

第二批国家级一流本科课程申报书 (虚拟仿真实验教学课程)

课程名称: 脊柱运动康复生物力学

虚拟仿真实验

专业类代码: 0402

负责人: 宋雅伟

联系电话: 18951759150

申报学校: 南京体育学院

填表日期: 2021. 06. 01

推荐单位: 南京体育学院

中华人民共和国教育部制

二〇二一年四月

填报说明

1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2020）》中的专业类代码（四位数字）。

2.文中○为单选；□可多选。

3.团队主要成员一般为近5年内讲授该课程教师。

4.文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。

5.具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留存备查，国家级评审以网络提交的电子版为准。

6.涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

1. 基本情况

实验名称	脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验	是否曾被推荐	○是●否
实验所属课程 (可填多个)	《运动康复生物力学》		
性质	○独立实验课 ●课程实验		
实验对应专业	运动人体科学；运动康复学；康复治疗学		
实验类型	○基础练习型 ●综合设计型 ○研究探索型 ○其他		
虚拟仿真必要性	☐ 高危或极端环境 ☒ 高成本、高消耗 ☐ 不可逆操作 ☒ 大型综合训练		
实验语言	●中文 ○中文+外文字幕（语种） ○外文（语种）		
实验已开设期次	共 4 次： 1. 时间：2017 年 9 月 1 日、人数：170 人 2. 时间：2018 年 9 月 16 日、人数：190 人 3. 时间：2019 年 9 月 10 日、人数：200 人 4. 时间：2020 年 9 月 5 日、人数：210 人		
有效链接网址	http://xnfz.nsi.edu.cn/jzyd		

2. 教学服务团队情况

2-1 团队主要成员（含负责人，总人数限 5 人以内）								
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	手机号码	电子邮箱	承担任务
1	宋雅伟	1970.02	南京体育学院	副院长	教授	18951759150	Syw0008@163.com	总体设计
2	钱竞光	1955.08	南京体育学院	无	教授	13809035080	qjg55@yahoo.com.cn	教学管理
3	陈海波	1964.10	南京体育学院	处长	教授	18795863299	1571763992@qq.com	教学管理
4	王金勇	1976.07	南京体育学院	无	副主任医师	19962033166	wjy01007@vip.sina.com	教学服务
5	杨辰	1988.02	南京体育学院	无	讲师	19962033922	obayoung@foxmail.com	教学服务

2-2 团队其他成员						
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	承担任务
1	赵彦	1977. 08	南京体育学院	副院长	副教授	教学服务
2	韩笑	1991. 12	南京中医药大学	无	工程师	技术支持
3	薛莲	1976. 11	南京体育学院	无	副教授	教学服务
4	戎科	1981. 07	南京体育学院	无	实验师	技术支持
5	孙旂然	1991. 05	南京体育学院	无	研究员	教学服务
6	张伊卓	1992. 10	南京体育学院	无	实验师	技术支持
7	郑之钦	1995. 12	南京体育学院	无	研究生	教学助理
8	郑馨语	1992. 03	南京恒点信息技术有限公司	策划主管	无	服务保障
9	邢书恒	1995. 05	南京恒点信息技术有限公司	工程师	无	技术支持
10	孙郑	1999. 04	南京恒点信息技术有限公司	课程策划	无	服务支持
团队总人数： <u>15</u> 人 其中高校人员数量： <u>12</u> 人 企业人员数量： <u>3</u> 人						
2-3 团队主要成员教学情况（限 500 字以内）						
（近 5 年来承担该实验教学任务情况，以及负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况） （1）近 5 年来承担该实验教学任务情况 南京体育学院《运动康复生物力学》是江苏省精品在线开放课程，是运动人体科学、运动康复、康复治疗专业的主干课程之一，《脊柱康复生物力学虚拟仿真实验》是基于该课程设立的虚拟环节实验，并于 2017 年开始上线，为运动人体科学、运动康复、康复治疗学专业学生提供服务，学生人数共计 770 人，也为江苏省学生体质健康监测与干预行动研究中心的学生体质预警及干预提供服务，累积服务 2000 人，获得一致好评。 （2）负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况 负责人宋雅伟，博士，教授，博导，中国体育科学学会会员，江苏省体育科学学会理事，江苏省运动生物力学学会副主任委员，国家体育总局“百人计划”，省“333”工程培养对象，省青蓝工程学科带头人，青蓝工程创新团队带头人。 4 次获中国体育科学学会科学技术奖（二次排名 1），2 次获江苏省多媒体教学课件二等奖，主持与参与国家自然科学基金，国家科技支撑计划，奥运攻关计划、省自然科学基金等多项课题研究。出版专著 4 部，江苏省重点规划教材 2 部，第一作者发表核心期刊论文 30 余篇，参与国内外大会论文报告会 40 余次，获得实用新型专利 20 余项，发明专利 3 项，软件著作权 5 部，EI、sci 检索近 10 篇，指导研究生 6 人获得国家奖学金，指导大学生获江苏省创新创业立项 10 余次，指导学生参加挑战杯、创新创业大赛等，并多次获得省级创新科研竞赛奖励。						

注：必要的技术支持人员可作为团队主要成员；“承担任务”中除填写任务分工内容外，请说明属于在线教学服务人员还是技术支持人员。

3. 实验描述

3-1 实验简介（实验的必要性及实用性，教学设计的合理性，实验系统的先进性）

本实验适应我国健康中国的战略需求,以培养具有专业胜任能力和社会适应能力的新应用型康复人才为目标,课程教学团队依据“能实不虚、虚实结合、相互补充”的将虚拟仿真技术融入到脊柱康复生物力学实验教学中。通过 3D 模型展现设计流程,模拟强化功能认知,以问题为导向推动实验开展,虚实结合,引导学生在虚拟环境中实验,使其更直观的了解脊柱的形态、功能和基本力学规律,并进一步掌握脊柱疾病基本评估方法和康复手段。通过线上虚拟交互理解与线下模拟实践相结合的方式,使零距离、全视角、多维度来认识脊柱运动康复生物力学,加强了理论和实践的双重学习。

1. 实验的必要性及实用性

（1）必要性

1) 健康中国的战略需求

2019 年 7 月,国务院进一步印发了《关于实施健康中国行动的意见》,健康中国行动推进委员会制定颁发《健康中国行动(2019-2030 年)》。《行动》指出政府应“建立针对不同人群、不同环境、不同身体状况的运动促进健康指导方法,推动形成‘体医结合’的疾病管理与健康服务模式。构建运动伤病预防、治疗与急救体系,提高运动伤病防治能力”,这也标志着我国已从国家层面积极应对当前突出的健康问题,不断采取有效干预措施,全面开展预防、治疗、康复、健康促进一体化的服务。

脊柱作为人体的中轴骨,起到支撑、保护、运动等重要作用。但脊柱结构复杂、稳定性较差,意外伤害或长期的不良姿势都可能对脊柱造成严重危害。据报道,我国中老年人群中 97%患有脊柱疾病。近年来,脊柱疾病又呈现出年轻化的趋势,在 40 岁以下的人群中,约有 40%人存在脊柱异常,儿童脊柱侧弯症的发病率高达 25%以上。不良的姿势容易使脊柱长时间处于屈曲位或某些特定体位,这不仅增高了脊柱椎间盘内的压力,也使脊柱周围的肌肉和韧带长期处于不正常的受力状态,以致于发生脊柱形态的异常改变。由于脊柱周围分布着复杂且重要的血管、神经和脊髓组织,这也造成脊柱手术风险较大。因此,针对脊柱疾病的运动康复尤显重要。

2) “运动康复生物力学”是运动康复专业的核心课程

运动康复专业作为体育和医学的交叉、结合的一门新兴的综合性专业,教育部于 2004 年开设了“运动康复与健康”本科专业,专业代码为 100307w,在 2012 年教育部普通高等学校本科专业目录中将“运动康复”作为特设专业,各高校可以

根据自身情况授予教育学或理学学士学位，专业代码为 040206T。

运动康复生物力学是运动科学和康复医学中的重要学科，是该学科理论和实践研究的关键环节。运动康复的生物力学涉及范围广泛，与人体运动和康复治疗相关的教练、医疗和科研人员都需要掌握该领域的基础知识和原理，相关教学与科研需求日益迫切，南京体育学院率先在各高校开设运动康复生物力学课程，《国内首部“运动康复生物力学”教材的编撰与应用》2009 年获江苏省高等教育教学成果奖一等奖。

3) “脊柱运动康复生物力学”实验必须依靠虚拟仿真技术开展

由于脊柱结构的复杂性、力学机制的不确定性、评估的高成本、面向人群的特殊性和康复手段的多样性，使其在实验教学过程中不易直观展现与理解。

实体实验很难进行。主要原因有：①特殊脊柱受伤史的病例需要通过大样本的筛查；②人体脊柱的受力机制理论很难呈现；③有些仪器动辄几十到成百万元，难以普及，不能人人动手操作；④某些实验需要长时间进行干预才能达到预期效果。没有实验，这部分知识又比较枯燥琐碎，很多同学前面学后面忘，因此，脊柱运动康复生物力学的实验教学很难达到良好的效果，学生反应难学，教师反应难教。

基于以上原因，课程教学团队依据“能实不虚、虚实结合、相互补充”的原则，将虚拟仿真技术融入到脊柱康复生物力学实验教学中。通过 3D 模型展现设计流程，情景模拟强化功能认知，以问题为导向推动实验开展，虚实结合，引导学生在虚拟环境中做真实验，使其更直观的了解脊柱的形态、功能和基本力学规律，并进一步掌握脊柱疾病的基本评估方法和康复手段。通过线上虚拟交互理解与线下模拟实践相结合的方式，使学生近距离、全视角、多维度来认识脊柱运动康复生物力学，加强了理论和实践的双重学习体验。

(2) 实用性

实验系统构建的虚拟仿真实验环境，全方位实现了脊柱康复生物力学所有知识点的实验探究，将脊柱结构的复杂性、力学机制的不确定性、评估的高成本、面向人群的特殊性和康复手段的多样性直观呈现，极具可观性和吸引力。解决了实装实验难以组织实施，也无法承受大批量的学生同时实验的难题。有效地拓展了实验内容的深度和广度，提升了康复生物力学的学习效果，凸显了虚拟仿真实验的优势。

依托虚拟仿真实验教学项目，切实拓展了以自主探究为主要形式的实验教学方

法，通过让学生自主设置设计阵列阵型和主要参数，自主实现对随机目标的测向，结合软件的自动评分系统，让学生能够直观看到实验效果，有效调动了学生参与实验教学的积极性和主动性，激发了学生的学习兴趣 and 潜能，推进了探究式教学方法的普遍运用。

