

骨骼肌收缩功能综合仿真实验项目的开发与应用

孟婷婷 程薇薇 高祎凡 马怀芬 侯亚妮
(西安培华学院医学院 陕西西安 710125)

摘要: 神经支配骨骼肌运动过程中的神经-肌接头处兴奋传递, 该过程无法在机能实验室等真实实验下完成, 《骨骼肌收缩功能综合仿真实验项目》利用 VBL-100 医学机能虚拟实验教学系统, 一方面使真实实验中难以实现的某些操作过程通过虚拟仿真实验得以实现, 另一方面实现了神经支配骨骼肌运动过程实验的连续性, 将神经兴奋的传导, 兴奋传递给骨骼肌, 骨骼肌兴奋-收缩偶联, 骨骼肌实现收缩四个过程连贯的呈现给学生, 使学生深入理解人体运动系统功能的实现过程; 虚拟实验实现了实验的连贯性, 使学生深入理解人体运动系统功能整体性。此外, 该虚拟实验还可通过改变钙离子浓度、神经末梢乙酰胆碱的释放等因素来诠释影响骨骼肌收缩的因素, 为学生进一步临床疾病的学习打下基础。

关键词: 神经支配骨骼肌运动 VBL-100 医学机能虚拟实验教学系统 虚拟仿真实验项目

基础医学为医学生的必修课程, 其学习效果直接影响后期临床课程和科研实训。但是鉴于医学知识复杂难懂, 有些实验无法及时完成, 并且在真实实验室很难对学生开展, 在一定程度上影响了创新型、复合型人才的培训, 因此迫切需要开展虚拟仿真实验项目, 与实体教学和真实实验相互补充, 以弥补实体教学的不足^[1]。机能学实验中的骨骼肌收缩功能综合仿真实验项目就是利用 VBL-100 医学机能虚拟实验教学系统完成现实中难于实现的综合性实验^[2], 一方面使真实实验中难以实现的某些操作过程通过虚拟仿真实验得以实现, 另一方面实现了神经支配骨骼肌运动过程实验的连续性, 将神经兴奋的传导, 兴奋传递给骨骼肌, 骨骼肌兴奋-收缩偶联, 骨骼肌实现收缩四个过程连贯的呈现给学生, 使学生深入理解人体运动系统功能的实现过程; 此外, 该项目还可以通过改变钙离子浓度、神经末梢乙酰胆碱的释放等因素来诠释影响骨骼肌收缩的因素, 为学生进一步临床疾病的学习打下基础。为了使学生更好的理解人体如何完成运动功能, 神经系统如何控制肌肉运动, 理解神经支配骨骼肌运动过程的连续性, 这是在机能实验室中难于实现的综合性实验, 包括神经兴奋的传导, 兴奋在神经-肌肉接头处的传递, 骨骼肌的兴奋-收缩偶联以及骨骼肌收缩原理, 整个过程连贯的呈现给学生, 我们通过 VBL-100 基础医学虚拟仿真实验教学系统, 模拟与运动神经调控相关的实验项目, 在移动设备、电脑等客户端通过虚拟操作, 仿真感受实验操作过程, 通过实时交互, 让学生深入理解人体运动系统功能的实现过程^[3]。

该实验教学项目通过虚拟仿真实验教学项目运行平台, 能够对学生的知识掌握情况、实验的操作情况进行实时考核, 作为对该虚拟仿真实验教学项目的评价, 是对以往一次最终考核方式的有效补充^[4]。骨骼肌收缩功能综合仿真实验项目, 使传统较分离胡实验项目实现连贯性, 大大补充了实体教学的不足^[5]。此外, 该实验教学项目可通过开放性、扩展性的虚拟仿真实验教学项目运行平台, 使学生能够在电脑、手机、iPad 等移动设备的终端随时随地进行学习, 反复巩固所学习的形态学结构内容和反复进行模拟实验的操作。大大提高了学生的实验学习兴趣, 自主学习能力及实践创新能力也逐步提高。

