

申报编号：2021-207060

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： 磁共振成像原理与序列应用
 虚拟仿真实验

专业类代码： 0826

负责人： 孙钰

联系电话： 18652944678

申报学校： 东南大学

填表日期： 2021 年 4 月 25 日

推荐单位： 东南大学

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	磁共振成像原理和序列应用虚拟仿真实验	是否曾被推荐	○是 ●否
实验所属课程 (可填多个)	医学成像原理		
性质	○独立实验课 ●课程实验		
实验对应专业	生物医学工程		
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	<input checked="" type="checkbox"/> 高危或极端环境 <input checked="" type="checkbox"/> 高成本、高消耗 <input type="checkbox"/> 不可逆操作 <input checked="" type="checkbox"/> 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 2 次: 1. 2019 年 9 月 16 日至 2020 年 1 月 24 日, 36 人 2. 2020 年 9 月 28 日至 2021 年 1 月 31 日, 42 人		
有效链接网址	http://xnfz.seu.edu.cn/exp/272.html (推荐使用 Chrome 浏览器打开)		

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	孙 钰	1974.11	东南大学	东南大学-伯明翰大学生物医学工程联合中心执行主任	教授	18652944678	sunyu@seu.edu.cn	课程总负责
2	万遂人	1953.09	东南大学	中国生物医学工程学会副理事长	教授	13951780069	srwan@seu.edu.cn	课程教学 课程规划
3	张 宇	1974.04	东南大学	生物科学与医学工程学院党委书记	研究员	13851450615	zhangyu@seu.edu.cn	教学规划 在线教学服务
4	付德刚	1967.03	东南大学	生物医学工程国家级实验教学示范中心(东南大学)主任	教授	13851637723	fudegang@seu.edu.cn	教学指导 在线教学服务

5	周光泉	1978.09	东南大学	生物科学与医学 工程学院智能医 学系副系主任	副研 究员	13813882908	guangquan. zhou@seu. edu.cn	课程教学 实验方法设计 在线教学服务
---	-----	---------	------	------------------------------	----------	-------------	-----------------------------------	--------------------------

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	冷玥	1981.08	东南大学	生物科学与 医学工程学 院副院长副 院长	副教授	教学设计 课程规划
2	涂景	1982.04	东南大学	生物科学与 医学工程学 院副院长	副教授	教学设计
3	王树杰	1993.01	南京医科大学附属儿童医院	住院医师	无	实验流程设计 临床数据采集
4	王治昊	1995.01	东南大学	无	无	开发 在线教学服务
5	梁嘉炜	1997.10	东南大学	无	无	开发 在线教学服务
6	沈靖菲	1999.08	东南大学	无	无	开发 在线教学服务
7	刘苏锐	1997.12	东南大学	无	无	开发 在线教学服务
8	路 畅	1992.06	南京恒点信息技术 有限公司	无	无	系统开发 技术支持
9	王 宇	1992.05	南京恒点信息技术 有限公司	无	无	UI 设计 美术制作
10	郑馨语	1992.03	南京恒点信息技术 有限公司	无	无	软件开发 技术支持

团队总人数：15 人 其中高校人员数量：11 人 企业人员数量：4 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. 团队主要成员近 5 年来承担该实验教学任务情况

团队主要成员长期致力于国家双一流 A+ 学科——生物医学工程的核心专业课程的教学和实验工作，结合了生物电子学、脑科学、医学影像和人工智能等多种学科和技术，开设了医学成像、医学图像处理、医学仪器设计原理等相关实验教学环节，2 次开展《磁共振成像原理和序列应用》虚拟仿真实验教学。近五年参与学生约 600 人次，参与学时逾

560 多个。负责人孙钰教授是东南大学-伯明翰大学生物医学工程联合中心执行主任，主要负责本校和国际一流大学在科研和教学方面的全面国际化合作，并负责建设生物医学工程核心专业课程的全英文教学和国际化团队。

2. 负责人教学研究的情况

[1] 2018 年 6 月至今，主持《磁共振成像原理与序列应用虚拟仿真实验》实验课程，该课程已获首批省级一流本科课程认定。

[2] 2020 年 7 月至 2021 年 10 月，主持东南大学校级在线开放课程建设：医学成像。

[3] 2020 年 10 月至 2022 年 10 月，主持东南大学校级全英文精品课程建设：Medical Imaging。

3. 负责人学术研究的情况

科研项目：

[1] 2019 年 1 月至 2019 年 12 月，主持中央高校基本科研业务费专项资金资助，国际合作项目：基于深度学习的儿童后颅窝肿瘤的影像组学研究。

[2] 2019 年 10 月至 2021 年 10 月，主持江苏省产业技术研究院、伯明翰大学、东南大学三方资助，国际合作项目：多模态磁共振成像的 AI 脑肿瘤辅助决策系统。

[3] 2017-09 to 2020-09, Co-PI, Institute of Cancer and Genomic Sciences, University of Birmingham, Cancer & Genome FT A300 1787009, Diagnosing Brain Tumours through Functional Imaging and Machine Learning.

学术论文：

[1] Jin Hong; Zhangzhi Feng; Shuihua Wang; Andrew Peet; Yu-Dong Zhang*; Yu Sun*; Ming Yang*; Brain Age Prediction of Children using Routine Brain MR images via Deep Learning, Frontiers in Neurology, 2020, 11:584682.

[2] Bing Zhang#; Rui Hua#; Zhao Qing#; Ling Ni; Xin Zhang; Hui Zhao; Renyuan Liu; Jiaming Lu; Sichu Wu; Yun Xu; Bin Zhu*; Suiren Wan*; Yu Sun*; Abnormal Brain Functional Connectivity Coupled with Hypoperfusion Measured by Resting-State fMRI: An Additional Contributing Factor for Cognitive Impairment in Patients with Alzheimer's Disease; Psychiatry Research: Neuroimaging; 2019.07.30; 289; 18-25.

[3] Yaqing Huang#; Yuting Liu#; Dadi Zhao; Bin Liu; Huixin Zhang; Zhichun Huang; Ben Babourina-Brooks; Andrew C.Peet; Lingling Zhang; Yuan Feng; Ting Cheng; Ming Yang*; Yu Sun*; Small-world properties of the whole-brain functional networks in patients with obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome; Sleep Medicine; 2019.09; 62; 53-58.

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）

1. 实验必要性及实用性

（1）该实验旨在响应习总书记号召加快补齐我国高端医疗设备短板，培养新时代具有家国情怀和国际视野的国产高端医疗设备的高层次医工人才，加快关键核心技术攻关，突破技术装备瓶颈，实现高端医疗装备的自主可控。

“健康中国 2030”行动的提出，对培养医工人才提出了更高要求，需要更多拥有高技术的高水平、高层次医工人才，以推动健康中国建设，提高人民健康水平。磁共振设备是技术含量和附加值最高的医学影像设备之一，也是当前显示大脑结构和功能过程最重要的可视化工具。但是，国产高端医疗装备的发展存在严重的技术瓶颈和高端人才短缺的问题。本虚拟仿真实验将前沿磁共振科研成果反哺于实验教学，坚持全员、全过程、全方位“三全育人”，将思想政治工作融入人才培养各环节，推动价值塑造、知识教育与能力培养“三位一体”有机结合。旨在培养未来能够在生物医学工程及相关领域从事科学研究、技术开发和管理等高层次工作，有志为国家重大医疗设备国产化做出杰出贡献，具有家国情怀和国际视野，并可担当引领未来和造福人类使命的医工行业一流领军人才。