2. 教学设计的合理性

本实验选择人体脊柱作为运动康复教学研究的对象，由于脊柱结构的复杂性、力学机制的不确定性、评估的高成本、面向人群的特殊性和康复手段的多样性，使其在实验教学过程中不易直观展现与理解。实体实验很难进行。团队通过运用 3D 模型展现设计流程，情景模拟强化功能认知，以问题为导向推动实验开展，虚实结合，引导学生在虚拟环境中做真实验，使其更直观的了解脊柱的形态、功能和基本力学规律，并进一步掌握脊柱疾病的基本评估方法和康复手段。通过线上虚拟交互理解与线下模拟实践相结合的方式，使学生近距离、全视角、多维度来认识脊柱运动康复生物力学，加强了理论和实践的双重学习体验。符合运动人体科学、康复治疗学，运动康复学专业人才培养目标的要求。

3. 实验系统的先进性

通过虚拟现实、人机交互、数据库和网络通信技术，构建脊柱模型和对象，重现不同体育项目现场的各种场景，利用文字、图片、音频、视频和虚拟交互等方式帮助学生理解实验操作原理和应用实践。

(1) 基于真实实验数据的数值仿真

在“椎间盘受力分析”实验中，学生改变加载速度、加载负荷参数，观察结构“压缩、蠕变”二个状态。首先基于真实实验数据校准了软件计算模型，脊柱结构二个状态实验结果均通过多参数数值模拟得到，保证了仿真实验结果的准确性。为了使实验与真实情况保持-致，特别设计压缩断裂的极限加载情况。

(2) 营造过程的场景动画再现

在脊柱认知环节中，我们搭建 3 维脊柱模型动画，在脊柱形态、功能筛查中，将脊柱的运动形式、肌肉功能、力学及康复的工作条件在后台进行预设，并利用三维仿真技术进行可视化处理，学生则通过前台人性化界面实施相应操作来解决实际问题。

(3) 面向真实原始脊柱结构模型的操作环境

通过对知识点学习采用程序化引导，利用系统向导让学生依序无遗漏学习；我

们在颈椎、胸椎的力学测试环节对抽象难度内容进行后台可视化预设，化难度分析过程为简单判断，通过预设参数，将复杂高难的分析过程化为系列判断，降低学生分析动作与解决设计的难度，帮助学生更精准判断了解与分析可能出现的数值变化，保证了实验结果与真实情况一致。

3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

2019 年 7 月，国务院进一步印发了《关于实施健康中国行动的意见》，健康中国行动推进委员会制定颁发《健康中国行动（2019-2030 年）》。《行动》指出政府应“建立针对不同人群、不同环境、不同身体状况的运动促进健康指导方法，推动形成‘体医结合’的疾病管理与健康服务模式。而脊柱作为人体的中轴骨，起到支撑、保护、运动等重要作用。但脊柱结构复杂、稳定性较差，意外伤害或长期的不良姿势都可能对脊柱造成严重危害。据报道，我国中老年人群中 97% 患有脊柱疾病。近年来，脊柱疾病又呈现出年轻化的趋势，在 40 岁以下的人群中，约有 40% 人存在脊柱异常，儿童脊柱侧弯症的发病率高达 25% 以上。不良的姿势容易使脊柱长时间处于屈曲位或某些特定体位，这不仅增高了脊柱椎间盘内的压力，也使脊柱周围的肌肉和韧带长期处于不正常的受力状态，以致于发生脊柱形态的异常改变。由于脊柱周围分布着复杂且重要的血管、神经和脊髓组织，这也造成脊柱手术风险较大。因此，针对脊柱疾病的运动康复尤显重要。

南京体育学院《运动康复生物力学》是江苏省精品在线课程，是运动人体科学、运动康复、康复治疗专业的主干课程之一，《脊柱康复生物力学虚拟仿真实验》是基于该课程设立的特殊环节实验。课程主要包括脊柱相关的解剖学和生物力学相关原理、脊柱形态和功能的评估过程、脊柱相关疾病的损伤原理和康复方法。通过本实验要达到教学目标如下：

1. 了解各节段椎体的结构和相关组织，及其相互作用的力学机制；
2. 通过三维仿真场景展示评估脊柱的主要设备，熟悉其构造和原理，掌握其操作要领；
3. 通过模拟脊柱评估的异常结果，掌握适宜的运动康复手段；
4. 掌握脊柱功能筛查的实验方法，学会分析筛查报告；
5. 培养知识应用能力、综合实践能力、思维判断与分析能力、跨学科思维能力、对新技术的学习能力；培养团队意识、创新精神、科学严谨的工作态度。

上述实验教学目标的达成有助于学生直观感受感脊柱筛查、诊断、力学分析以

及康复流程。使学生能够在毕业后的工作中更快掌握对具体问题分析的能力，为毕业生成长为高层次应用型人才奠定了重要的基础。

为达成以上实验教学目标的达成，本实验设置 4 个环节内容：即脊柱认知、脊柱筛查、力学分析和运动康复。

环节一：脊柱认知

①采用人机交互虚拟操作，掌握脊柱的解剖结构和功能的学习。

②采用人机交互虚拟操作，让学生认识与熟悉各个不同椎体之间的区别。

③采用人机交互虚拟操作，完成整个脊柱的拼装与某一段脊柱的软组织搭建。

环节二：脊柱筛查

①采用人机交互虚拟操作，让学生通过 3D 光谱 Diers 进行脊柱的筛查。

②观看操作技术，让学生通过 SpineScan 电子脊柱测量仪进行大范围脊柱筛查。

③采用人机交互虚拟操作，通过以上两个步骤，可以让学生从矢状面、冠状面、水平面，对测试对象进行脊柱姿势测量，并找出颈、胸、腰段的异常。

环节三：力学分析

①采用人机交互虚拟操作，通过肌力矩的测量来解读颈部不同的低头角度所受的力的大小。

②采用人机交互虚拟操作，通过 Cobb 角的测量，使学生能自己掌握准确测量脊柱侧弯度数的方法，准确测量出侧弯角度，一方面可以就其严重程度及时作出评价，另一方面是选择治疗方法以及监测治疗效果的重要依据。

③采用人机交互虚拟操作，让学生熟悉通过对腰背部进行等速运动测试找出薄弱肌群，从而可以进行针对性的康复训练。

④采用人机交互虚拟操作，学生通过虚拟的椎间盘的受力测试，直观地观察椎间盘在不同受力状态下的蠕变，从而了解椎间盘的病理变化。

环节四：运动康复

①采用人机交互虚拟操作，让学生在前期筛查、测试的基础上选择适合颈椎生活康复的器具，如生活中常见枕头的使用。

②观看操作技术，如果学生在上一步骤选择了枕头，则让学生进一步进行选择枕头的高度。

③采用人机交互虚拟操作，让学生进一步进行选择枕头的位置。

3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时：本课程为运动康复、运动人体科学、康复治疗学专业学生的专业基础课，教学总时数 48 学时，3 学分，其中实验课占 12 学时。

(2) 该实验所占课时：脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验教学项目占 4 学时。

3-4 实验原理

1. 实验原理(限 1000 字以内)

我们把脊柱看成为前、后纵韧带，椎体和椎间盘构成组合梁，正常状态下，脊柱具有生理弯曲，但相邻两椎体间距沿椎体断面是均匀的。在定性分析时，可近似看作梁柱。

(1) 脊柱受力情况

冲击作用下，椎体的极限载荷和椎间盘高于静态相应值。故作为原理性分析，只考虑准静态，轴线弯曲的影响用适当的力和力矩来表示。此外，不考虑椎体的附件。如下图所示的简化模型。

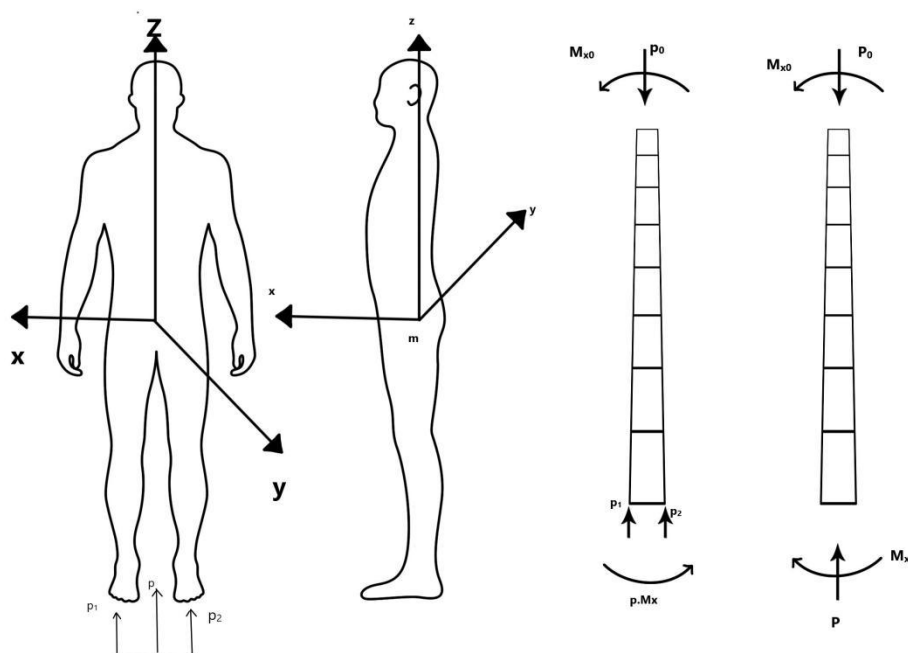


图 1 脊柱受力图

取笛卡尔坐标系， z 轴即脊柱（简化为直梁柱）轴线，原点位于骶骨端，人体质心（质量为 m ）坐标为 (d_1, d_3, h) ；头颅质心坐标为 $(d_0, 0, H)$ ，质量为 m_0 。当人从高处坠落时，脊柱受力情况如图 1 所示。

$$\left. \begin{aligned} P &= nmg \\ P_0 &= -nm_0g \end{aligned} \right\}$$

n 为过载（严格地说头颅和躯干地过载不相等）， g 为重力加速度。除受压外，还有力矩作用：

$$\left. \begin{aligned} M_y &= Pd_1 = nmgd_1 \\ M_{y0} &= P_0d_0 - nm_0gd_0 \\ M_x &= Pd_2 = nmgd_2 \end{aligned} \right\}$$

