然是亟待解决的问题。

传统教学方法多采用理论讲授为主,再辅以教科书、图谱、模型等,在一定程度上满足了学生的需求,但仍存在较多不足,例如,教学资源有限,随着医学生数量的逐渐增多,难以满足学生对教学资源的需求[2];教学模式单一,传统的板书与多媒体结合,未能根据学生的学习特点针对性的创新,不利于激发学生的学习兴趣;教学课时不足,受时间和空间的限制,学生的学习时间达不到医学生实际的需求;记忆难度大,传统教学模式下,学生被动接受大量解剖及生物力学等相关知识,对身体肌肉、关节、骨骼的位置、功能及其之间的相互关系的记忆较为困难,难以在临床实践中熟练的运用[3—7]。

虚拟仿真技术的应用在一定程度上有利于弥补传统教学方法的不足,首先,虚拟仿真技术可塑性高,比传统实物教学更新成本低[8];其次,虚拟仿真技术特有的人机交互性,使得教学过程更具趣味性,一改传统教学中单一的教学方式,操作性较强,且没有时间的限制,不受传统课堂教学中课时的影响[9];第三,虚拟仿真技术能将理论、实践紧密结合,带给学生临床实践、人体活动规律演示的真实感受,且技术要求没有空间限制,能够提高康复教学质量[10]。

为此,我们在传统教学方法的基础上,在《人体运动与控制学》教学中融入虚拟仿真技术进行演示讲解,对比传统教学方法组和传统教学结合虚拟仿真教学方法组学生的理论课成绩、实践课成绩、自主学习能力,以期为课堂教学改革提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 对象与分组

选取北京中医药大学2017级与2019级康复治疗学专业学生113例为研究对象,将学生分为对照组和试验组。2017级为对照组,共59例,男性19例,女性40例;2019级为试验组,共54例,男性20例,女性34例。纳入标准:①北京中医药大学2017级与2019级康复治疗学专业学生,均为大二的时候学习《人体运动与控制学》课程,且均为理科生,已完成高等数学课程,有一定理工科基础;②学生学习《人体运动与控制学》之前均未接触或学习过该课程相关内容;③试验组学生均配合并服从老师安排。

排除标准:①入组前学习或接触过《人体运动与控制学》课程或实践操作者;②不配合或不服从老师安排者;③没有条件使用电脑或智能手机者以及不会使用虚拟仿真系统者;两组学生一般资料比较差异无显著性意义(P>0.05),具有可比性,见表1。

表1 研究对象一般情况 ($\bar{x}\pm s$)

项目	2017级康复(n=59)	2019级康复(n=54)	P值
学生人数	59	54	-
年龄(岁)	22.15±0.64	20.26±0.71	-
性别(男/女)	19/40	20/34	0.593
生理学成绩(分)	77.88±9.87	77.37±12.93	0.554
正常人体解剖学成绩(分)	82.70±6.54	81.26±12.28	0.322

1.2 教学方法

两组学生均由相同的资深教师进行《人体运动与控制学》课程授课,两组教材均选择《人体运动学》(第2版),人民卫生出版社出版,教学内容和教学进度保持一致。对照组和试验组的理论课课时均为70学时,实践操作课时均为20学时,两组学生上课时间一致。

对照组的教学方案为教师采用传统的PPT和多媒体手段进行理论知识的讲解和采用现场操作示教的方法进行实践技能教学;试验组教学方案为,在理论知识教学时,教师在传统教学方法的基础上,结合3D-body虚拟仿真系统(版本号:8.5.1)进行讲解;在进行实践技能教学时,学生操作学习

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.09.013
*基金项目:教育部产学合作协同育人项目
1 北京中医药大学针灸推拿学院,北京市,100029; 2 通讯作者
第一作者简介:朱翔宇,女,博士,讲师;收稿日期:2021-05-23