（2）该实验解决了因医疗器械设备昂贵且受制于医学伦理及临床诊疗规范而难以进入课堂教学的难题，是高端医疗器械设备课堂实验教学的新尝试

一方面，磁共振成像本身的原理非常抽象与复杂，涉及物理、化学、电磁学、信号理论等多门学科；另一方面，医学成像设备实验成本高，单机造价上千万元，且临床实验受制于医学伦理及临床诊疗规范，学生无法在真实人体上进行反复操练，不利于理论和实践的结合以及批判和创新思维的建立。因此，迫切需要一种能充分揭示磁共振成像原理和应用的虚拟仿真教学系统，弥补传统课堂教学中“纸上谈兵”的不足之处

（3）该实验是对生物医学工程专业核心课程《医学成像原理》的重要支撑，将前沿磁共振科研成果反哺于实验教学，以全新的方式培养学生解决复杂医学成像技术和应用问题的综合能力

《医学成像原理》是生物医学工程的核心主干课程，其中磁共振部分是学生最难掌握的部分。因此本实验课程实施系列改革，采用“项目式教学”和“以学生为中心”的教学形式。实验过程中学生根据不同的临床扫描任务，用所学理论知识运用于序列参数

的设计，锻炼学生将医学成像理论与实践应用结合的能力，培养学生解决复杂医学成像技术问题的综合能力。实验结束后的小组研讨也锻炼了学生交流沟通的表达能力，以及思辨能力。

2. 教学设计的合理性

本项目教学设计合理，内容严谨详实，教学过程由易到难、由理论到实践，遵循学生学习规律，具体情况如下：

（1）教学内容设计从磁共振成像原理到医学应用出发，兼具创新性与高阶性

教学内容设计重视理论知识与实验应用相结合，根据课程大纲选取理论知识，实验应用内容全面真实。致力于培养学生解决复杂医学成像问题的能力和高级思维。

理论知识内容设计：医学成像是新兴的、发展迅速的交叉学科，是现代医学的重要组成部分和衡量医学水平高低的主要标志。本实验理论知识教学内容按照《医学成像原理》课程的参考教材 *Introduction to Medical Imaging* 中的磁共振知识点总结设计，覆盖课程的全部理论知识内容，具有较高学习难度，满足学生学习需求。

实验应用内容设计：以让学生掌握磁共振扫描技术与分析基本流程为指导思想设计实践应用内容，涉及临床应用全过程。根据南京医科大学附属儿童医院的磁共振扫描间和控制室等真实场景进行虚拟仿真 3D 建模，实验操作尽可能还原现实工作情境，仿真扫描结果最大化地取自真实临床数据。

（2）教学环节层层递进，从磁共振成像的基本原理、核心知识至应用方法，遵循学生学习规律

教学环节设计由易到难，由知识理解到实践应用，遵循学生的学习规律。包含 4 个层层相扣的实验教学环节：“磁共振物理基础”和“磁共振信号基础”着重讲述磁共振物理的微观原理，以及磁共振信号的产生机制；“成像设备和成像原理认知”展示了磁共振扫描间的布局和硬件部件的功能，原理认知部分介绍 K 空间的形成和磁共振影像的生成过程；“扫描和成像质量控制和评估”模拟了真实磁共振扫描的过程，包括序列选择和参数设定。学习者可以在仿真情境中，循序渐进学习磁共振成像的基本原理、核心知识和应用方法。

（3）学生为中心的教学理念与项目式的教学方法相结合，培养学生自主探索、独立思考的能力

打破传统单一的教学方式，创新教学方法。以学生为中心的理念贯穿课程全过程，

采用灵活多样的学习方法，调动学生学习兴趣，激发学生的学习潜力。使用自主教学、探究教学、互动式教学、任务驱动教学和合作学习的教学方法，将学习的主动权交给学生，以教师讲授为辅，学生自主探索为主，学生的学习结果取决于个体的课程学习情况，同时可以根据自己的能力水平和学习情况，自主安排深入探索的内容。

(4) 评价体系兼顾学生的知识掌握程度和灵活运用能力

本实验课程不仅要求学生磁共振成像原理涉及的知识点有深入的理解，还需要能够将其灵活地运用于实际的扫描任务中，对学生理论结合实践能力的要求较高。评分环节也精心设计了**函数赋分模型**，对不同专业基础和学习能力水平的学生具有明显的区分度，能为教师教学效果提供较为精准的参考。

3. 实验系统的先进性

(1) 仿真实验内容的先进性

基于拉莫尔定律对主磁场强度、磁旋比、质子自旋进行建模，并开发了支持用户交互的动画，内建模型对于学生的操作进行**实时运算仿真**，并实时绘制更新波形。在虚拟扫描环节中，针对磁共振序列类型和序列参数组合多，导致图像总量巨大的问题，本实验开发时采用了**主成分分析的压缩算法**，将图像总容量压缩，使得实验**克服在线平台容量的限制**，能流畅地运行。

(2) 软件开发技术的先进性

此虚拟仿真系统采用 C# 开发语言，基于 Unity 开发引擎发布的 webgl 版本的应用，主要采用 websocket 协议实现与服务器的通信和数据传输，3DMAX 和 Maya 实现 3D 图形可视化。系统运行平台：**windows 8/windows 10**，火狐浏览器、谷歌浏览器（64 位）。用户使用轻便化，无需下载安装应用，直接打开网页即可运行该虚拟仿真系统。

3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

根据生物医学工程专业对医学成像原理的授课要求，通过本次实验，学生应当获得的知识与能力如下：

(1) 掌握磁共振成像技术的发展史和前沿应用。

(2) 深刻理解核自旋、磁旋比、拉莫尔频率和进动等物理概念，掌握磁共振现象的原理，理解磁共振的基本机制，了解其宏观现象的描述，学生能运用控制变量法，推理法验证拉莫尔公式的正确性。

(3) 掌握单个磁矩的合成、宏观磁化向量（磁矢）、旋转坐标系、RF 脉冲、磁矢的弛豫（ T_1 、 T_2 、 T_2^* ）、回波的形成、TE、TR、部分饱和效应的机制和概念，学生能运用等效的方法将复杂模型化简，掌握弛豫时间的概念与计算方法。

(4) 了解磁共振序列的基本定义和典型成像脉冲序列的选择和应用，掌握空间编码的概念和方法，K 空间的定义和图像重建的典型方法和过程，通过观察推理结合的方法，掌握 K 空间与实际图像空间的对应关系。

(5) 通过虚拟扫描的实验，掌握成像过程和图像质量的评估的指标学生自行设计、比对不同序列参数扫描方案的扫描结果，在试错与优化中掌握磁共振扫描参数设定的技巧。

3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时：

所属课程：《医学成像原理》

学时：32 学时

(2) 该实验所占课时：4 学时

3-4 实验原理

1. 实验原理(限 1000 字以内)