脊柱长细，轴向受压时很容易失稳而受屈曲。通常人体质心和头颅质心，总于脊柱轴线前方，故 M_y 、 M_{y0} 总是使头颅前俯，胸腰段后弓，而在 T_{10} - L_2 这一段挠度最大（该段无骨盆和肋骨支撑，刚度较小）。据研究， T_{10} - T_{12} 、 L_1 、 L_2 的抗压强度约为颈椎椎体的 $\frac{4}{7}$ 左右，和 T_1 - T_9 、 L_3 - L_5 大致相当。所以，骨折大多发生在 T_{10} - T_{12} 、 L_1 、 L_2 。

（2）椎体受力分析

椎体与椎间盘相间。椎间盘由髓核和纤维环构成，髓核是不压缩流体，充满与纤维环中央和各纤维环的间隙内。纤维环约有 10-12 层，都是密封的。端板与椎体紧密结合。图 2 是椎间盘简化模型。

当脊柱单纯受压时，椎间盘中央的流体的压力为 p_0 ，各层纤维环之间流体压力为 p_i ($i=1, 2, \dots, 11$)。受压时流体体积不变，各层间的压差 $\Delta p_i = p_{i-1} - p_i$ 由纤维张力 T_i 平衡。这样，椎体（把它看作一个短圆柱）端面上应力分布如下图所示。

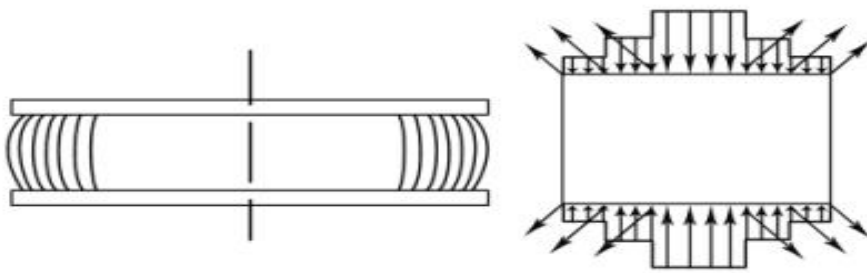


图 2 椎间盘简化模型

$\sigma(r) = P_0 - \sum_{k=1}^i \Delta P_k \cdot \rho_k \sin \theta_k$ ，其中 ρ_k 、 θ_k 分别为（模型）椎间盘第 R 层纤维环的弯曲半径和它于端板连接处的倾角， r 是径向位置， i 是 r 以内纤维环的层数。显然，应力在端面上的分布是不均匀的，但是对称的。

当脊柱在受压同时受弯矩作用时，椎间盘内髓核被挤向椎体后缘（ $\because M_y < 0$ ）。相应地，这一部分纤维张力增大，而前缘纤维层不受力（纤维只能受张，不能受压）。甚至反张（即 $\theta_k > \frac{\pi}{2}$ ）。此时椎体的端面应力分布如图所示。应力分布不均匀且非对称，椎体前缘区域压应力很大。在这种情况下，椎体损伤有三种可能：

①椎体失稳。此时， $\sigma_s > \sigma_{max} > \sigma_{cro}$ 。 σ_s 是椎体的抗压强度， σ_{cr} 是椎体稳定性临界应力， $\sigma_{max} = \{\sigma(r, \phi)\}_{max}$ 。 ϕ 是幅角。青壮年患者大多属于这一类。若椎体强度主要来自外表一薄层骨皮质，作为近似，可视作均质弹性圆柱形壳体。若壳不太薄，则单纯受压时的 σ_{cr} 为：

$$\sigma_{cr} = \frac{\delta \sqrt{E E_t}}{R \sqrt{3(1-\nu)}}$$

R-圆壳内半径； δ -壳体厚度，E-杨氏模量， ν -泊松比， E_t -椎体应力-应变曲线在临界点上的斜率，称为数线模量（ $E_t < E$ ）。当椎体在受压同时受弯矩作用时，设弯矩引起的应力为 σ_0 ，压力引起的应力为 σ_1 ，则

$$(\sigma_0 + \sigma_1)_{cr} = \frac{\delta \sqrt{E E_t}}{R \sqrt{3(1-\nu)}}$$

可见，弯矩使临界载荷 $P_{cr} = \pi[R^2 - (R - \delta)^2]\sigma_{1cr}$ 降低了。通常低30%左右。

据此，我们认为暴力所致对单纯楔形骨折，是由前俯力矩（ $M_y < 0$ ）引起的椎体失稳所致。而一侧挤压骨折，则是 $M_x \neq 0$ 造成的椎体失稳。

②椎体局部或整体破坏， $\sigma_{max} > \sigma_s$ 。椎体上缘挤压骨折、椎体扁平挤压骨折属于这一类。后一种情况骨质疏松， σ_s 可能小于 σ_{cr}

③椎体不是完全弹性体，在持续或重复性的压力作用下，尽管 $\sigma_{max} < \sigma_{cr} < \sigma_s$ ，由于椎体蠕变，也可能引起椎体挤压骨折。

至于多发椎体挤压骨折，则是由于特殊的受力情况，或患者脊柱构造特异因素造成的。

知识点：共 11 个

目前已开发脊柱认知、脊柱筛查、力学分析和运动康复4个环节，每个环节1个学时，总时数为4个学时，每一个实验内容均符合课程教学大纲要求，逻辑设置合理，有完整、符合最新脊柱形态、功能分析与诊断操作和评价标准。每个知识点均安排虚拟仿真的操作步骤，具体包括以下11个知识点：

（1）脊柱结构认知

主要通过虚拟仿真平台展现颈椎、胸椎、腰椎不同脊椎的解剖结构、韧带、关节，如颈椎的寰椎、枢椎、隆椎，椎间盘，前纵韧带，后纵韧带、黄韧带，棘间韧带，棘上韧带，以及椎间关节等解剖学知识。

(2) 脊柱功能认知

通过功能解剖认知使学生掌握颈、胸、腰各个椎间关节的活动度及最大活动范围，通过实验了解脊柱有前屈、后伸、左右侧弯和旋转等运动功能。了解颈椎各椎体间具有 $3-7^{\circ}$ 的前屈、后伸、旋转和侧弯运动的范围，因此较脊柱其他部分灵活；胸椎的运动因有胸廓的存在而明显受限，下胸椎的运动范围较上胸椎活动范围增大；腰椎的前屈虽只有 40° ，但实际运动时，腰椎是连带胸椎段一起完成前屈功能。

(3) 脊柱形态筛查

脊柱形态筛查主要是通过三维 **Diers** 脊柱分析系统进行筛查，**Diers** 利用摩尔纹地形图和光学三角测量的物理原理，将可见光通过光栅板投射到测试者的背部，形成平行等距的光谱。根据受试者背部的光谱进行三维扫描重建，结合内置生物力学模型生成脊柱的 3D 实时图像。通过 **Diers** 三维脊柱及身体姿势测评系统分别从矢状面、冠状面、水平面，对测试对象进行脊柱姿势测量，找出颈、胸、腰段的异常。

(4) 脊柱功能筛查

功能筛查主要是通过 **SpineScan** 电子脊柱测量仪进行筛查，该仪器是一种创新的手持式电子设备，分别从脊柱水平面、矢状面、额状面的三维活动度、躯干倾斜角和身体姿势等方面实时、准确的评估，同时跟踪监测活动能力异常、脊柱畸形、姿势异常等。

(5) 颈椎受力分析

通过重力矩的测量来解读颈部在不同的低头角度下 (30° 、 45° 、 60°) 受力的大小，同时计算重力矩的大小，为颈椎疾病的预防和康复提供数据支持。

(6) 胸椎受力分析

Cobb 角是衡量脊柱侧弯角度的一个标准，以上下弯曲最顶端的两个椎体上、下缘所成角度，即为 **Cobb** 角。通过虚拟仿真平台可展现 **Cobb** 角的测量，使学生能自己掌握测量脊柱侧弯的方法。准确测量出的脊柱侧弯角度，一方面可以就其侧弯程度及时作出评价，另一方面则作为选择治疗方法以及监测治疗效果的重要依据。

(7) 腰椎受力分析

Isomed 2000 等速肌力训练和测试技术（简称等速技术），是指肢体进行等速

运动时，通过测定反映肌肉负荷的系列参数，来评定肌肉功能状态。等速技术是目前国际上较为先进的肌肉功能评价和训练技术，应用等速运动方式对腰背肌肉功能进行评价，同时对关节活动度和肌力的进行评测，找出薄弱肌群，最终为腰部进行针对性的康复训练提供参考。

(8) 椎间盘受力分析

压缩与蠕变实验是研究椎间盘粘弹性力学性能的重要方法。实验样本取死亡时间在 72h 以内的人的新鲜椎间盘，把颈椎间盘 C5-C6，胸椎间盘 T9-T10，腰椎间盘 L4-L5 节段分离出来，沿矢状面切割，椎间盘直径分别为 18mm，23 mm，29mm，实验共进行 3 组椎间盘的不同压缩应力，加载速度分别为 10mm/min；20mm/min；30mm/min 和 3 组不同载荷下的蠕变实验，蠕变时间为 6000 s，定载荷分别为 50N，70N，90N，最终找出颈、胸、腰椎间复合体的结构应力。旨在揭示椎间盘的粘弹性力学行为，分析应力和加载对椎间盘结构应力及蠕变的影响。

(9) 颈段运动康复

颈椎变直的牵引效果主要由牵引的角度、时间和重量等因素决定的，而在枕头的形状与位置的选择上则需要患者本人在平时就时刻注意，并持之以恒。通过对颈椎的生物力学测量，为颈椎的运动康复方案的设计和康复设备的选配提供参考。

(10) 胸段运动康复

注意特发性脊柱侧弯的早期筛查，并严格掌握 Cobb 角的度数所提供的干预手段是特发性脊柱侧弯的康复矫正成功，乃至于是手术成功的关键因素，一般而言，Cobb 角在 25° 以下可进行运动康复，在凸侧进行肌紧张的松弛，凹侧则加强肌力训练。

(11) 腰段运动康复

了解在非手术治疗腰椎间盘突出症中，腰背部科学、合理的力量康复训练是消除临床症状，加快临床治愈，防止后期复发的重要手段，通过对腰椎的生物力学测量，为腰背部肌肉训练及康复方案提供参考。

2. 核心要素仿真设计

通过虚拟现实、人机交互、数据库和网络通信技术，构建脊柱模型和对象，重现不同体育项目现场的各种场景，利用文字、图片、音频、视频和虚拟交互等方式帮助学生理解实验操作原理和应用实践。

(1) 基于真实实验数据的数值仿真

在“椎间盘受力分析”实验中，学生改变加载速度、加载负荷参数，观察结构“压缩、蠕变”二个状态。首先基于真实实验数据校准了软件计算模型，脊柱结构二个状态实验结果均通过多参数数值模拟得到，保证了仿真实验结果的准确性。为了使实验与真实情况保持一致，特别设计压缩断裂的极限加载情况。