过程中，允许学生结合3D-body虚拟仿真系统定位人体静止和运动时的骨骼、肌肉、神经等部位，达到巩固复习的目的。

教师借助虚拟仿真技术主要完成以下授课内容：①由表及里、由整体到局部、分层分部演示人体解剖学空间结构，对肌肉骨骼的排布规律、肌肉附着点和神经解剖进行演示讲解，帮助学生建立局部的层次概念和各结构之间的关系。②演示人体运动中，骨骼、关节、肌肉和神经的位置关系以及变化，增强学生对力与人体结构和系统的力学特点及其与人体功能关系的理解[11]，促进学生对神经控制人体运动的基本规律的了解。运用生物力学和生理学的基本原理进行讲解，帮助学生掌握人体运动中骨骼杠杆如何运用；原动肌、拮抗肌、固定肌和中和肌的协作关系；感受器、传入神经、大脑中枢、传出神经和效应器对人体运动的控制过程等课程重点难点内容。

学生借助虚拟仿真技术主要完成以下学习内容：①课上可以使用手机或电脑跟随教师同步进行观察，更加直观的了解人体解剖学空间结构及人体运动规律。②课后学习中结合虚拟仿真技术巩固课上学习内容。③课前结合虚拟仿真技术进行预习。④实操实践时，利用虚拟仿真技术定位人体静止状态或者运动状态下的骨骼、肌肉、神经等内容。

1.3 考核方法

1.3.1 理论考核与实践考核：理论考核内容为闭卷笔试。考试题型包括单选题、多选题、名词解释、简答题、论述题和案例分析题。实践考试为学生通过抽签的方式对抽到的运动动作进行动作分析。

1.3.2 学生对虚拟仿真系统满意度调查：根据参考文献[12]设计调查表，调查试验组学生使用虚拟仿真系统的满意度。调查内容包括提高技能操作能力、激发学习兴趣、提高自学能力、提高临床诊断能力和提高课题理解能力四个方面，每个方面分为“非常满意”“满意”和“不满意”，满意度=(非常满意+满意)/总人数。

1.3.3 学生自主学习能力调查：理论考核和实践考核结束后，采用医学生自主学习能力测评量表[13]对试验组和对照组学生进行自主学习能力调查，一级指标包括自我动机信念和客观行为2个维度，其中自我动机信念包括2个二级指标、8个三级指标，客观行为维度包括4个二级指标、22个3级指标。共30个条目，每个条目均为正向记分选择题，采用Likert量表的5级反映制，即“完全不符合”“不符合”“一般”“基本符合”“完全符合”5级，相应分值为1分、2分、3分、4分、5分。

1.4 统计学分析

采用SPSS26.0统计软件，计量资料以均数±标准差表示，计数资料以百分率表示。根据数据是否符合正态分布分别采用t检验和秩和检验，计数资料采用χ^2检验，检验水准$\alpha=0.05$，$P<0.05$为差异有显著性意义。

2 结果

2.1 两组学生理论与实践考核得分比较

试验组《人体运动与控制学》理论考试成绩为(78.650±4.570)分，实践考试分数为(98.320±1.100)分；对照组学生《人体运动与控制学》理论考试成绩为(74.640±12.330)分，实践考试分数为(83.710±7.520)分，试验组的成绩均高于对照组，差异有显著性意义($P<0.05$)，见表2。

2.2 试验组学生对虚拟仿真系统满意度调查结果

对55例试验组学生使用虚拟仿真技术虚拟仿真系统的满意度进行调查，在五个调查项目中，学生在提高技能操作能力、激发学习兴趣、提高自学能力、提高课题理解能力方面满意度分别为98%、96%、98%、96%，见表3。

2.3 两组学生自主学习能力测评比较

通过对试验组和对照组学生自主学习能力比较，一级指标中，试验组学生自我动机信念得分为(32.11±4.25)分，对照组学生自我动机信念得分为(29.31±5.30)分；二级指标中，试验组学生自我动机得分为(20.44±2.68)分，对照组自我动机得分为(18.19±3.78)分，试验组学生得分均显著高于对照组学生，两者间的差异非常显著，具有显著性意义($P<0.01$)。一级指标中客观行为和二级指标中学习信念、制定学习目标及计划、自我监测与调节、信息处理、交流合作，以及两组学生自主学习能力测评总分均不能说明两个研究对象之间存在明显差异($P\geq0.05$)，见表4。