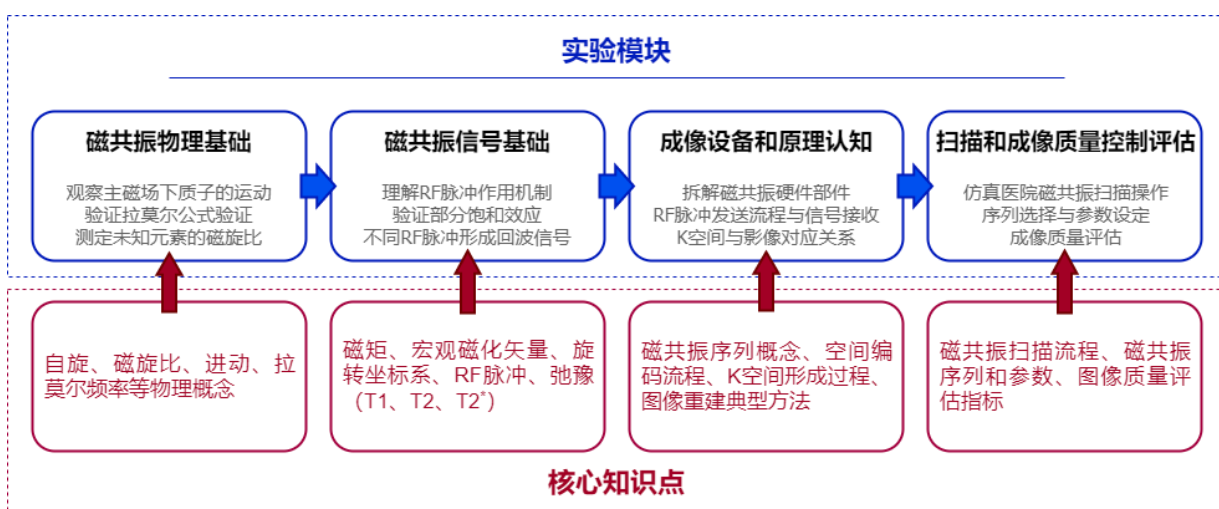


图 1 实验原理框图

本虚拟仿真实验围绕“磁共振成像”这一主题，设计了 4 个递进的实验环节，“磁共振物理基础”和“磁共振信号基础”从微观的角度演示磁共振物理的知识点，“成像设

备和原理认知”展示了磁共振扫描间的硬件设施与布局，以及 **K** 空间的形成和生成磁共振影像的过程，“扫描和成像质量控制和评估”模拟了真实磁共振扫描的过程，包括线圈选择、序列选择、参数确定等多个，递进式的实验环节，四个环节环环相扣，共设置了 **19** 个实验步骤，具体实验原理和结构见图 1。

磁共振物理原理：

通过观察 B_0 主磁场强度对磁矩进动频率的影响，了解不同种类的原子核磁矩进动频率的差异，运用拉莫尔定律测算未知元素。

磁共振信号形成原理：

通过认识旋转坐标系， 90° 脉冲与 T_1 弛豫， 180° 脉冲回波与 T_2 弛豫，验证部分饱和效应，让学生理解磁共振信号产生的关键步骤——回波形成的过程，对磁共振信号的形成过程的抽象过程有具体的认知。

磁共振成像设备原理：

通过高度仿真的磁共振扫描间，观察磁共振扫描设备的整体布置，学习和实践磁共振扫描仪硬件部件的结构与功能，使学生对磁共振系统有一个整体的认知，对各部分的功能也建立起清晰的认识。

磁共振成像过程和 K 空间原理：

深入理解磁共振编码和成像的全过程：从 RF 脉冲发射选层编码开启，到频率编码和相位编码，并逐行将 **K** 空间填补完整，最后重建为磁共振图像。通过频域滤波实验，让学生对高低频域与重建图像不同部分对应关系有深入的理解。

成像质量控制和评估原理：

学习临床实践中磁共振扫描前的安全检查、病人放置与线圈选择，临床磁共振扫描的基本流程和操作界面，进行基本序列的应用，为后面实验模式奠定基础。

实验模式侧重不同序列的应用，共有三个案例：正常案例、肿瘤案例、体模案例。共有 5 个序列供选择：自旋回波序列、反转恢复序列、梯度回波序列、平面回波序列、快速自旋回波序列。

正常案例着重学习不同序列下灰质、白质、脑脊液的图案对比度；**肿瘤案例**着重学习如何选择多种序列并调整参数突出肿瘤增强区、瘤周水肿区与正常脑组织的对比度；**体模案例**着重学习如何调整多种参数完成脂肪抑制和水抑制效果。学生可多次根据当前任务重新选择序列、更改参数进行扫描，直至获得最好的成像效果。

知识点：共 4 个

1. **磁共振物理基础**：核自旋、磁旋比、拉莫尔进动、拉莫尔定律。
2. **磁共振信号基础**：宏观磁化矢量、磁矢的分量、旋转坐标系、RF 脉冲、部分饱和和效应、磁矢的弛豫、回波的形成。
3. **磁共振系统部件**：外壳、超导磁体、梯度线圈、射频发射线圈、体表接收线圈、隔音部件、冷却系统。
4. **成像过程与序列应用**：成像序列、K 空间、图像空间、图像重建、对比度、信噪比、分辨率。

2. 核心要素仿真设计

(1) 情景仿真：“沉浸式”还原磁共振成像临床应用环境

本虚拟仿真实验的场景是根据南京医科大学附属儿童医院的磁共振扫描间和控制室等真实场景进行虚拟仿真 3D 建模，真实再现应用磁共振设备扫描病人的完整过程，增强了学生的“沉浸式”体验感。

(2) 设备仿真：直观展现磁共振硬件设备的硬件构造与成像过程

在“成像设备和原理认知”环节，通过由外入内的剖析方法，根据磁共振制造商提供的真实硬件数据进行 3D 建模，直观真实地再现了磁共振内部的硬件构造和成像过程，加深学生对磁共振设备和原理本身的认知和对所涉及的成像原理的理解。

(3) 交互仿真：“互动式”仿真呈现真实磁共振操作系统

在本实验中，学生操作的磁共振操作界面均是基于飞利浦公司的 3T 磁共振操作界面和系统开发设计的，增强了学生的真实体验感。

(4) 数据仿真：基于真实磁共振影像数据建立虚拟仿真案例

本实验所用的磁共振图像，大部分是在医院放射科的临床磁共振设备上得到的临床数据，已通过了伦理审核，保证了仿真实验数据的真实和准确性。

3-5 实验过程与实验方法

1. 实验教学过程

本实验共分为三个阶段：

(1) 认识实验背景和实验目的

第一阶段让学生对该门实验课程的学习目标有一个清晰的认知，同时还有一些磁共

振成像最前沿技术科技文献的推送供学生选读，让学生了解国际前沿和国内前沿的磁共振水平，激发学生对磁共振成像技术的学习兴趣。

(2) 完成四个递进式的实验模块

“磁共振物理基础”和“磁共振信号基础”从微观的角度演示磁共振物理原理，涉及自旋、磁旋比、拉莫尔频率等知识点；“成像设备和原理认知”展示了磁共振扫描间的硬件设施与布局，并演示了 RF 脉冲信号的发送与接收、K 空间的形成、影像重建的过程；“扫描和成像质量控制和评估”设计了具体的扫描案例：正常案例，肿瘤案例和体模案例，操作步骤包括线圈选择、序列选择和多个参数的设定，模拟临床磁共振扫描的场景，训练学生扫描参数设定的技巧。