(2) 营造过程的场景动画再现

在脊柱认知环节中，我们搭建3维脊柱模型动画，在脊柱形态、功能筛查中，将脊柱的运动形式、肌肉功能、力学及康复的工作条件在后台进行预设，并利用三维仿真技术进行可视化处理，学生则通过前台人性化界面实施相应操作来解决实际问题。

(3) 面向真实原始脊柱结构模型的操作环境

通过对知识点学习采用程序化引导，利用系统向导让学生依序无遗漏学习；我们在颈椎、胸椎的力学测试环节对抽象难度内容进行后台可视化预设，化难度分析过程为简单判断，通过预设参数，将复杂高难的分析过程化为系列判断，降低学生分析动作与解决设计的难度，帮助学生更精准判断了解与分析可能出现的数值变化，保证了实验结果与真实情况一致。

3-5 实验教学过程与实验方法

1. 实验教学过程

以“脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验”为例，来具体说明“脊柱形态、功能的分析、诊断与康复”虚拟仿真实验教学方法使用的目的、实施过程和实施效果。

(1) 教学目的

整个实验过程由脊柱认知、脊柱筛查、力学分析、运动康复4个环节组成，包括运动解剖学、运动生物力学等相关知识的掌握，进行力学测试、提供个性化康复方案等虚拟仿真实验教学环节。

在前期理论知识学习的基础上，采用虚拟仿真技术对“脊柱形态、功能的分析、诊断与康复”情景模拟的教学方法，让学生在虚拟环境中开展脊柱形态、功能分析与诊断的实验操作，激发学生积极主动地学习脊柱系统的相关知识，通过人机对话逐步、反复和可逆性训练，加深学生对脊柱形态、功能分析与诊断技术的深刻认识，提高对人体脊柱形态、功能分析与诊断实验教学效果。

通过实验完成后得到实验报告的前提下认真反思和总结，让学生在探究学习的过程中形成对知识的自主构建。脊柱系统的学习需要建立在大量的解剖实践基础上，在虚拟仿真实验中应用了模型搭建的模式，这种模型法的应用很好地解决了学生在尸体解剖中不太能反复、强化的实际问题，进一步加深了学生对脊柱的结构、功能，及生物力学机制与机理的认知与熟练程度。

脊柱系统中椎间盘是一个非常重要的组织结构，但是椎间盘的受力是一个非常空间化的问题，椎间盘的受力实验是一个模拟性实验，而在虚拟仿真实验中的控制变量法应用很好地解决了椎间盘力学分析中的蠕变问题，可以让学生更好地理解椎间盘病变的原因、过程与结果。

脊柱系统的康复是一个系统化的学习过程，存在着知识量大、知识面广的问题，在虚拟仿真实验中可以化繁为简，分解多个知识面，实际采用微格化教学，分解了大量知识点，有助于学生的记忆，增加学习的兴趣。

(2) 实施过程

登陆“脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验”教学平台，选择实验子项目“脊柱认知”，完成解剖结构认知与功能解剖认知后，进行虚拟仿真实验内容观摩及交互式虚拟实验操作。

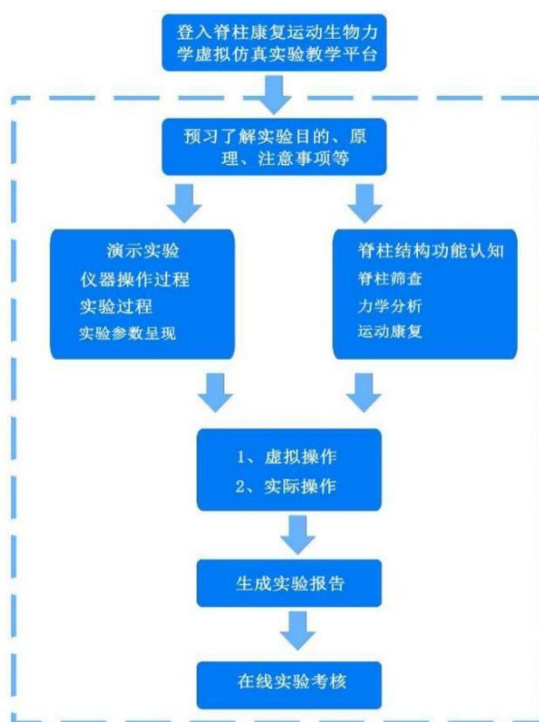


图3 教学实施过程

主要的实施步骤如下：

环节一：脊柱认知

- ①采用人机交互虚拟操作，掌握脊柱的解剖结构和功能的学习。
- ②采用人机交互虚拟操作，让学生认识与熟悉各个不同椎体之间的区别。
- ③采用人机交互虚拟操作，让学生完成整个脊柱的拼装与某一段脊柱的软组织搭建。

环节二：脊柱筛查

- ①采用人机交互虚拟操作，让学生通过 3D 光谱 Diers 进行脊柱的筛查。
- ②观看操作技术，让学生通过 SpineScan 电子脊柱测量仪进行大范围脊柱筛查。
- ③采用人机交互虚拟操作，通过以上两个步骤，可以让学生从矢状面、冠状面、水平面，对测试对象进行脊柱姿势测量，并找出颈、胸、腰段的异常。

环节三：力学分析

- ①采用人机交互虚拟操作，通过肌力矩的测量来解读颈部不同的低头角度所受的力的大小。
- ②采用人机交互虚拟操作，通过 Cobb 角的测量，使学生能自己掌握准确测量脊柱侧弯度数的方法，准确测量出侧弯角度，一方面可以就其严重程度及时作出评价，另一方面是选择治疗方法以及监测治疗效果的重要依据。
- ③采用人机交互虚拟操作，让学生熟悉通过对腰背部进行等速运动测试找出薄弱肌群，从而可以进行针对性的康复训练。
- ④采用人机交互虚拟操作，学生通过虚拟的椎间盘的受力测试，直观地观察椎间盘在不同受力状态下的蠕变，从而了解椎间盘的病理变化。

环节四：运动康复

- ①采用人机交互虚拟操作，让学生在前期筛查、测试的基础上选择适合颈椎生活康复的器具，如生活中常见枕头的使用。
- ②观看操作技术，如果学生在上一步骤选择了枕头，则让学生进一步进行选择枕头的高度。
- ③采用人机交互虚拟操作，让学生进一步进行选择枕头的位置。

(3) 实施效果

- ①虚拟仿真实验教学的应用，拓宽了实验教学内容

通过综合性、设计性实验，使学生了解人体脊柱的解剖结构、生理功能、生物力学特征，并掌握脊柱系统疾病的生物力学筛查、诊断与康复方法，虚拟仿真项目的应用，让学生在真实实验前有机会通过虚拟仿真平台反复练习，熟悉了实验过程和注意事项，并减少了大型精密仪器的损耗。

②以操作为导向的互动教学方法，增加了学生学习的主动性

通过三维仿真场景实时漫游和交互控制，展示脊柱运动生物力学系统筛查、诊断、分析与康复的主要设备和手段，包括 3D 光谱 Diers 、SpineScan 电子脊柱测量仪、德国 Isomed 2000 等速系统等设备，熟悉其构造及功能，掌握其操作要领。

③虚拟仿真交互式实验教学，提升了技能操作规范性

通过交互方式学习掌握脊柱运动生物力学的筛查、诊断、分析与康复的整合，在实际操作中开展了多角度、多方法的综合应用，增强了学生在运动康复生物力学教学实验中的思维与动手能力，提升了运动康复技能的规范性，并且通过考核系统的应用，解决了实验考核需要一对一、费时，而至实验考核不全面、不完整的问题，实现了对实验过程“前、中、后”的完整考核。

2. 实验方法

(1) 通过虚拟仿真教学展示人体脊柱三维结构；

(2) 通过虚拟技术展示人体脊柱整体及局部的组成；

(3) 通过虚拟仿真操作脊柱功能测评设备，如 SpineScan 电子脊柱测量仪、DIERS 三维脊柱及身体姿态测评系统、Isomed 多功能等速力量测试与训练系统；

(4) 通过虚拟仿真操作脊柱的生物力学建模及分析。

3-6 步骤要求（不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验交互，系统加载之类的步骤不计入在内）

1. 学生交互性操作步骤，共 14 步

步骤序号	步骤目标要求	步骤合理用时	目标达成度赋分模型	步骤满分	成绩类型
1	脊柱静态筛查	5 分钟	通过 Diers 三维脊柱及身体姿势测评系统分别从矢状面、冠状面、水平面，对测试对象进行脊柱姿势测量，找出颈、胸、腰段的异常。	5 分	可多选 ☒ 操作成绩 ☒ 实验报告 ☒ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
2	脊柱测量	5 分钟	通过 SpineScan 电子脊柱测量仪，学生可完成对筛查对象脊柱在侧向弯曲、前屈后伸和水平旋转三个方向上的动态功能评估	5 分	
3	颈椎力矩测量	5 分钟	通过实验操作计算获得颈部在 30° 、 45° 和 60° 前倾角度下颈椎所受头部重力矩作用	5 分	
4	胸椎 Cobb 角测量	5 分钟	在脊柱 X 光片上选取恰当的测算点，计算胸椎节段的 Cobb 角，评估脊柱侧弯的程度。	10 分	
5	腰背部等速肌力测量	5 分钟	通过 Isomed 2000 等动测试系统对患者躯干肌力进行检查。首先完成屈伸肌力的检查。	10 分	
6	屈伸肌力测试报告	5 分钟	学生需针对相应数据进行分析，并选择患者可能存在的肌力问题（屈肌薄弱/伸肌薄弱）	10 分	

7	旋转肌力的检查	5 分钟	学生依据旋转肌力测试报告，进行数据分析，选择患者可能存在的肌力问题	5 分	
8	椎间盘受力分析	5 分钟	学生根据要求对椎间盘进行不同加载速率和加载力的测试	10 分	
9	椎间盘压缩载荷测试	10 分钟	椎间盘压缩载荷测试中，学生可选择不同的加载速度（10mm/min、20mm/min、30mm/min）仿真测试结果，观察其对椎间盘压缩载荷曲线的影响	10 分	
10	椎间盘蠕变测试	10 分钟	在椎间盘蠕变测试中，学生可选择不同载荷大小（50N、70N、90N），蠕变时间设定为 6000s，仿真测试结果，观察其对椎间盘蠕变曲线的影响	10 分	
11	胸段运动康复	10 分钟	学生可以通过选择适宜的矫正训练方法帮助患者进行康复	5 分	
12	腰段运动康复	10 分钟	学生可以通过选择适宜的肌力训练方式进行康复	5 分	
13	颈段运动康复	5 分钟	学生通过对颈椎的生物力学测量，为颈椎的运动康复方案的设计和康复设备的选配提供参考	5 分	
14	实验报告	5 分钟	通过实验报告的方式向学生呈现其得分情况	5 分	