一、实验教学项目技术架构及研发技术

1. 项目总体框架

本虚拟仿真实验教学项目“骨骼肌收缩功能综合仿真实训项目”可实现对基础医学等学科的相关实验课程面向国内各大中专院校开展虚拟仿真实验教学, 以网络技术、计算机仿真技术、医学虚拟仿真教学平台为依托, 集实物仿真、创新设计、智能指导、虚拟实验结果自动批改和教学管理于一体, 是具有良好的自主性、交互性和可扩展性的实验教学项目。系统架构图如下:

如图所示, 本虚拟教学实验项目将分为四层, 每层都为虚拟实验教学项目提供服务, 直到完成整个虚拟实验教学课程的任务。

2. 框架说明

(1) 基础层

本虚拟实验教学项目是以网络服务器为基础, 采用学校教育网

和互联网, 让学生随时随地可以访问服务器上的虚拟课件。服务器采用刀片式, 托管于校园网管中心, 提供 7*24 小时的服务, 具有安全性, 可靠性。



(2) 支撑层

平台层是本实验教学项目进行教学管理的核心框架, 是完成与传统实验教学无缝对接的重要手段。西安培华学院医学院已经拥有医学虚拟仿真实验教学管理平台, 该平台包括: 身份认证、课件管理、班级管理、考试管理、学习统计、实验报告提交和批阅、师生互动等功能。学生登录该平台后, 可以对本实验项目进行预习小测验, 阅读教学课件 ppt, 完成虚拟课件的实验项目, 提交实验报告和教师布置的课后测验。教师可以通过该平台查看学生对该实验项目的学习情况, 批改实验报告, 布置作业和互动答疑。

(3) 仿真层

仿真层主要是采用主流的 Adobe Flash 仿真动画技术, 结合 3DMax 三维场景建模工具, 利用数学模型完成对实验波形的实时仿真, 实现本虚拟实验项目中仪器、场景、波形的可视化, 通过知识点设计, 利用提问, 选择题等多种方式实现互动操作, 强化知识点学习, 符合教学大纲要求。

(4) 应用层

应用层包括学生可以学习的所有教学材料, 本虚拟实验课件是整个虚拟实验教学项目的主要组成部分, 按实验教学大纲的要求, 主要功能模块包括: 病案的引入、实验目的、实验原理、实验模拟、实验结果分析、思考题、自主拓展实验等。

二、实验教学项目内容与设计过程

1. 实验原理

(1) 神经干在受到有效刺激后, 可产生动作电位, 标志着神经发生兴奋。坐骨神经干是由很多不同类型的神经纤维组成的, 所以神经干的动作电位是复合动作电位。复合动作电位的增幅在一定刺激强度下是随刺激强度的变化而变化;

- (2) 神经-肌接头处兴奋传递的电-化学-电过程;
- (3) 骨骼肌兴奋-收缩耦联的过程和机制;
- (4) 不同的刺激频率可使肌肉出现不同的收缩形式: 单收缩、不完全强直收缩、完全强直收缩;
- (5) 腓肠肌是由许多肌纤维组成的, 各条肌纤维的兴奋性并不相同, 因此, 用单个刺激直接(或通过神经间接)刺激腓肠肌时, 如刺激强度太弱, 则不能引起肌肉收缩, 只有当刺激强度达到一定数值时, 才能引起肌肉收缩。当刺激增大到某一强度时, 肌肉将出现最大的收缩反应。在一定范围内, 骨骼肌收缩的大小与刺激强度呈正变关系。

2. 实验目的

- (1) 学习离体神经干动作电位的记录方法, 了解坐骨神经干产生动作电位后其兴奋性的规律性变化;
- (2) 理解神经-肌接头处兴奋传递的过程, 了解内环境变化对神经-肌接头处兴奋传递的影响作用;
- (3) 了解骨骼肌兴奋-收缩耦联的过程;
- (4) 了解骨骼肌的收缩机制; 通过改变刺激的频率及强度, 观察肌肉收缩形式及刺激的频率、强度与肌肉收缩的关系。