3 讨论

《人体运动与控制学》教学的核心问题在于能否让学生理解力与人体结构和系统的力学特点以及其与人体功能关系并在实践中熟练运用。目前国内部分学者针对康复专业教学中存在的问题，探索新的教学方法和教学模式，例如PBL、CBL、SBL和TBL教学法以及基于MOOC的混合教学模式[14—20]，这些教学方法和教学模式各有一定的优势，但仍然未能有效解决教学中的核心问题。

近年来，随着三维虚拟仿真技术的不断发展，虚拟仿真

表2 研究对象理论与实践考核得分比较 （分）

成绩	对照组 (n=59)	试验组 (n=54)	P值
理论成绩	74.640±12.330	78.650±4.570	0.023
实践成绩	83.710±7.520	98.320±1.100	0.000

表3 试验组学生对虚拟仿真系统满意度结果调查

调查项目	非常满意 (例)	满意 (例)	不满意 (例)	满意度 (%)
提高技能操作能力	41	12	1	98
激发学习兴趣	39	13	2	96
提高自学能力	40	13	1	98
提高课程理解能力	40	12	2	96

表4 2017与2019级学生自主学习能力比较 ($\bar{x}\pm s$,分)

一级指标	二级指标	对照组	试验组	t值	P值
自我动机信念		29.310±5.299	32.110±4.254	- 3.116	0.002
	自我动机	18.190±3.781	20.440±2.682	- 3.685	0.000
	学习信念	11.120±1.867	11.670±2.000	- 1.502	0.136
客观行为		77.530±12.438	78.110±10.641	- 0.270	0.788
	制定学习目标及计划	13.200±2.827	12.670±2.606	1.046	0.298
	自我监测与调节	25.150±4.180	26.000±3.846	- 1.122	0.264
	信息处理	14.440±2.486	13.460±2.766	1.979	0.050
	交流合作	24.730±4.189	25.980±3.663	- 1.696	0.093
	总分	106.830±16.33	106.830±16.326	110.220±13.753	- 1.198

系统被广泛应用于国内外医学教学及临床领域,尤其在理论教学方面更为突出[21—23]。虚拟仿真技术结合了虚拟现实、人机交互、多媒体及网络通信等多种关键技术,在虚拟环境中构建完整的人体解剖系统,具有交互性、逼真性等特点[24]。本研究将虚拟仿真系统应用于《人体运动与控制学》教学中,将传统教学与虚拟仿真技术有机结合地起来,以期为提高《人体运动与控制学》课程的教学质量提供理论依据。

3.1 教学中应用虚拟仿真技术有利于提高学生理论成绩和实践操作能力

本研究发现试验组的理论考核得分与实践考核得分均明显高于对照组($P<0.05$),提示虚拟仿真技术可提高学生理论知识考核及实践操作能力。主要原因可能有以下三点:首先是与传统教科书图表、照片、数字CT和MRI扫描等二维成像方法相比,虚拟仿真技术最明显的优点是能够从三维水平多角度观察不同解剖结构之间的空间关系[25],帮助教师将骨骼肌肉系统的生物力学特征和运动控制情景生动的展示出来,便于教师讲解复杂的解剖结构,加深学生的理解和记忆[26],使学生更好的将理论知识运用在运动分析与实践操作中[17]。其次,传统教学方法中教学资源有限,学生离开课堂和试验室后,难以对学过的知识进行有效的复习,而虚拟仿真技术可以打破时间和空间的限制,学生使用智能手机、平板电脑等移动端口便可随时随地的学习,增加了自主学习时间,另一方面虚拟仿真技术可以帮助学生及时回顾课堂上的知识,依据自己的进度进行课前预习和课后复习,有效提升学习的效率[27]。此外,运动控制与运动分析的基本理论是《人体运动与控制学》的教学重点,是各种神经肌肉促进技术的理论基础[28],传统的教学方法枯燥且难以理解,而虚拟仿真技术通过形象的展示各种运动控制情景,帮助学生理解系统的运动控制理论,掌握正确的分析方法。