2.交互性步骤详细说明

(1) 实验操作流程

整个实验过程由脊柱认知、脊柱筛查、力学分析、运动康复4个环节组成，包括运动解剖学、运动生物力学等相关知识的掌握，进行力学测试、提供个性化康复方案等虚拟仿真实验教学环节。通过分步指引学生在仿真模拟系统上自主进行技能训练，实时评价和在线互评学生训练，规范每位学生的技能操作。

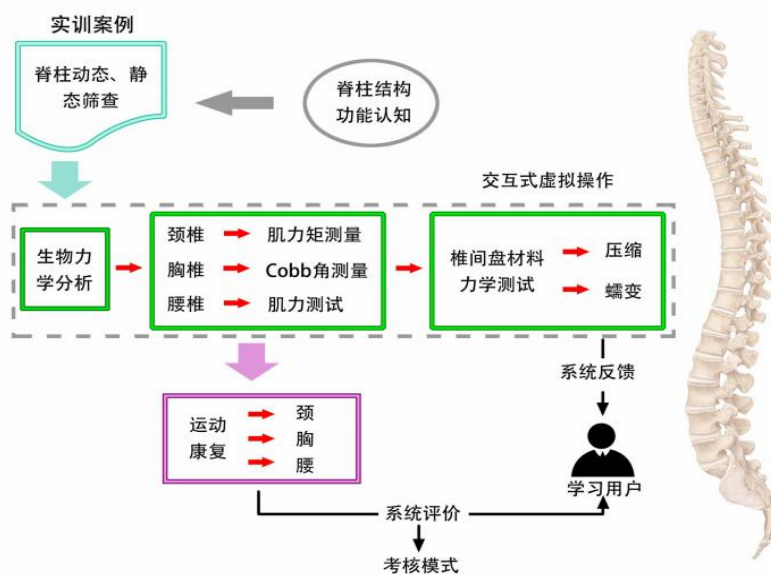


图4 实验操作流程

操作步骤

阶段一、系统平台

步骤1、学生通过平台进入系统主界面，主界面上方功能菜单显示实验简介及该项目的四个环节。



图5 系统主界面

步骤 2、学生点击**实验简介**可初步了解实验背景、实验目的和实验流程。

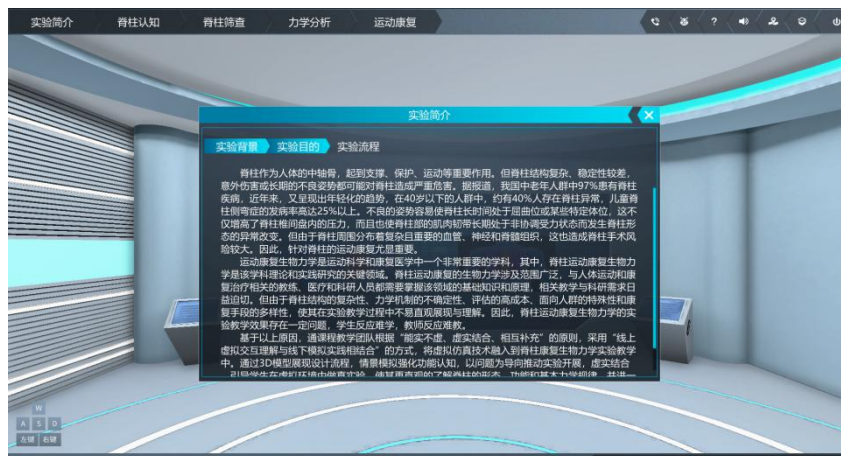


图 6 实验简介

阶段二、脊柱认知

步骤 1、学生首先点击功能菜单中的**脊柱认知**进入脊柱结构认知的虚拟场景中。该场景会呈现一条完整脊柱的构成，学生可通过旋转、放大和缩小的方式全方位、多角度观察脊柱的形态结构。通过点击不同脊柱节段，在画面左侧出现相应椎体的理论知识。

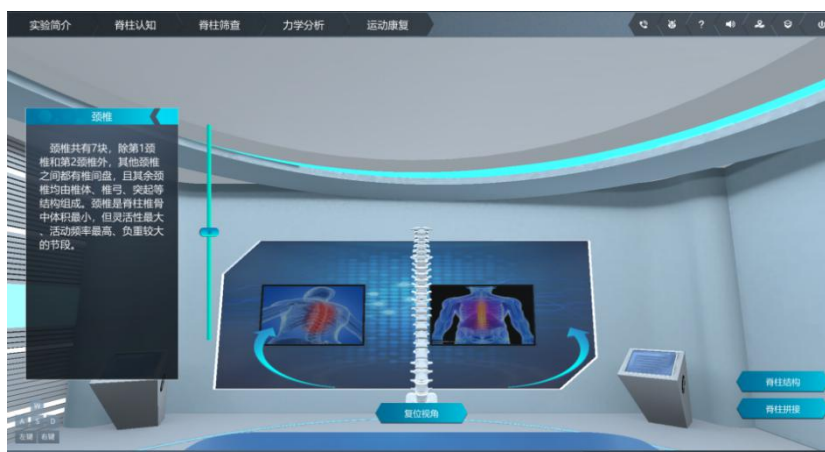


图 7 整体脊柱认知

步骤 2、在脊柱结构认知中，学生还可点击画面右侧脊柱拼接来搭建椎体，即将分散的椎体重新按照顺序进行排列，形成一条完整的脊柱。



图 8 脊柱椎体拼接

步骤 3、同时，学生还要选择脊柱周围韧带（前纵韧带、后纵韧带、棘间韧带、棘上韧带）放在适宜的位置，以形成一个完整的脊柱基本功能单位。



图 9 脊柱基本功能单位拼接模拟

步骤 4、完成脊柱结构认知后，学生进入到功能认知。该场景下学生可通过拖拽画面下方滚动条了解脊柱在运动时，随着运动幅度的变化，各椎体间活动范围的改变，并可通过画面右侧前屈后伸、侧屈、水平旋转来切换脊柱在不同方向上的运动。

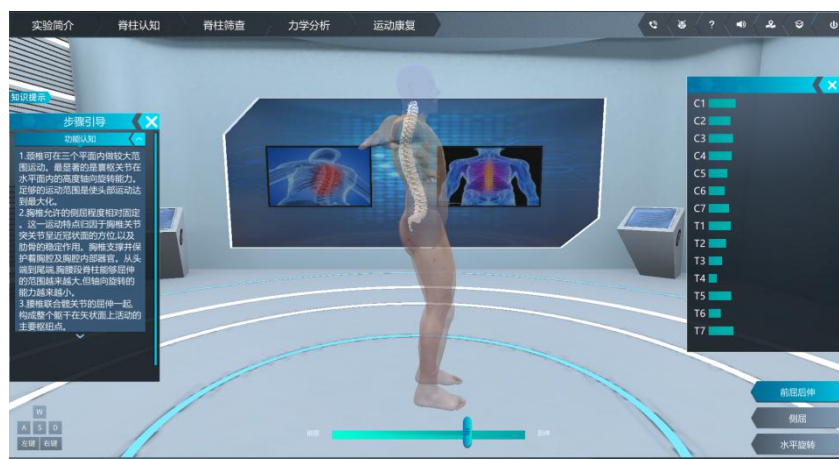


图 10 脊柱前屈后伸功能模拟

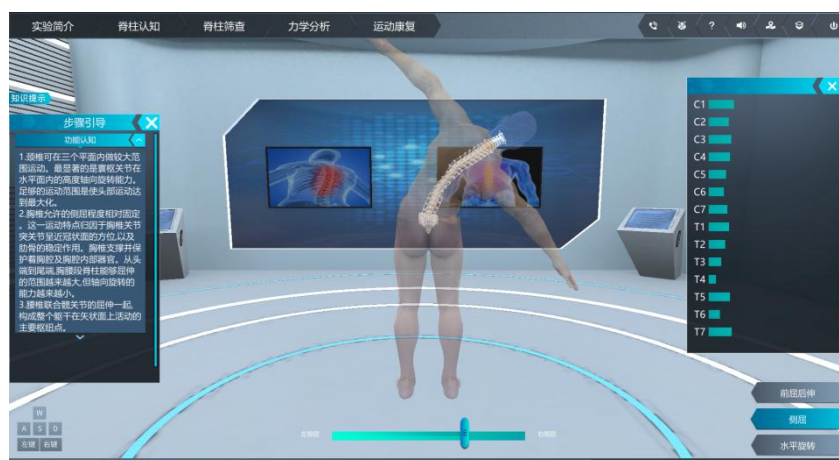


图 11 脊柱侧屈功能模拟

阶段三、脊柱筛查

步骤 1、完成脊柱认知的学习后，学生需要进一步学习脊柱的形态和功能的评估。点击画面上方功能菜单中的脊柱筛查，学生进入到 **3D 光谱筛查** 的虚拟场景中。



图 12 脊柱筛查场景

步骤 2、学生首先通过鼠标点击在筛查对象体表特定位置（两侧肩峰、第 7 颈椎、第 7 和第 12 胸椎、第 4 腰椎）固定标志点。



图 13 脊柱筛查标志点

步骤 3、学生点击 Diers 三维脊柱及身体姿态测评系统进行脊柱静态筛查。



图 14 脊柱筛查检索

步骤 4、通过画面右侧测试得到的 3D 光谱筛查报告，学生针对报告结果进行分析后，判定筛查对象可能存在的脊柱问题。

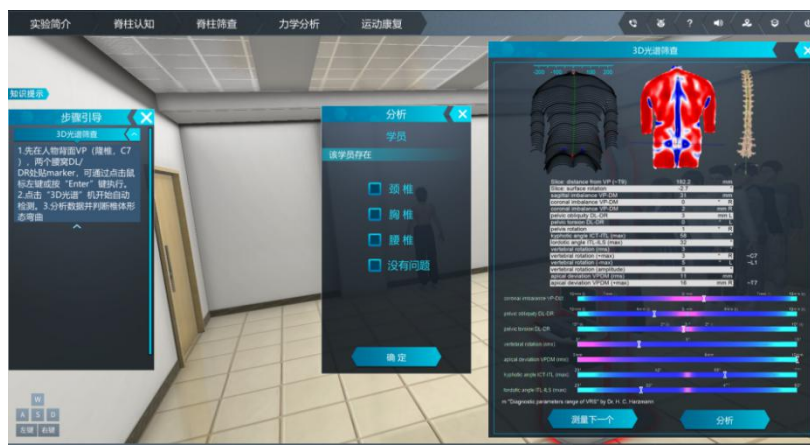


图 15 脊柱 3D 光谱筛查仿真

步骤 5、依据学生 3D 光谱筛查所确定的脊柱问题，进一步进入到功能筛查虚拟场景。通过 SpineScan 电子脊柱测量仪，学生可完成对筛查对象脊柱在侧向弯曲、前屈后伸和水平旋转三个方向上的动态功能评估。