3. 实验装置、材料

- (1) 实验对象: 蟾蜍;
- (2) 实验药品: 任氏液
- (3) 实验器材: 毁髓针、直剪、玻璃分针、双凹夹、眼科剪、蛙板、蛙钉、神经屏蔽盒、蛙类手术器械、铁架台、张力换能器。
- (4) 实验装置: VBL-100 医学机能虚拟实验教学系统

4. 实验教学方法

在神经支配骨骼肌运动过程中的神经-肌接头处兴奋传递, 该过程无法在机能实验室等真实实验下完成, 利用 VBL-100 医学机能虚拟实验教学系统, 可给学生提供虚拟实验操作环境进行操作, 该实验具体操作包括: ①神经冲动传到轴突末, 膜 Ca^{2+} 通道开放, 膜外 Ca^{2+} 向膜内流动; ②接头前膜内囊泡中 ACh 释放; ③ACh 在突触间隙弥散; ④ACh 弥散至突触后膜(终板膜)与其受体结合; ⑤终板膜对 Na^+ 、 K^+ (尤其是 Na^+) 通透性增加; ⑥终板膜去极化, 产生终板电位; ⑦终板电位电紧张性扩布至肌膜; ⑧去极化达到阈电位, 爆发肌细胞膜动作电位。

虚拟实验实现了实验的连贯性, 使学生深入理解人体运动系统功能整体性。此外, 该虚拟实验还可通过改变 Ca^{2+} 浓度、神经末梢乙酰胆碱的释放等因素来诠释影响骨骼肌收缩的因素, 为学生进一步临床疾病的学习打下基础。

5. 实验步骤和要求

实验方法描述: 通过 VBL-100 医学机能虚拟实验教学系统, 模拟与运动神经调控相关的实验项目, 实现神经支配骨骼肌运动过程实验的连续性, 将神经兴奋的传导, 兴奋传递给骨骼肌, 骨骼肌兴奋-收缩耦联, 骨骼肌实现收缩四个过程连贯的呈现给学生, 使学生深入理解人体运动系统功能的实现过程。

学生交互性操作步骤说明:

5.1 神经干动作电位的引导

- (1) 实验准备(清洗蟾蜍、抓取蟾蜍、纱布包裹蟾蜍、制备脊蛙、蟾蜍的剥皮与固定、固定脊椎板后肢标本);
- (2) 分离坐骨神经, 游离坐骨神经置于盛有任氏液的培养皿中备用;
- (3) 将屏蔽盒与 BL420A 生物信号采集系统连接起来;
- (4) 将游离坐骨神经置于屏蔽盒中引导出神经干动作电位;

5.2 神经肌肉接头处兴奋的传递

- (5) 神经冲动传到轴突末, 选择离子通道 (Ca^{2+}), 通道开放, 选择例子流动的方向(膜外向膜内流动);
- (6) 选择接头前膜内囊泡中释放的递质(ACh), 递质在突触间隙弥散, 至突触后膜(终板膜)与其受体结合;
- (7) 终板膜对 Na^+ 、 K^+ (尤其是 Na^+) 通透性增加, 选择终板膜状态(去极化), 产生终板电位(EPP); 终板电位电紧张性扩布至肌膜, 使肌膜去极化达到阈电位爆发肌细胞膜动作电位。

5.3 骨骼肌兴奋收缩耦联

(8) 肌细胞膜上的电兴奋(AP)通过横管系统传向肌细胞深处, 三联管处的兴奋传递: 横管膜兴奋→选择终池膜离子通道开放(Ca^{2+})→终末池中的 Ca^{2+} 流至肌浆中→肌浆中 Ca^{2+} ↑→骨骼肌的收缩过程。

5.4 肌丝滑行

(9) 肌膜 AP 沿横管膜传至三联管, 终池膜上的 Ca^{2+} 开放, 终池内 Ca^{2+} 进入肌浆, 选择 Ca^{2+} 结合蛋白(肌钙蛋白)结合, 引起肌钙蛋白的构型改变;