3.2 学生对虚拟仿真系统的主观满意度情况分析

试验组学生对虚拟仿真技术满意度调查结果显示,在提高技能操作能力、提高自学能力方面满意度均达到98%,在激发学习兴趣、提高课题理解能力方面满意度均达到96%,说明试验组大部分学生认可虚拟仿真系统,其原因值得进一步分析。

3.2.1 虚拟仿真技术有利于激发学生学习兴趣:虚拟仿真技术可将文字、图片、视频等信息多样化整合起来,并且提供解剖图像的放大、缩小和翻转等功能,具备良好的多样性、交互性与共享性,可以有效激发学生的学习兴趣,发挥个人的主观能动性,此外,虚拟仿真技术拓展了学习的空间和时限,便于学生自主安排学习时间和地点,帮助学生课前预习所学知识以及课后针对性地复习巩固薄弱知识点[29],在一定程度上提升学生的自主学习能力。

3.2.2 虚拟仿真技术有利于提升课程理解能力:人体是一个立体结构,二维的图像对于学生课后学习有一定的不足。虚拟仿真技术通过其三维效果,让学生可以更加直观地了解人体的三维立体结构,帮助学生在头脑中建立起一套三维的人体模型,学生可以多角度旋转人体,形成清晰的层次感和立体感,使复杂难懂的解剖学器官的位置、形态像动态图片一样活灵活现在眼前,能将学生学习中遇到枯燥的解剖文字以形象的三维立体结构呈现出来,从而建立良好的局部到整体的构象,提升学生的课程理解能力[30—32]。

3.2.3 虚拟仿真技术有利于提技术操作能力:从《人体运动与控制学》教学的角度来看,重点要求学生在掌握良好生物力学、解剖学知识的基础上,正确理解运动控制理论与运动分析方法。虚拟仿真技术的虚拟人体不但立体直观展现人体三维立体结构,提升学生理论知识水平,而且形象地展示人体在不同运动情景下的解剖结构,帮助学生分析运动动作产生的基本原理及功能障碍的产生原因,提高学生的技术操作能力[33]。

3.3 虚拟仿真系统可以激发学生的自主学习动机,但不能有效提高自主学习能力

本研究发现,两组学生自主学习动机的差异有显著性意义,但自主学习能力差异无显著性意义。学生满意度调查问卷和医学生自主学习能力测评量表结果均显示虚拟仿真技术能够激发学生学习兴趣。首先,虚拟仿真技术能够强化学生的好奇心。虚拟仿真技术完全基于三维数字模型创建,以新颖的手机画面、便捷的信息显示,使学生的学习变得更为

简单和快乐,从而激发学生对人体运动与控制学的学习好奇心。其次,虚拟仿真技术能够让学生更充分参与到教学中。传统的以多媒体教学为主的教育活动基本以老师教授学生聆听为主,这样的教育方式虽然紧跟老师的授课计划,但缺少课堂互动性。而虚拟仿真技术的自主学习方式则可以促进从传统以教师为中心到以学生为中心的教育教学方法的改变,充分调动学生的积极性,从而激发学生学习兴趣。同时,虚拟仿真技术还能通过构建和谐的师生关系起到提高学生学习兴趣的作用。使用虚拟仿真技术可以加强学生间、师生间的交流与沟通,起到共同学习、共同进步、教学相长的作用,从而构建和谐师生关系,激发学生学习兴趣。

本研究研究对象均为理工科学生,两组学生均具备使用虚拟仿真系统的基础,能尽快掌握操作方法,但虚拟仿真系统不能有效提高自主学习能力,这可能是因为学生脱离了老师的监管后,没有进行及时的复习,缺少学习的自我动机和信念,获取和处理信息以及交流合作能力下降,即使使用了新的方法也无济于事。对此,我们仍需进一步探索虚拟仿真技术在教学中的应用方法,综合多种教学模式,采用定性和定量的分析方法检测学习结果,逐步解决教学中的问题[34]。