图 16 SpineScan 电子脊柱测量

步骤 6、通过功能筛查可进一步确定筛查对象不同脊柱节段在三个运动方向上的活动度。



图 17 SpineScan 电子脊柱测量头颈部

步骤 7、如果学生对筛查对象所存在的脊柱问题评估正确，则可进入到脊柱力学分析的环节。



图 18 SpineScan 电子脊柱测量数据仿真

阶段四、力学分析

步骤 1、力学分析环节会根据脊柱筛查环节患者可能存在的不同问题，呈现出不同的虚拟场景。若患者存在颈椎问题，则在力学分析中学生需要进行颈椎力矩测量，即通过计算获得颈部在 30° 、 45° 和 60° 前倾角度下颈椎所受头部重力矩作用。



图 19 颈部前屈受力分析仿真计算

步骤 2、若患者存在胸椎问题，则在力学分析环节中学生需要进行胸椎 Cobb 角测量，即在脊柱 X 光片上选取恰当的测算点，计算胸椎节段的 Cobb 角，评估脊柱侧弯的程度。



图 20 胸椎 Cobb 角选择标志点



图 21 胸椎 Cobb 角度仿真计算

步骤 3、若患者存在腰椎问题，则在力学分析环节中学生需要进行腰背部等速肌力测试，即通过 Isomed 2000 等动测试系统对患者躯干肌力进行检查。首先完成屈伸肌力的检查。



图 22 腰背部等速肌力测试场景

步骤 4、操作完成后可获得屈伸肌力测试报告，学生需针对相应数据进行分析，并选择患者可能存在的肌力问题（屈肌薄弱/伸肌薄弱），一般而言屈伸肌力比为 1:2。

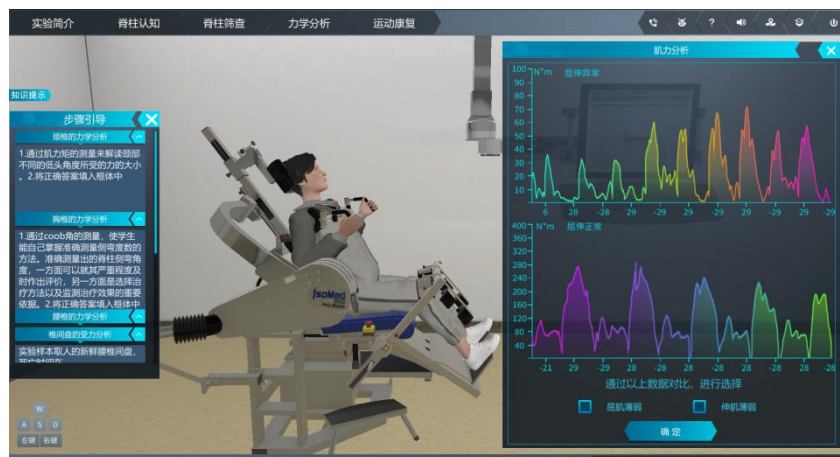


图 23 腰背部等速屈伸肌力仿真测试

步骤 5、之后完成旋转肌力的检查，并依据旋转肌力测试报告，进行数据分析，选择患者可能存在的肌力问题（左侧旋转肌薄弱/右侧旋转肌薄弱），一般而言左、右旋转肌力比为 1:1。



图 24 腰背部旋转肌力仿真测试

步骤 6、在分别完成针对颈椎、胸椎和腰椎可能存在的问题进行力学分析后，进入到椎间盘受力分析虚拟场景。

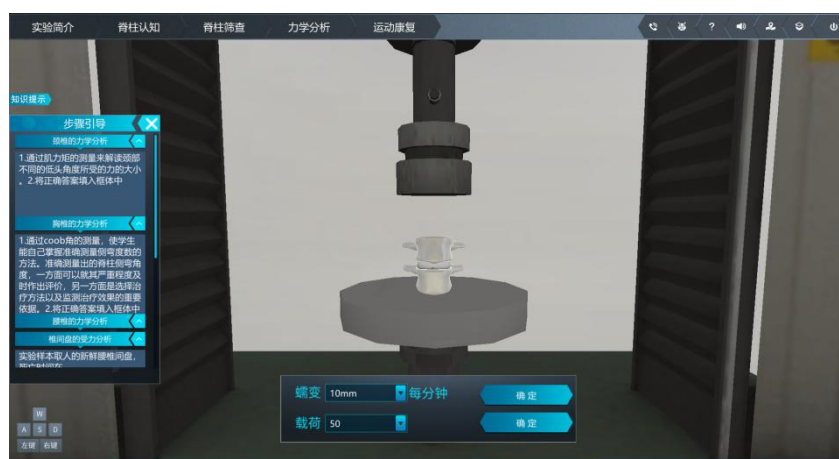


图 25 椎间盘压缩实验场景

步骤 7、在椎间盘受力分析中，学生需通过 Instron 材料试验机模拟椎间盘压缩载荷和蠕变测试。在椎间盘蠕变测试中，学生可选择不同载荷大小（50N、70N、90N），蠕变时间设定为 6000s，仿真测试结果，观察其对椎间盘蠕变曲线的影响，并针对实验结论进行判断。

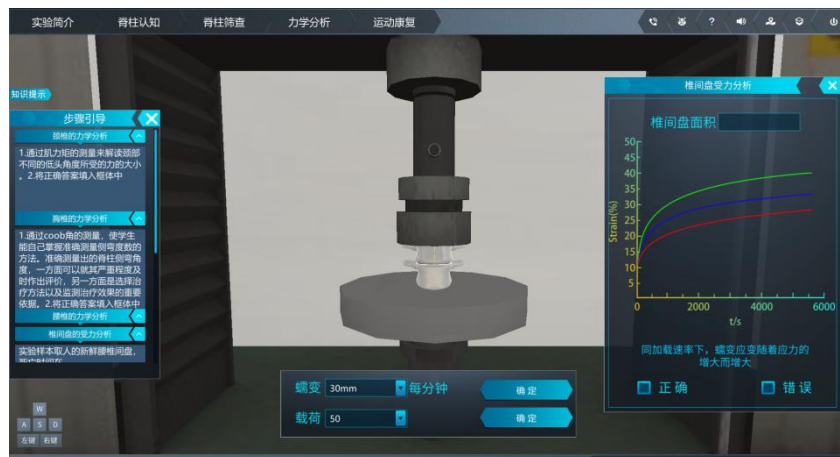


图 26 椎间盘压缩载荷和蠕变仿真

步骤 8、在椎间盘压缩载荷测试中，学生可选择不同的加载速度（10mm/min、20mm/min、30mm/min），仿真测试结果，观察其对椎间盘压缩载荷曲线的影响，并针对实验结论进行判断。

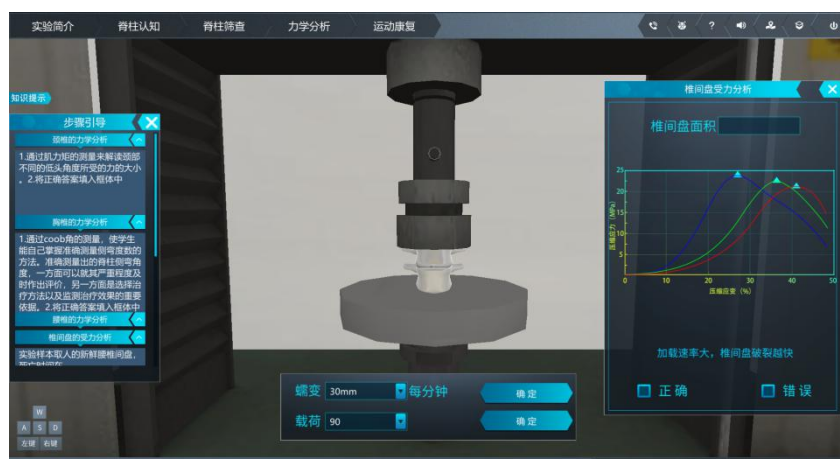


图 27 椎间盘不同速度压缩载荷仿真

阶段五、运动康复

步骤 1、在完成力学分析环节后，学生进入到运动康复环节。该环节中，学生需针对不同脊柱疾病选择适宜的康复治疗方法。如果患者存在颈椎变直的问题，学生可以通过选择适宜的枕头和睡姿帮助患者进行康复。



图 28 颈椎康复模拟

步骤 2、如果患者存在胸椎段脊柱侧弯的问题，学生可以通过选择适宜的矫正训练方法帮助患者进行康复。



图 29 胸椎康复模拟

步骤 3、如果患者存在腰椎间盘突出问题，学生可以通过选择适宜的肌力训练方式进行康复。



图 30 腰椎康复模拟

阶段六、实验报告

通过脊柱认知、脊柱筛查、力学分析和运动康复 4 个环节中各个步骤的操作和作答，最终通过实验报告的方式向学生呈现其得分情况。



图 31 实验报告生成

3-7 实验结果与结论(说明在不同的实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论)

(1) 是否记录每步实验结果: ☒是 ☐否

(2) 实验结果与结论要求: ☒实验报告 ☐心得体会 其他

实验报告包括实验名称、学生姓名、学号、实验过程、结果和分析,以及最终得分等内容。学生需如实记录实验步骤相应的实验结果,并从脊柱基本结构和功能认知、仪器设备构成及使用、数据分析处理、运动康复方案选择等方面进行详细记录;实验报告对本次实验进行总结,反思实验中的得失,并对下一步实验或专业学习提出意见。

The screenshot shows a web application for 'Spinal Static Screening' (脊柱静态筛查). The interface includes a sidebar with navigation options like '实验简介' (Experiment Introduction) and '脊柱认识' (Spine Recognition). The main content area displays a form titled '脊柱静态筛查' (Spinal Static Screening) with a timestamp '提交于: 2021-05-31 12:36:52'. The form contains a table with columns for '实验者' (Experimenter), '步骤' (Steps), '得分' (Score), and '总分' (Total Score). The table lists three steps: '脊柱生理结构认识' (Spinal physiological structure recognition) with a score of 20, '筛查分析' (Screening analysis) with a score of 50, and '加载屏幕分析' (Loading screen analysis) with a score of 30. The total score is 100. The footer of the page indicates the copyright year as 2019-2021 and mentions the software is developed by Nanjing University of Physical Education.