(10) 原肌凝蛋白发生位移, 暴露出细肌丝上与横桥结合位点, 横桥与结合位点发生什么状态(结合), 激活 ATP 酶作用, 分解 ATP, 横桥摆动, 出现什么结果(细肌丝向粗肌丝滑行)。

5.5 不同刺激强度和频率对肌张力变化的影响

- (11) 分离坐骨神经和腓肠肌(设置分离用器械选项)
- (12) 暴露坐骨神经和腓肠肌(设置棉线结扎的位点选项)
- (13) 将张力传感器和 BL420A 生物信号采集系统连接起来(连接点图片展示)
- (14) 离断腓肠肌并固定于张力传感器上, 同时将引导电极搭在坐骨神经上。(图片展示)
- (15) 改变不同刺激强度和刺激频率, 观察张力变化波形图(动态展示波形图变化)

6. 实验结果与结论要求

动作电位的传导是已兴奋的膜通过局部电流刺激未兴奋部分的膜, 使之出现动作电位, 表现为兴奋在整个细胞的传导。神经干是由许多神经纤维组成的, 电刺激神经干时, 神经纤维也能产生动作电位, 且可在神经干表面被记录到, 这是多个神经纤维的动作电位的总和, 称为复合动作电位, 在一定范围内随着刺激强度的增加而增加。在阈刺激强度与最大刺激强度之间, 腓肠肌的收缩力随着刺激强度的增大而增大, 刺激强度大于最大刺激强度, 腓肠肌的收缩力不再增大; 随着频率刺激的逐渐增大, 腓肠肌的收缩力不断增加, 到完全强直收缩后, 再增加刺激频率, 腓肠肌的收缩力增大趋缓。

三、实验教学项目持续建设服务计划

进一步对“骨骼肌收缩功能综合仿真实验项目”进行内容充实, 教学团队、考核方式等继续建设, 充实完善后将该项目单独作为实验教学项目纳入临床专业培养方案中, 并进一步制订和完善相关教学效果评价办法; 同时做到项目建设的更新与升级, (1) 特色与创新资源项目建设和更新: 建设具有专业特色对虚拟仿真实验项目, 增加功能设计, 满足教师和学生对于创新型实验的设计需求; (2) 虚拟仿真管理平台建设和更新: 增强平台对优质资源的共享能力和稳定性, 满足更大的用户并发访问, 加强虚拟统一管理。考虑虚拟仿真实验教学资源的共享状况, 提出校企共享、校校共享、社会共享的计划与安排。逐步把一些有关大众健康的虚拟仿真实验共享到社会, 以利于知识的更广泛传播。

参考文献

- [1] 冯军, 潘克俭, 李丽等. 浅谈国家级医学虚拟仿真实验教学中心的建设与发展[J]. 科技创新导报, 2019, 16(21): 245-246+250.
- [2] 窦环, 夏天娇, 丁洁等. 基础医学实验的“教”与“学”——线上线下混合式教学模式下的虚拟仿真实验教学项目建设[J]. 高校医学教学研究(电子版), 2020, 10(01): 40-43.
- [3] 陈立松, 盖晓东, 历春. 虚拟实验系统在医学机能实验教学中的应用体会[J]. 吉林化工学院学报, 2015, 32(12): 99-100+112.
- [4] 刘莉萍. VBL-100 医学机能虚拟实验软件在生理学实验教学中的应用与体会[J]. 中国现代教育装备, 2016(23): 1-2.
- [5] 童学红, 李利生, 韩艳芳等. 关于人体骨骼肌收缩功能实验的探讨[J]. 继续医学教育, 2021, 35(12): 46-48.

作者简介: 孟婷婷, 女, 副教授, 从事机能学教学研究。

基金项目: 西安培华学院 2021 年教育教学改革研究重点项目《3D 虚拟仿真技术在智慧化机能学实验室建设中的应用》(PHJG2116)