(3) 评分讨论环节

系统会给出详细的分步骤评分报告，学生对照得分与相应评语分析失分原因，并通过讨论区实现师生间交流互动，对课程相关问题展开讨论。具体实验流程如图 2 所示。

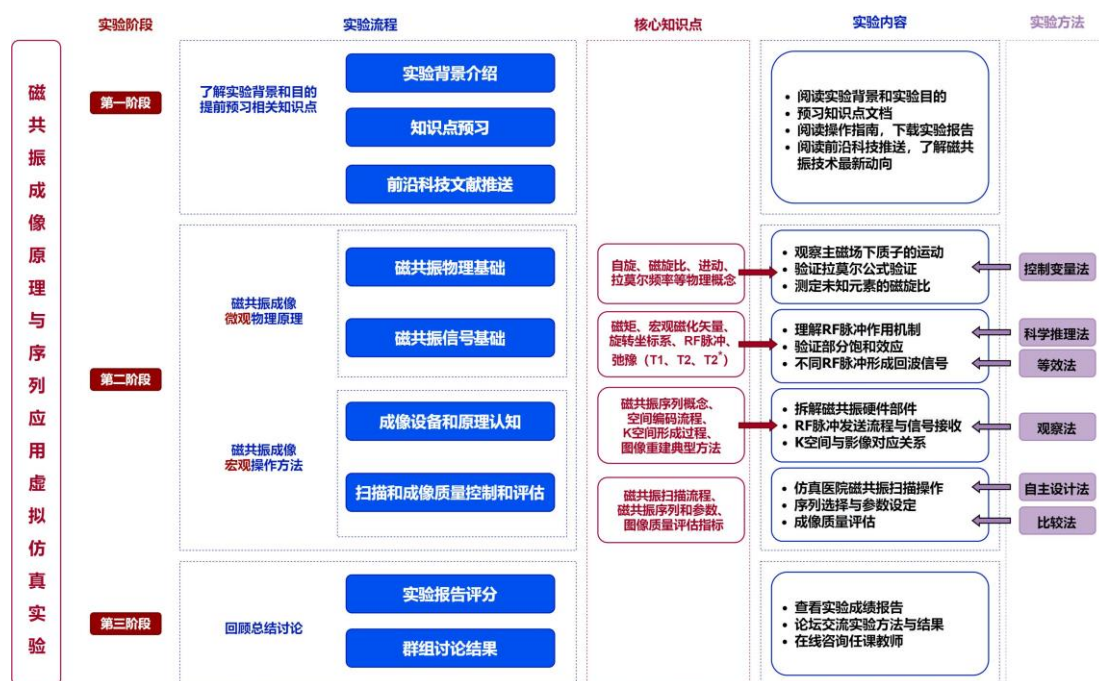


图 2 实验教学流程及实验方法图

2. 实验方法

本实验使用控制变量法、科学推理法、等效法、观察法、自主设计法和比较法等实验方法，使学生更好地理解磁共振基本原理，掌握具体操作分析技能。

控制变量法主要用于磁共振物理基础模块。该模块中的实验存在质子种类和磁场强

度这两个变量，先选定一种原子核，拖动滑动条改变主磁场 B_0 的大小，观察其进动波形的变化规律；随后固定主磁场大小不变，更换不同类型的原子核，由于磁旋比不同，不同原子核的进动频率不一样，故波形存在差别。通过控制变量的方法，学生将**分别理解两个变量对此举运动状态的影响，并掌握磁旋比、拉莫尔频率等知识点。**

科学推理法运用于磁共振信号形成模块部分饱和效应验证过程中，当学生观察到了短时间内密集的多个 RF 并不能一直起到同样的激发效果，故需要推理产生如此现象的原因，因为短时间内磁矩难以恢复，所以推得后面的脉冲仅仅作用在了恢复的部分，所以才能造成部分饱和效应的现象。通过这一实验方法，学生需要深刻理解磁矩在 RF 作用下翻转并恢复的过程，进而**掌握部分饱和效应的具体表现和形成原因。**

等效法主要用于磁共振信号形成模块。将分散进动的磁矩起点合到一起，进行矢量相加，相加的结果等效为合磁化矢量，经过等效简化过后，学生能**更清楚地观察到 RF 脉冲对磁矩的影响**，进而理解磁共振信号产生的机制。

观察法主要用于成像设备和原理认知模块。学生观察磁共振扫描间的空间布局，以及硬件结构和功能。学生观察**磁共振编码的全过程**，从 RF 脉冲发射选层编码开启，到频率编码和相位编码，并逐行将 K 空间填补完整，最后重建为磁共振影像。通过观察法，原本抽象难懂的磁共振信号发射与接收和 K 空间编码过程变得简洁明了，大大减少了学生理解的困难。

自主设计法和比较法主要用于磁共振虚拟扫描和成像质量控制和评估模块。学生根据具体需求选取自行选择不同的序列，设计与之对应的参数，以达到不一样的目的。内含**正常案例、肿瘤案例、体模案例**三个案例，让学生不同的扫描目标结果**自主设计扫描方案**，选择不同的序列，并设置该序列相关的参数。正常案例着重学习不同序列下灰质、白质、脑脊液的图案对比度；肿瘤案例着重学习如何选择多种序列并调整参数突出肿瘤核心区、水肿区与正常脑组织的对比度；体模案例着重学习如何调整多种参数完成脂肪抑制和水抑制效果。对于多次扫描图像，系统都会暂存结果，学生**对比不同方案的结果**，择优进行最终的提交评分。通过这两种方法的结合让学生**掌握磁共振扫描的基本技巧。**

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 19 步）

学生交互性操作步骤如下表所示，其中，目标达成度赋分模型兼顾“**实验结果**”和“**学生能力**”两个方面，设计函数赋分模型对不同能力水平的学生有较好的区分度。

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	观察 B_0 主磁场强度对磁矩进动频率的影响。 目标：理解拉莫尔定律中 B_0 主磁场的作用。 要求：学生调节 B_0 的强度，并观察磁矩进动的变化，总结规律。	3	/	0	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
2	观察不同种类的原子核磁矩进动频率的差异。 目标：理解不同原子核具有不同的磁旋比以及拉莫尔定律中磁旋比的作用。要求：学生切换原子核种类，并观察磁矩进动的变化，总结规律。	3	/	0	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
3	运用拉莫尔定律测算未知元素。目标：通过实际的测算任务加深对拉莫尔定律的理解和掌握。要求：学生通过公式变形推导以及测量计算确定未知元素种类。	10	1.查看拉莫尔公式，推导测量值和常数的关系式得 1 分。 2.在波形上测量信号周期长度，得 1 分。 3.将测得值代入计算式，算未知元素的磁旋比 γ ，得 1 分。 4.比对参考表，选出未知元素。采用多级计分制模型：第一次作答：选对得 2 分；选错则根据提示，重复测量并计	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

			算后再次答题。第二次作答：选对得1分。选错不得分，并揭示正确答案。		
4	认识旋转坐标系。目标：通过在一般坐标系和旋转坐标系中观察宏观磁矢的进动轨迹，理解旋转坐标系的概念。要求：学生分别在开关旋转坐标系的状态下发射 RF 脉冲，观察进动轨迹的差异，总结规律。	2	打开及关闭“旋转坐标系”开关，观察比较静止坐标系和旋转坐标系两种视角下自旋进动的过程，得2分。	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
5	90°脉冲与 T1 弛豫。目标：理解 90°脉冲的作用与 T1 弛豫的特点。测量 T1 弛豫时间。要求：学生发射 90°脉冲，结合知识点总结 T1 弛豫的特点。通过推导公式以及测量 T1 弛豫信号计算 T1 时间常数。	15	1.从纵向弛豫公式推导出 T1 弛豫时间计算式，得1分。 2.发射 90°RF 脉冲，在波形窗口可以观察到 Mz 的幅值突变后开始缓慢弛豫，在弛豫曲线上选取 3 个点，读取其幅值与时间点，代入 T1 计算式，获得 3 个 T1 计算值并取平均值。得1分。 3.从系统给出的选项中选出正确的 T1 值。第一次作答，选对得3分；选错，依据提示，重新进行选点计算及作答。第二次作答，选对，得2分；选错，不得分，并演示正确计算过程。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
6	验证部分饱和效应。目标：通过实际操作验证部分饱和效应。要求：学生连续多次发送 90°	2	连续发射两次以上的 90°脉冲，观察每次脉冲激发后的净磁化矢量纵	1	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