实验者	步骤	得分	总分
	脊柱生理结构认识	20	
	筛查分析	50	
	加载屏幕分析	30	
			100

图 32 脊柱静态筛查实验报告

(3) 其他描述

实验总结: 学生完成实验后进行总结, 便于教师掌握学生对专业知识的了解, 同时对本实验项目的成效进行评判, 有助于虚拟仿真实验项目的改进。

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

实验项目主要面向南京体育学院运动人体科学、运动康复、康复治疗专业的大二和大三年级学生。

(2) 基本知识和能力要求等

本实验项目要求学生在学习过的相关课程或已掌握的相关专业知识, 有如下层级:

①基础层: 《运动解剖学》、《运动生理学》。具备一定基础理论及较好的科学分析能力, 初步了解解剖和生理学的相关知识。

②专业层: 《运动医学》、《康复医学》和《人体运动学》等课程。对于参加实验的学生要求具备相关的专业基础知识, 了解功能解剖、运动损伤和运动康复的相关知识。

对不同专业的具体化要求：

①运动人体科学专业的学生要求初步具备基本的脊柱功能解剖和生物力学知识，可基本将生物力学原理应用于脊柱相关知识的学习中。

②运动康复和康复治疗专业的学生要求初步具备基本的脊柱功能解剖和康复知识，可基本将康复治疗原理应用于脊柱相关知识的学习中。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2017年9月1日

(2) 已服务过的本校学生人数：770人

(3) 是否纳入到教学计划：☒是 ☐否

(勾选“是”，请附所属课程教学大纲)

注：《运动康复生物力学教学大纲》已在附件中。

(4) 是否面向社会提供服务：☒是 ☐否

(5) 社会开放时间：2018年2月28日，已服务人数：2000人

脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验课程安排：

实验项目：脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验		
开课时间：2019-03-31	结束时间：2019-05-07	学生人数：50人
课程状态：已结束		
课程简介	实验管理	实验分析
公告	讨论	评价
课程详细情况		
第3期		
课程状态：已结束		
学年学期：2018-2019学年第2学期	开课时间：2019-02-25至2019-07-07	结束时间：2019-06-12至2020-06-30
修读人数：60（不限人数）	修读方式：脱产即可，不限学期	
第2期		
课程状态：已结束		
学年学期：2018-2019学年第1学期	开课时间：2018-09-03至2019-01-20	结束时间：2018-09-12至2019-06-30
修读人数：50（不限人数）	修读方式：脱产即可，不限学期	
第1期		
课程状态：已结束		
学年学期：2017-2018学年第2学期	开课时间：2018-02-26至2018-07-06	结束时间：2018-09-12至2019-06-30
修读人数：55（不限人数）	修读方式：脱产即可，不限学期	

图 33 虚拟仿真实验课程安排

脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验数据总览：

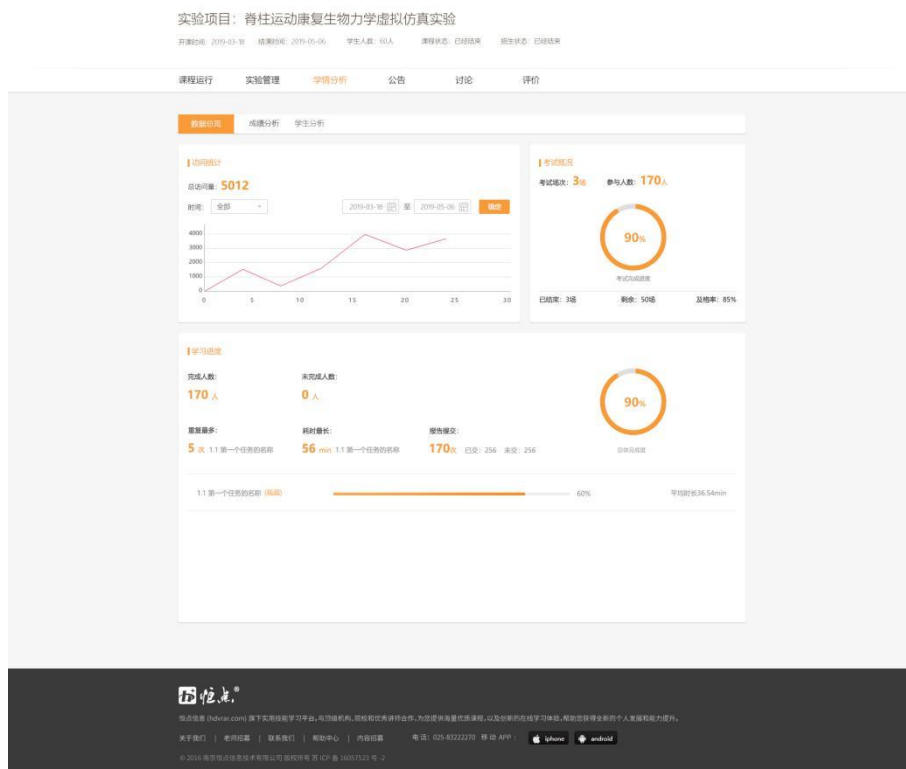


图 34 虚拟仿真实验数据总览

脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验成绩分析：

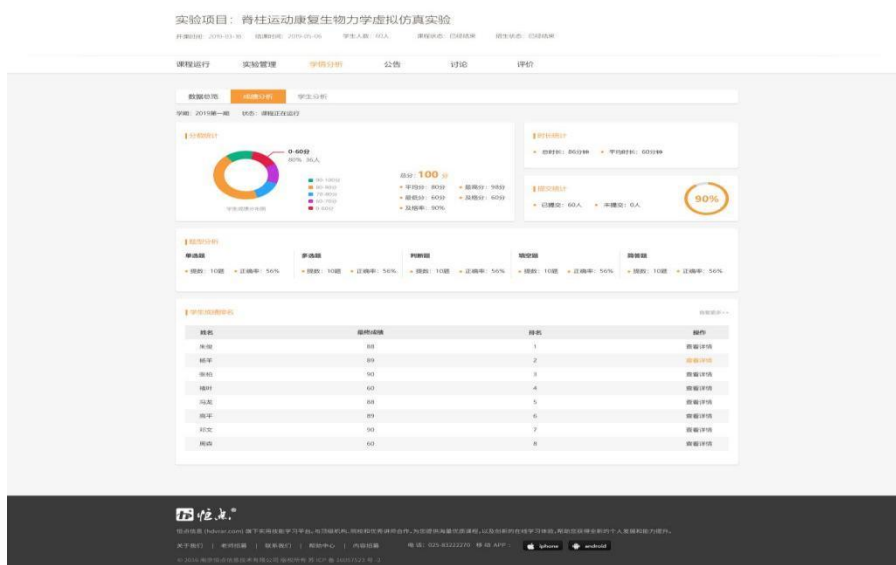


图 35 虚拟仿真实验成绩分析

4. 实验教学特色

（该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色，限800字以内）

（1）实验方案设计思路

“两性一度”是吴岩所提出的“金课”标准，即高阶性、创新性、挑战度。本项目中脊柱虚拟仿真的“高阶性”，就是运动解剖、运动康复和生物力学知识能力素质的有机融合，是要培养学生解决复杂生物和力学问题的综合能力和高级思维。脊柱虚拟仿真的“创新性”，是指课程内容要反映前沿性和时代性，虚拟仿真和交互式的教学形式呈现先进性和互动性，使得学习结果更具有探究性和个性化。脊柱虚拟仿真的“挑战度”，本项目基于团队最新国家自然科学基金研究成果，部分课程有具有一定的难度，对老师备课和学生课下都有较高要求。

由于信息技术在体育竞技训练、运动健身等中的广泛应用，SpineScan 电子脊柱测量、Diers 三维脊柱及身体姿态测评、Isomed 2000 多功能等速力量测试与训练、Instron 材料力学试验等早已不再新鲜，但这些技术手段的应用由于原理深奥、操作复杂、成本高昂等原因，往往都用于人体运动科学研究和竞技体育科技攻关等偏向科研的需求，而专门针对运动人体科学等专业课程教学的虚拟仿真技术却鲜有耳闻。本实验方案是在虚拟仿真技术背景下培养运动科学人才的一种新型的实践模式。

（2）教学方法创新

运动人体科学、运动康复等专业的学生对于运动生物力学、运动损伤等课程学习，多数情况下只能在教师示范情境下进行实验想象与思考，无法让学生自行操作、直观感受脊柱筛查、诊断、力学分析以及康复流程的整体性，对于脊柱筛查中受试者的体位的准确性更是难以把握。脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验教学通过对人体运动场景的模拟让学生能够身临其境的感受运动发生过程及损伤产生机理，并根据系统设定的突发状况进行虚拟的脊柱功能诊断、力学分析与康复，这种仿真的实验训练大大提高了学生应对具体问题的分析能力，提高了教学过程中师生之间的互动性和探究性，并有助于学生间形成团队合作的学习氛围。

(3) 评价体系创新

脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验再现并细化了脊柱诊断与分析的实验流程，可以实时的观察学生对脊柱形态、功能、评估和康复的掌握情况，同时也有效地避免了传统实验只能考查学生理论知识能力的局限性。

(4) 对传统教学的延伸与拓展

本着“能实不虚、以虚补实、虚实结合、相互补充”的理念，坚持“科学规划、共享资源、突出重点、持续发展”的指导思想，开发了“脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验”。结合传统教学方法，采用“线上虚拟”与“线下仿真”相结合的方式，线上学习在连接网络的条件下，可以进行不间断的24小时全天候开放共享服务，同时实验教学项目具有重复使用性强、安全系数高、和低成本等优点。因此，脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验教学系统开发应用，丰富了实验教学的项目和资源，延伸了实验教学的时间与空间，拓展了实验教学的广度与深度。

5. 实验教学在线支持与服务

(1) 教学指导资源：☒教学指导书 ☒教学视频 ☒电子教材 ☒课程教案

(申报系统上传) ☒课件(演示文稿) ☐其他

(2) 实验指导资源：☐实验指导书 ☒操作视频 ☒知识点课件库 ☐习题库

(申报系统上传) ☒测试卷 ☒考试系统 ☐其他

(3) 在线教学支持方式：☒热线电话 ☐实验系统即时通讯工具 ☐论坛

☒支持与服务群 ☐其他

(4) 5名提供在线教学服务的团队成员；4名提供在线技术支持的技术人员；教学团队保证工作日期间提供2小时/日的在线服务

6. 实验教学相关网络及安全要求描述

6-1 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求（需提供测试带宽服务）

20M 下行对等带宽。

经测试客户机带宽在 20M 以上时能够有较快的加载速度和较好的交互体验。

本次测试基于主流配置计算机，模拟学生在校内校外不同的使用环境，最大限度的还原用户上网学习虚拟仿真实验的需求。

测试一：物理连接链路测试，测试目的：测试客户机和虚拟仿真实验项目网站的延迟和丢包情况，测试方法：客户机对本次虚拟仿真实验项目网站进行 PING 操作。

测试二：网络质量测试，测试目的：测试不同网络环境访问本虚拟仿真实验页面的加载情况，测试方法：通过 IP 代理，测试客户机在不同地域环境下打开虚拟仿真实验项目网页的速度。