4 小结

随着教育教学改革理念的不断更新,国内部分学者积极探索新的教学方法和教学模式,且逐渐注重多种教学方法的融合以及互联网技术的运用,如以问题、病例为中心的PBL-CBL联合教学法[35],将循证医学理念融入课堂的循证医学教学模式(EBL)[36],基于微信小程序的辅助教学方法[37]和基于MOOC平台的“雨课堂”教学模式[38]。这些教学方法均具有一定优势,但同时存在些许不足。

4.1 相比于其他教学方法,虚拟仿真技术在《人体运动与控制学》教学中具有独特优势

PBL-CBL联合教学法通过以问题和病例为中心,促使学生积极解决问题,培养了学生自主学习和理论结合实际的能力,但存在学生难以理解深奥的解剖结构的问题;循证医学教学模式是运用循证思维理念,将最佳的医学研究证据与教师专业技能和学生选择偏好结合,应用于教学中,培养学生的综合实践能力和综合素质,但对教师的专业技能和学生的个人素质要求较高,难以广泛运用;基于微信小程序的辅助教学方法是将教学资源发放于微信小程序辅助平台上,便于学生随时随地获取学习资源,基于MOOC平台的“雨课堂”教学模式是通过MOOC平台建立“课前—课上—课下”的有机联系,实现课堂永不下线的功能,两种教学方法和模式均利用了互联网技术的优势,但由于难以将教学资源完备的整合到网络平台且对教师的网络技术要求较高,限制这种教学方法和模式的普及应用。

虚拟仿真技术更适合《人体运动与控制学》课程。首先,虚拟仿真技术将现实的解剖标本呈现于虚拟的平台上,并且通过模拟肌肉骨骼系统的三维运动,帮助学生理解掌握人体解剖结构的功能和力学特点,第二,虚拟仿真技术可以非常细致的展现人体各种解剖结构,如肌肉骨骼的形态、纹理等,另一方面,可以较为精确的模拟各种运动控制情景,帮助学生提升实践操作能力;第三,虚拟仿真技术拥有丰富的学习资源,便于教师在课上进行演示教学,减小工作量,提高课堂教学效果,利于学生随时随地有针对性的获取学习资源,提高学习效率;最后,虚拟仿真技术可便于学生多角度、多层次的控制解剖结构的放大、缩小、旋转,便于对运动情景的控制,此外老师和学生可借助虚拟仿真技术加强交流,增强交互性。因此,不同于其他教学方法,虚拟仿真技术可以从根本上帮助学生掌握生物力学和人体解剖学知识,理解运动控制与分析理论,进而在康复实践中熟练运用。

4.2 相比较其他课程,《人体运动与控制学》教学可有效利用虚拟仿真技术,提高教学效果

以往研究发现,虚拟仿真技术应用于运动人体科学试验课、解剖学教学、人体解剖生理学试验、运动学等课程中,取得了较好地教学效果。这些课程的共同点是均以解剖学知识为基础开展教学,《人体运动与控制学》教学与上述课程有相同的教学目标,即要求学生掌握扎实的功能解剖学基础知识,因为只有对人体各部位解剖结构及其功能特点有深刻的把握,才能准确分析各种正常和异常动作的特点及产生的原因。

《人体运动与控制学》教学着力培养学生问题分析解决的能力,需要学生准确理解运动控制及分析理论。虚拟仿真技术可以通过演示各种运动控制情景,帮助学生深入认识运动控制分析理论。同时《人体运动与控制学》教学注重培养学生独立探索能力。虚拟仿真系统的运用有利于构建以学生为中心的教学模式,充分利用现代化技术,减小教学资源不足等问题,培养以学生发现问题后的独立探索的能力[39—40]。