	脉冲，观察宏观磁矢信号的变化。		向分量 M_z 值变化，得 1 分。		
7	<p>脉冲回波与 T_2 弛豫。</p> <p>目标：通过实验操作理解 180° 脉冲、回波的形成与 T_2 弛豫的关系。</p> <p>要求：学生通过 90° 与 180° 脉冲的正确组合操作实现信号回波。并通过公式推导以及多次回波信号的测量计算 T_2 时间常数。</p>	20	<p>1. 由自由感应衰减公式推导 T_2 计算式，得 1 分。</p> <p>2. 发射 $90^\circ RF$ 脉冲。随后再发射 2 次以上 $180^\circ RF$ 脉冲，得到两次 M_x 回波，得 1 分。</p> <p>3. 在 M_x 信号曲线上测量回波峰的幅值与时间点，代入 T_2 计算式，计算得到 T_2，得 1 分。</p> <p>4. 从系统给出的选项中选出正确的 T_2 值。第一次作答，选对，得 3 分；选错，依据提示，重新进行选点、代入计算，重新作答。第二次作答，选对得 2 分；选错不得分，系统呈现正确计算过程。</p>	6	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
8	<p>思考磁共振信号接收实际问题，给出正确操作排序。目标：理解并综合运用宏观磁矢弛豫的相关知识和公式，结合实际信号接收问题，完成排序题。要求：思考并给出正确操作排序。</p>	10	<p>多选排序题，采用多级计分制模型：</p> <p>1. 第一次作答：按顺序正确选出所有步骤，得 4 分；若出错，从错误开始的地方给予提示，学生可重新作答一次。</p> <p>2. 第二次作答：回答正确，得 3 分；若出错，根据学生的答对的顺序步骤数计分：分数 = 正确排序步骤数 / 总步骤数 $\times 4$。</p>	4	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
9	<p>认识磁共振扫描间。目标：探索磁共振扫描间，观察磁共振扫描仪</p>	2	/	0	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩

	的整体布置，形成感性认识。要求：学生通过键盘和鼠标移动以及旋转视角，在扫描间内移动及观察。				<input type="checkbox"/> 教师评价报告
10	拆解学习磁共振部件。目标：了解磁共振硬件部件的形制、功能与结构层次。要求：学生将各部件透明化以查看各部件结构及位置关系；并在弹出窗口中查看知识讲解及模型细节。	10	1.依次浏览各部件 3 维模型与介绍，浏览每个部件得 1 分，共 9 个部件，漏点扣 1 分，共 9 分。 2.随机给出 9 个部件之一的一道判断题，答对方可进入下一步骤；答错需要重新进行部件功能的学习。	9	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
11	序列控制与 K 空间填充。目标：理解磁共振射频及梯度磁场序列控制、信号接收和 K 空间填充与图像重建过程之间的关系。要求：学生同步观察序列控制、信号接收、K 空间填充与图像重建过程，总结他们之间的关系。	5	观看整个扫描序列过程中三个方向梯度线圈的交错运作关系,以及 K 空间填充流程，得 1 分。	1	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
12	K 空间（频域）滤波实验。目标：理解 K 空间成分与重建图像内容之间的关系。要求：学生截取 K 空间频率成分，观察对应的重建图像，思考并完成选择题。	5	1.考察学生对 K 空间（频域）和重建出的图像之间关系的理解，回答 2 道选择题 1.拖动滑条,调节滤波窗,得 1 分。 2.回答 2 道选择题，每答对一题，得 2 分；答错不得分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
13	学习磁共振扫描：安全检查和准备操作。目标：学习临床实践中磁共振扫描前的安全检	3	1.完成扫描前安全检查，完成三个问答题。每题答对得 2 分，答错不得分。	9	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

	查、病人放置与线圈选择。要求：学生跟随系统的指引完成安全问题与扫描前的准备操作。		2.根据患者扫描部位选择体线圈。选择正确得 3 分，选错不得分。		
14	学习磁共振扫描：序列选择与参数设定。目标：了解磁共振扫描操作基本流程和基础序列的应用。要求：学生需进行定位、T ₁ 加权、T ₂ 加权扫描，并择优提交方案进行评估。	20	<p>1.分别进行定位扫描、T₁ 加权、T₂ 加权扫描。每个序列扫描时选择正确的序列，得 1 分，调节重复时间、回波时间、反转时间等参数扫描得 2 分。共 9 分。</p> <p>2.通过内部公式分别评估 T₁ 加权、T₂ 加权扫描成像效果（满分各为 5 分）。连续函数赋分模型为：</p> <p>分数=5×（信噪比+对比度得分+扫描时间得分）/3。共 10 分。</p>	19	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
15	探究实验：正常案例扫描。目标：突出灰质、白质和脑脊液的对比度。要求：学生需尝试多种序列和参数组合，并根据提示优化扫描方案，最后选择最优扫描方案提交。	15	<p>1.学习 5 个序列功能介绍，每学习 1 个，得 1 分。共 5 分。</p> <p>2.调整 5 个扫描参数：主磁场、重复时间、回波时间、反转时间和接收带宽。每调整一个参数得 1 分，共 5 分。</p> <p>3.学生选择最优扫描方案，系统将评估图像质量（满分 5 分），连续函数赋分模型为：</p> <p>分数=5×（信噪比得分+对比度得分+扫描时间得分）/3</p>	15	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
16	探究实验：肿瘤案例扫描。目标：突出肿瘤核心区、瘤周水肿区和正	15	学生自由选择各成像参数，提交最优扫描方案。系统将评估图像质	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩

	常脑组织的对比度。要求：学生需尝试多种序列和参数组合，并根据提示优化扫描方案，最后选择最优扫描方案提交。		量（满分 5 分），连续函数赋分模型为： 分数=5×（白质与水肿肿瘤区对比度+肿瘤水肿区与核心区对比度）/2		<input type="checkbox"/> 教师评价报告
17	探究实验：体模案例扫描。 目标：完成脂肪抑制和水抑制序列设计。 要求：学生需尝试多种序列和参数组合，并根据提示优化扫描方案，最后选择最优扫描方案提交。	15	分别构造脂肪抑制序列和水抑制序列，分别评估脂肪抑制和水抑制效果（满分 5 分）。 1.脂肪抑制评分：连续函数赋分模型为：分数=脂肪抑制得分×5 2.水抑制评分：连续函数赋分模型为（满分 5 分）：分数=水抑制得分×5	10	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
18	测量化学位移。 目标：理解化学位移的形成原理，并进行计算。 要求：学生测量图像中的相关参数并进行化学位移的计算。	10	按要求记录影像中的位移距离、设定带宽、频率编码分辨率，计算化学位移并填空。每空填写正确得 1 分，错误不得分。	4	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
19	撰写实验报告，总结思考。 目标：学生对整个过程进行反思总结，回答思考题。 要求：系统自动提取实验的中间过程数据，学生需下载、填写实验总结结论并回答思考题，最后在系统中提交。	10	/	0	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

(2) 交互性步骤详细说明

进入系统

在浏览器中输入本实验项目的网址：<http://xnfz.seu.edu.cn/exp/272.html> 即可打开本实验项目，输入自己的邮箱、电话号码或者学号以及密码，点击登录即可开始实验。