测试结果：

1、当客户机带宽小于 20M 时，丢包情况严重、网络延时都很高，部分环境延时可以达到 20ms 以上，丢包率超过 5%；

2、当客户机带宽小于 20M 的时候，在不同 IP 对本虚拟仿真实验网页打开的测试中，网页打开速度较慢，特别是课件加载卡顿现象也畅游发生，访问效果不理想。

基于以上测试结果，我们推荐客户机的带宽应大于 20M。

(2) 说明能够支持的同时在线人数（需提供在线排队提示服务）

本虚拟仿真项目的服务器最佳响应并发数为 300。

我们模拟用户访问虚拟仿真项目网站首页、用户登录和加载课件等操作。

经测试，当用户数量达到在 300 以下时，各项服务均能在 0.2s 内做出响应，服务器负载处于较低水平，课件加载也很快。当用户数达到 2000 服务响应时间维持在 0.8s 以内，但课件加载速度下降严重。当用户数达到 6000 时服务响应时间超过 1s，服务器负载也超过了 80%。

基于以上测试结果我们认为本虚拟仿真项目服务器的最佳响应并发数为 300。

6-2 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）

（1）计算机操作系统和版本要求

计算机操作系统为 Windows7、Windows8、Windows10

Deepin15.7（国产 Linux 系统）

（2）其他计算终端操作系统和版本要求

无

（3）支持移动端：☐是 ☒否

6-3 用户非操作系统软件配置要求（兼容至少 2 种及以上主流浏览器）

（1）非操作系统软件要求（支持 2 种及以上主流浏览器）

☒谷歌浏览器 ☐IE 浏览器 ☒360 浏览器 ☐火狐浏览器 ☐其他

（2）需要特定插件 ☐是 ☒否

如勾选“是”，请填写：

插件名称：（插件全称）

插件容量：M

下载链接：http://dl.hdmool.com/tools/chrome_x64.exe

（3）其他计算终端非操作系统软件配置要求（需说明是否可提供相关软件下载服务）学生需要在 Windows7、Windows8、Windows10 系统环境下，使用以下浏览器打开：

浏览器类型	支持 WebGL	不支持 WebGL
Mozilla Firefox 52 及以上版本	支持	
Google Chrome 57 及以上版本	支持	
Apple Safari 11 及以上版本	支持	
MS Edge 16 及以上版本	支持	
360 浏览器	基于（Chrome）内核，并且开启极速模式、智能开启硬件加速情况下支持存在右键划线问题，属于浏览器自身设置原因，关闭浏览器鼠标手势即可。	基于（IE）内核，不支持

浏览器:Google Chrome

6-4 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）

（1）计算机硬件配置要求

Web 端 用户硬件要求

处理器：Intel（R）Core（TM）i5

主频：2.4GHz

内存：8GB

显卡：NVIDIA GeForce GTX GT740 2G

（2）其他计算终端硬件配置要求

无特殊要求，满足能上网功能即可。

6-5 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）

（1）计算机特殊外置硬件要求

无

（2）其他计算终端特殊外置硬件要求：●无 ○有

如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：

6-6 网络安全（实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证）

（1）证书编号：32011443002-19001

（2）请附信息系统安全等级保护备案证明



7. 实验教学技术架构及主要研发技术

指标	内容
系统架构图及简要说明	本系统是基于 B/S 架构设计的虚拟仿真实验教学平台。系统采用轻量化的开发语言和模块化设计方案，部署简单、使用方便。系统支持分布式部署方案，可随使用情况动态扩充容量，基于容器化部署还可实现自动扩容，无需人为干预。 系统包含实验实训、实验报告、实验指南、数据统计、考试系统、帮助中心、收费系统、安全中心、资源中心、协同服务、学问系统和知识角等功能模块。系统除支持虚拟仿真实验外还可上传视频和其它文档资料，支持系统化课程体系学习。系统可对学生实验、学习数据做详细记录并分析每个学生的学习情况和整体学生知识掌握情况，实验报告系统可对学生提交的实验报告进行自动批阅也可由教师人工批阅或学生相互阅评。 系统用户可分为教师和学生两种角色。教师可发布实验资源、建设实验课程、设置课程共享信息、可查看发布课程的学习情况、可批阅学生实验报告和考试。学生可报名参与课程，可观看报名课程的视频操作课程的实验资源，可查看个人的学习情况，可评价学习课程、参与课程讨论，可参与实验报告互评等。

实验教学	开发技术	☒ VR ☐ AR ☐ MR ☐ 3D 仿真 ☐ 二维动画 ☐ HTML5 ☐ 其他
	开发工具	☒ Unity3D ☒ 3D Studio Max ☒ Maya ☐ ZBrush ☐ SketchUp ☐ Adobe Flash ☐ Unreal Development Kit ☐ Animate CC ☐ Blender ☐ Visual Studio ☐ 其他

	运行环境	服务器 CPU <u>16</u> 核、内存 <u>32GB</u> 、磁盘 <u>1000GB</u> 、 显存 <u>16GB</u> 、GPU 型号 <u>NVIDIA GRID K1</u> 操作系统 ☐ Windows Server ☒ Linux ☐ 其他 具体版本： 数据库 ☒ Mysql ☐ SQL Server ☐ Oracle ☐ 其他 备注说明 （需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时 请说明） 是否支持云渲染 ：○是 ●否
	实验品质(如： 单场景模型总 面数、贴图分 辨率、每帧渲 染次数、动作 反馈时间、显 示刷新率、分 辨率等)	单场景模型总面数： 40 万三角面 贴图分辨率： 512*512 每帧渲染次数： 30fps 动作反馈时间： 1/90s 显示刷新率： 60HZ 分辨率： 4K

8. 实验教学课程持续建设服务计划

（本实验教学课程今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数）

（1）课程持续建设

日期	描述
第一年	不断加入国内外相关领域最新研究成果，并不断丰富方法以及设备；
第二年	根据教学及学生的学习实践情况，及时反馈和更新，持续改进相关教学评价机制；
第三年	推进虚拟仿真实验教学项目开放共享的教学绩效激励机制；
第四年	建立高校间相关实验教学项目成绩互认、学分转换机制；
第五年	最终努力达到国际先进水平，促进科研成果向实验教学的进一步转化。

其他描述:

脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验教学是基于全民健身与全民健康深度融合发展的前景以体育学科发展背景建立, 始终坚持以培养运动人体科学、运动康复等专业学生的创新能力为宗旨。在崇尚科技体育、科学运动的当下, 本项目还有很大的上升与拓展空间。因此, 本实验教学项目今后 5 年每年至少 20% 的内容更新。

(2) 面向高校、社会的教学推广应用计划

日期	推广高校数	应用人数	推广行业数	应用人数
第一年	2	2000	1	750
第二年	5	4500	3	1400
第三年	8	8500	6	2300
第四年	10	15000	9	4800
第五年	15	20000	13	7000

其他描述:

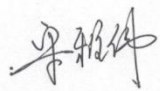
面向高校的教学推广应用计划

目前的脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验教学已经在本校的运动人体科学、运动康复等专业有了一定的实验基础, 能够为此次项目的构建形成先进的实验平台。在此后的 5 年中, 将进一步加强与西部地区高校的合作交流, 搭建康复生物力学虚拟仿真实验教学的共享平台, 达到资源实时共享, 在线联网教学的效果, 使教研成果与实验成果相结合。最终能够加强国内外校际间的深度合作交流。

面向社会的推广应用计划

一直以来, 本校的运动人体科学和运动康复专业的实践教学都与地方体育行业、康养行业卫生机构和社区街道等联系紧密, 在此基础上, 脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验项目的进行, 将进一步促进与社会企事业单位的交流合作, 让学生在实践中学业成长, 进而培养一批能够促进科技体育、科学运动发展的专业人才培养。同时, 能够在与社会服务的交叉教学中, 将脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验教学运用满足更广泛的社会需求, 以促进专业建设和校地合作的协调发展。每年面向社会开设 6 期“脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验教学服务”。

9. 知识产权

软件著作权登记情况	
以下填写内容须与软件著作权登记一致	
软件名称	脊柱运动康复生物力学虚拟仿真实验教学软件 V1.0
是否与课程名称一致	☒ 是 ☐ 否
每栏只填写一个著作权人，并勾选该著作权人类型。如勾选“其他”需填写具体内容；如存在多个著作权人，可自行增加著作权人填写栏进行填报。	
著作权人	著作权人类型 ☐ 课程所属学校 ☐ 企业 ☒ 课程负责人 ☐ 学校团队成员 ☐ 企业人员 ☐ 其他
权利范围	全部权利
软件著作登记号	2019SR0938756
如软件著作权正在申请过程中，尚未获得证书，请填写受理流水号。	
受理流水号	
10. 诚信承诺 本团队承诺：申报课程的实验教学设计具有一定的原创性，课程所属学校对本实验课程内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源）享有著作权，保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。 实验教学课程负责人（签字）：  2021年5月18日	

11. 附件材料清单

1. 课程团队成员和课程内容政治审查意见（必须提供）

（申报课程高校党委负责对本校课程团队成员以及申报课程的内容进行政审，出具政审意见并加盖党委印章；团队成员涉及多校时，各校党委分别对本校人员出具意见；非高校成员由其所在单位党组织出具意见。团队成员政审意见内容包括政治表现、是否存在违法违纪记录、师德师风、学术不端、五年内是否出现过重大教学事故等问题；课程内容审查包括价值取向是否正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述是否准确无误，对于国家主权、领土表述及标注是否准确，等等。）

2. 课程内容学术性评价意见（必须提供）

〔由学校学术性组织（校教指委或学术委员会等），或相关部门组织的相应学科专业领域专家（不少于3名）组成的学术审查小组，经一定程序评价后出具。须由学术性组织盖章或学术审查小组全部专家签字。无统一格式要求。〕

3. 校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为课程有关学术水平、课程质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由课程应用高校或社会应用机构等出具。评价意见须经相关单位盖章，以1份为宜，不得超过2份。无统一格式要求。）