4.3 虚拟仿真技术仍需进一步改革和探索

虚拟仿真技术的运用可显著提高学生的理论成绩和实践操作能力,有利于激发学生的学习兴趣,但虚拟仿真技术存在一定的缺点:第一,在教学中,虚拟仿真技术所呈现的部分人体组织与实物之间存在一定差异,且由于一定的技术原因,部分结构的展示仍不够清晰,尚未达到完全模拟真实情况的效果。第二,在进行实践教学的课程中,虚拟仿真技术虽存在便捷性、高效性,但却无法模仿现实运动中的复杂运动环境和可能出现的损伤或者意外情况,不利于培养学生的应变能力。第三,实现虚拟仿真技术效果的设备,如平板电脑等,可能造成使用者出现诸如视力下降、头晕头痛等症状,对使用者的健康状况造成一定影响。

综上所述,虚拟仿真技术能提高《人体运动与控制学》的教学效果,激发学生学习兴趣,发挥其主观能动性,提高学生满意度,但同时仍需进一步改革和探索,以便在教学中推广。

参考文献

[1] 戴红.人体运动学[M].第1版.北京:人民卫生出版社,2008:23—198.

[2] 邱国荣,魏晓燕.现代教育技术与运动人体科学类课程的整合探析[J].重庆文理学院学报(自然科学版),2006,5(3):74—76.

[3] 阳凤,尹德锋,刘英,等.PBL+EBM、MOOC联合教学模式与传统教学模式的对比研究[J].西南军医,2020,22(5):493—495.

[4] 任凯,牟杨,叶陈.基于工作过程的高职康复专业运动学基础精品课程建设与实践[J].卫生职业教育,2019,37(15):37—39.

[5] 刘琼,张韦深,付裕,等.医学虚拟仿真试验教学平台建设的探索[J].高校医学教学研究(电子版),2016,6(2):17—20.

[6] 王晓慧,高振平,杨津,等.坚持多媒体教学模式和传统教学模式相结合提高人体解剖学教学效果[J].解剖学研究,2013,35(3):234—235.

[7] 王琴,王爱梅.医学虚拟仿真试验教学资源的建设与应用实践研究[J].高校医学教学研究(电子版),2015,5(4):23—26.

[8] Yang Min.Research on online course information acquisition of engineering cost based on virtual simulation technology[J].Journal of Physics,2021,1881(4):1742—1747.

[9] 周丽芬,马宁芳,章喜明,等.基础医学虚拟仿真试验教学资源建设及教学软件研发与应用[J].基础医学教育,2019,21(8):666—670.

[10] Mackay BJ,Anderson J,Harding T.Mobile technology in clinical teaching[J].Nurse Education in Practice,2017,22(1):1—6.

[11] 陈菁,谢菊英,李淑珍,等.Visible body虚拟解剖平台在《中国传统康复治疗学》实践教学中的运用效果分析[J].时珍国医国药,2020,31(5):1223—1226.

[12] 林毅,姜安丽.护理专业大学生自主学习能力测评量表的研制[J].解放军护理杂志,2004,21(6):1.

[13] 王小丹,汤刚琴,王素珍,等.医学生自主学习能力测评量表的构建[J].中国健康心理学杂志,2014,22(7):1034—1037.

[14] 张永强,韩小钗,何宇,等.PBL教学法在康复治疗学教学实践的应用研究[J].中国中医药现代远程教育,2020,18(22):38—40.

[15] 袁英,黄小波,汪洁,等.案例教学法在康复住院医师规范化培训中的应用[J].中国康复,2017,32(5):438—440.

[16] 周璇,杜青,杨晓颜,等.模拟教学法在康复医学教学中的应用[J].中华物理医学与康复杂志,2020,42(12):1124—1126.

[17] 周云,王锋,张全兵.基于团队学习的预录和现场模拟康复医学科本科实习生教学效果分析[J].中国康复医学杂志,2020,35(10):1235—1237.

[18] 李古强,张晓明,姜影,等.康复治疗学专业《人体运动学》课程教学的几点思考[J].中国康复医学杂志,2017,32(12):1406—1410.