图3 实验登录界面

本实验共有 4 个模块，共 19 个交互性步骤。登陆后的实验主界面如图 4，在主界面下，学生能通过键盘和鼠标控制移动和视角，在扫描间内自由探索，观察磁共振扫描间的布置与扫描仪外观。



图4 实验主界面

实验界面功能按键如下：

“实验简介”——跳转到实验背景介绍模块

“磁共振物理基础”——跳转到磁共振物理基础模块

“磁共振信号基础”——跳转到磁共振信号基础模块

“成像设备和原理认知”——包含两个功能键：

磁共振成像设备认知——跳转到场景漫游和设备认知模块

K 空间演示——跳转到磁共振成像系统认知模块

“扫描和成像质量控制和评估”——包含两个功能键：：

学习模式——带有问卷和过场动画的虚拟扫描

实验模式——多个扫描案例实验

“帮助”——显示操作提示，提示实验操作的基本技能

“知识角”——相关知识提示

“AI 机器人”——打开 AI 指引

“联系我们”——查看开发者联系方式

“音效”——设置音效

“地图”——显示小地图

“历史记录”——显示扫描历史记录

操作提示与步骤指引

在每个模块的实验操作过程中，左侧伸缩框提供了当前步骤的提示，右侧伸缩框显示当前步骤的进度，学生可以随时打开查看，查看完毕后将其隐藏，继续完成实验，如图 6。

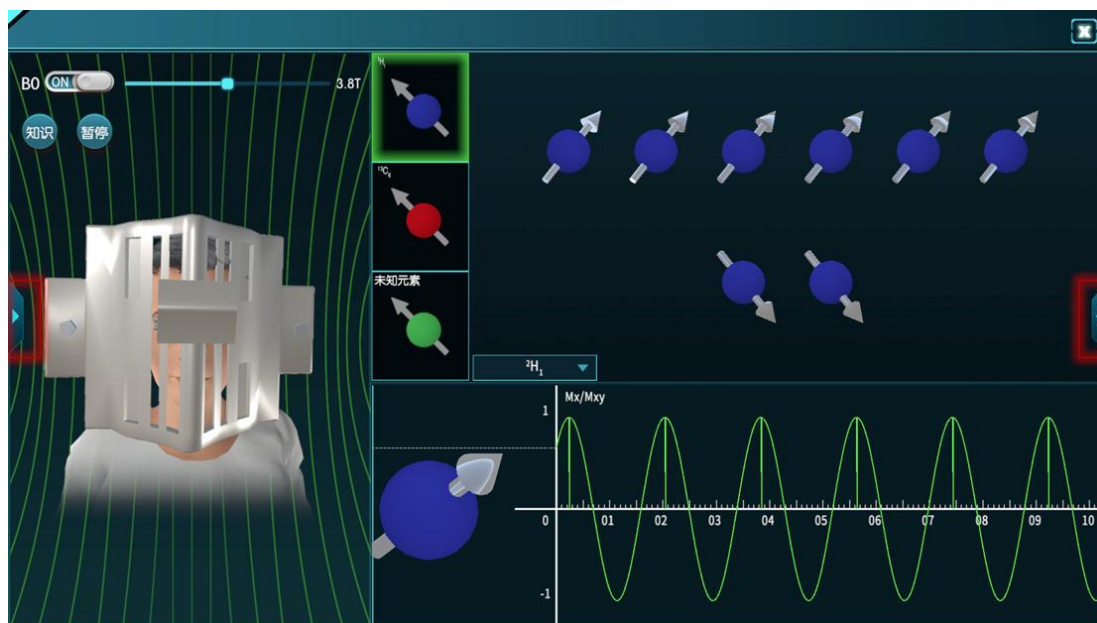


图 5 左右两侧伸缩提示框打开按钮

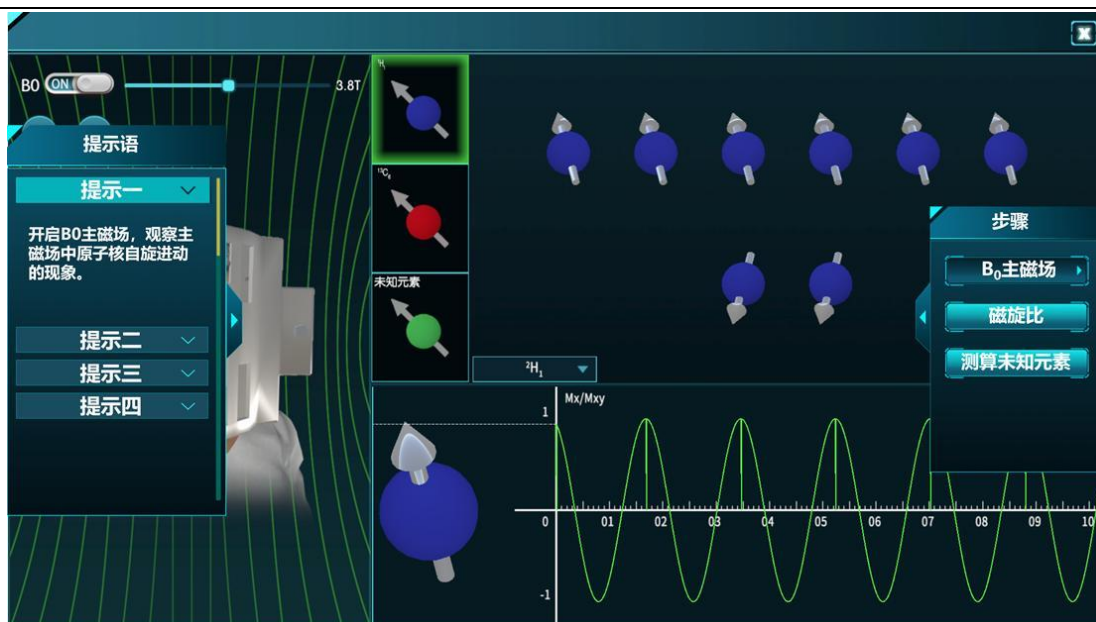


图 6 左侧为当前步骤提示，右侧为步骤进度

模块一：磁共振物理基础

■ 步骤 1：观察 B_0 主磁场强度对磁矩进动频率的影响

操作目的：观察 B_0 主磁场中原子核自旋进动的形成，及 B_0 强度对进动频率的影响。

操作过程：进入界面，可根据提示通过左上方开关控制 B_0 的开关状态，滚动条可控制 B_0 场的大小，并实时显示 B_0 当前的读数。默认状态下， B_0 场关闭。可见原子核自旋方向凌乱的排布，并随热运动随机地改变方向。开启 B_0 场后，原子核自旋按平行、反向两种状态有序地排布，并且出现自旋进动现象。

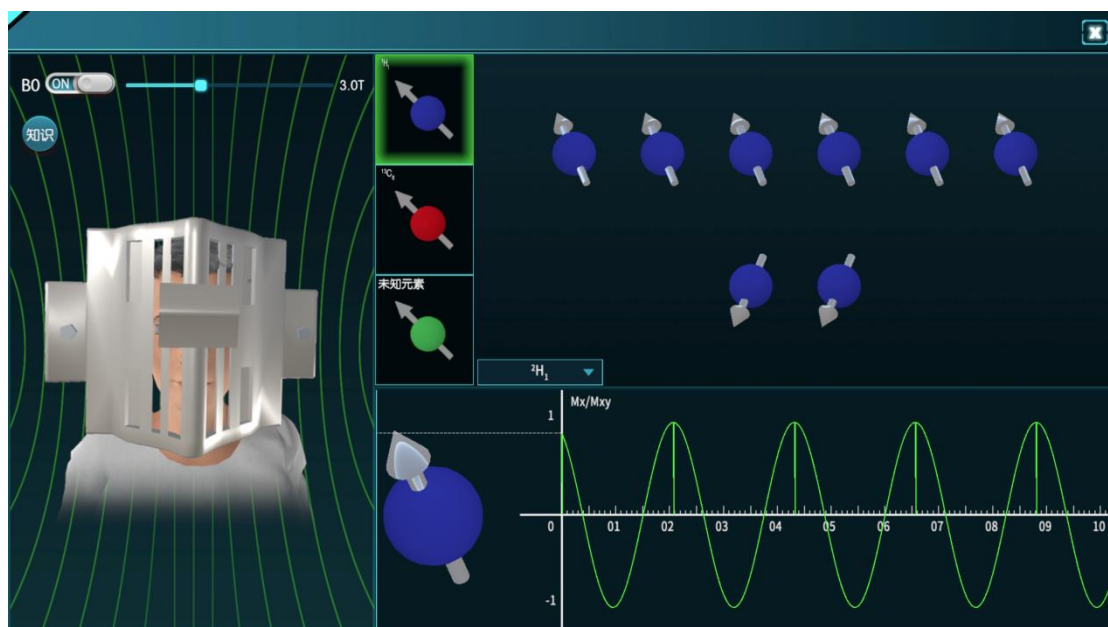


图 7 B_0 开启后 1H 的进动与波形

拉动滚动条调节 B_0 场的强度，原子核自旋进动的旋转速度变化，波形也随之变化。

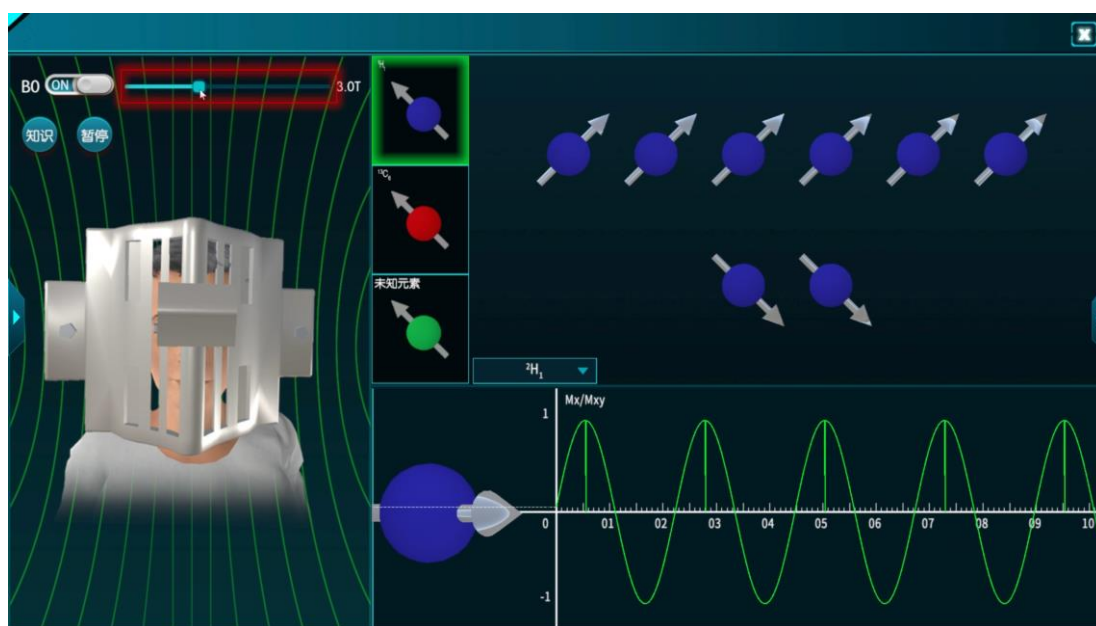


图 8 调节 B_0 的强度后进动波形改变

操作结果：让学生观察到开启 B_0 场后，原子核出现自旋进动现象，改变 B_0 强度会使得原子核进动频率相应地改变。

■ 步骤 2：观察不同种类的原子核磁矩进动频率的差异

操作目的：切换不同元素，观察不同原子核的磁旋比对进动频率的影响

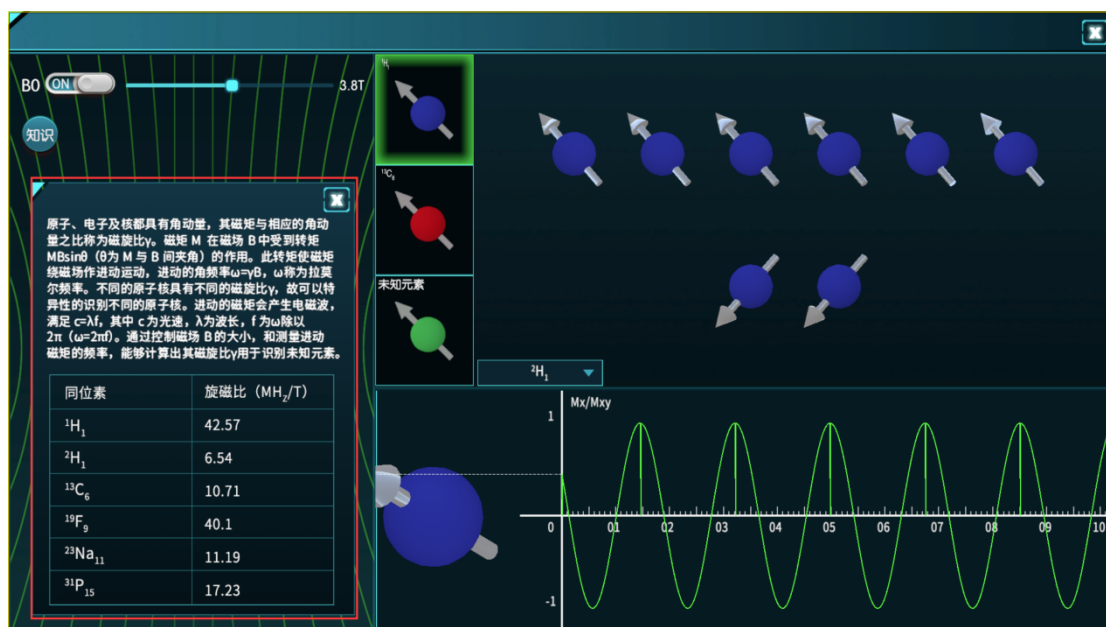


图 9 不同种类质子的磁旋比表

操作过程：学生通过测量波长，计算频率，并查表 ^1H 的磁旋比，验证拉莫尔公式：

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

其中 ω_0 称为拉莫尔角频率或进动角频率，它与 B_0 成正比， γ 为磁旋比。点击“知识”按钮，可以查阅不同元素的磁旋比表。