[19] 王永亮,滕元姬.康复治疗专业人体运动学课程应用案例教学模式的探讨[J].内江科技,2018,39(12):73—75.

[20] 谢羽婕,张驰,汪丽,等.TBL教学模式对康复治疗学本科生教学效果的影响[J].中国康复,2020,35(4):217—220.

[21] 梁冉,余瑞琦,李敏,等.虚拟仿真技术在医学领域中的应用[J].卫生职业教育,2020,38(22):153—156.

[22] Bernhard P,Patrick S.A survey of virtual human anatomy education systems[J].Computers & Graphics,2018,218(2018):132—153.

[23] Radianti J,Majchrzak TA,Fromm J,et al.A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education:Design elements,lessons learned,and research agenda[J].Computers & Education,2020,147(C):1—29.

[24] 陈丹,刘小菊,张美芝.浅析虚拟仿真技术在人体解剖试验教学中的应用[J].解剖学研究,2018,40(3):227—229.

[25] Yammine K,Violato C.A meta-analysis of the educational effectiveness of three-dimensional visualization technologies in teaching anatomy[J].Anatomical Sciences Education,2015,8(6):525—538.

[26] Deng XH,Zhou GW,Xiao B,et al.Effectiveness evaluation of digital virtual simulation application in teaching of gross anatomy[J].Annals of Anatomy,2018,2(15):276—282.

[27] Mitrousias V,Varitimidis SE,Hantes ME,et al.Anatomy learning from prosected cadaveric specimens versus three-dimensional software:A comparative study of upper limb anatomy[J].Annals of Anatomy,2018,2(14):156—164.

[28] 王艳秋,刘奚,孙德鹏,等.探究虚拟仿真技术在人体解剖试验教学中的应用[J].世界最新医学信息文摘,2019,19(35):320.

[29] 张齐,周国伟,贺毅呈,等.数字化虚拟仿真在局部解剖学教学中的应用[J].解剖学杂志,2018,41(1):109—111.

[30] Bogomolova Katerina,Sam Amir H,Misky Adam T,et al.Development of a virtual three-dimensional assessment scenario for anatomical education[J].Anatomical Sciences Education,2021,14(3):385—393.

[31] 王勇,杜赵康,张秀君.三维数字化虚拟人体在解剖学教学中的初探[J].四川解剖学杂志,2015,23(1):54+58.

[32] 方振华,王锐萍,傅丽容,等.虚拟仿真技术在人体解剖生理学试验教学中的应用[J].教育现代化,2017,4(34):150—151.

[33] Alhaqwi AI,Taha WS.Promoting excellence in teaching and learning in clinical education[J].Journal of Taibah University Medical Sciences,2015,10(1):97—101.

[34] Elizabeth OJ,Antonia VC,Theodore GT.Modernization of an anatomy class:from conceptualization to implementation:a case for integrated multimodal-multidisciplinary teaching[J].Anatomical Sciences Education,2012,5(6):354—366.

[35] 刘苏,郭爱松,吴勤峰,等.PBL联合CBL教学在人体运动学试验课中的应用[J].中华医学教育探索杂志,2017,16(11):1116—1119.

[36] 魏妍妍,王慧灵,王颖婉.循证医学在康复医学教学规范化中的应用[J].按摩与康复医学,2020,11(24):85—87.

[37] 汪宗保,姚长风,张雷,等.基于微信小程序的人体运动学课程辅助教学平台设计[J].滁州学院学报,2020,22(2):118—121.

[38] 林星星,董宝强,王树东,等.基于雨课堂的人体运动学教学设计与应用[J].中国中医药现代远程教育,2020,18(2):34—36.

[39] 王益光,刘建明,崔星慧,等.医学虚拟仿真试验平台的构建与实践[J].试验室研究与探索,2017,36(12):218—222.

[40] 付彤,刘宁宁,吴志勇.康复治疗专业《人体运动学》课程探析[J].当代体育科技,2015,5(32):18+20.