切换元素为 ^{13}C ，重复开启主磁场 B_0 ，并调节大小，观察到进动频率变化规律与前一种质子不同，这是因为不同原子核的磁旋比不一样。

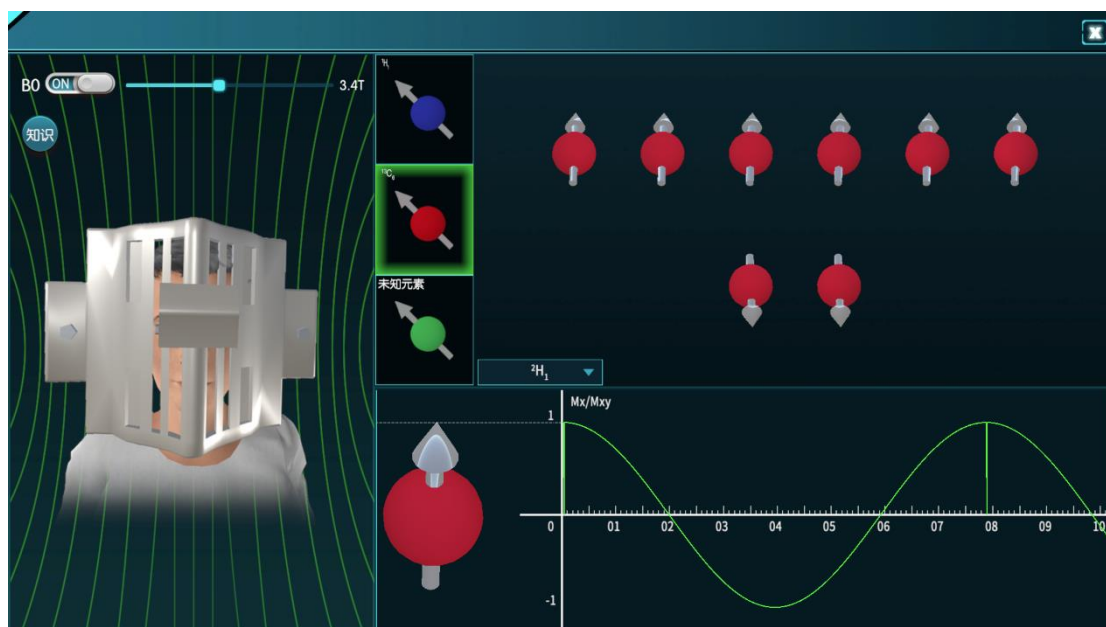


图 10 B_0 开启后 ^{13}C 的进动与波形

操作结果：让学生通过切换不同元素观察，建立不同原子核有不同磁旋比的概念。

■ 步骤 3：运用拉莫尔定律测算未知元素

操作目的：学生需要通过信号测量并代入公式来求得未知元素的磁旋比 γ ，再查表

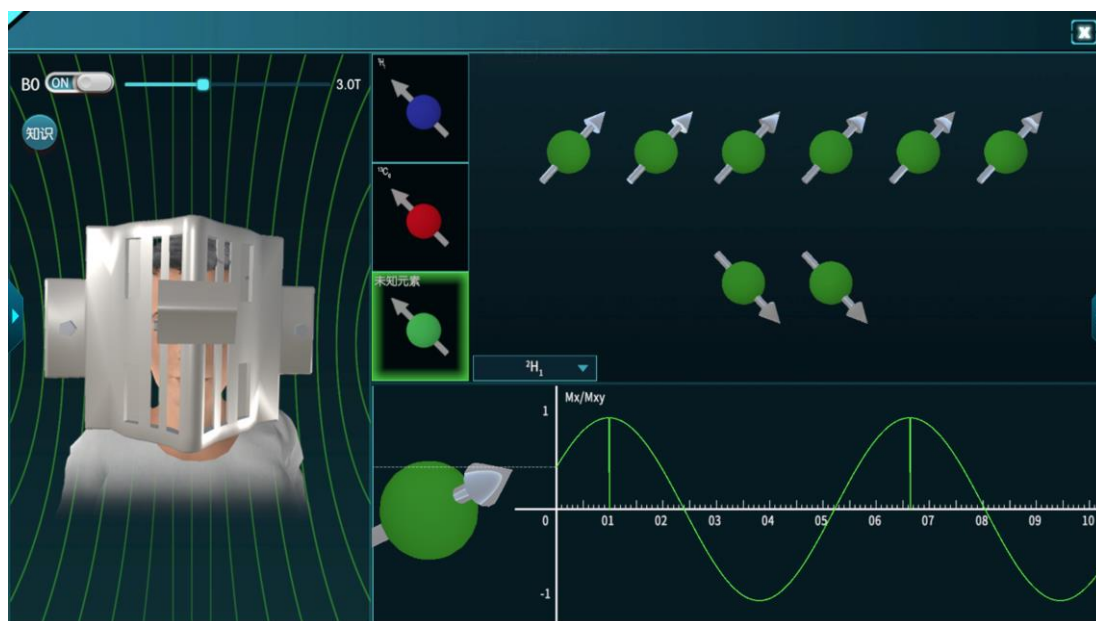


图 11 B_0 开启后未知元素的进动与波形

推断其种类，通过实际的测算任务加深对拉莫尔定律的理解和掌握。

操作过程：

- 1.选择“未知元素”进行波形观察，点击“暂停按钮”，暂停质子进动。
- 2.查看原始公式并点击“推导公式”按钮，得到只包含测量值和常数的计算式。

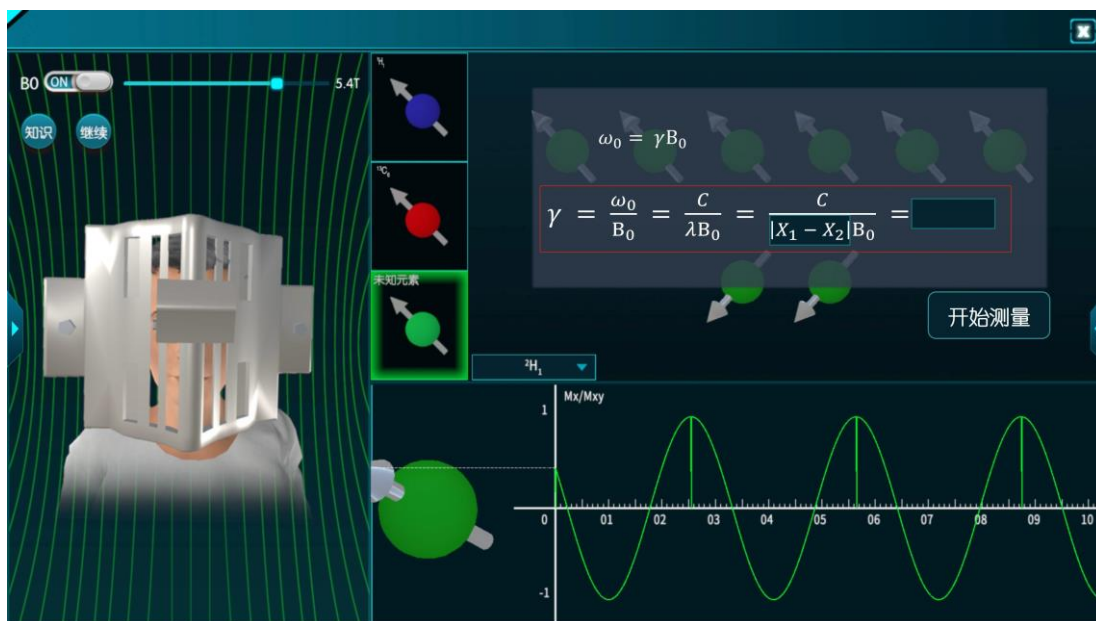


图 12 由拉莫尔频率公式推得的磁旋比计算式

- 3.点击“开始测量”，测量相应的信号的周期并代入公式。在不同的 B_0 下，信号的周期测量值也随之变化。

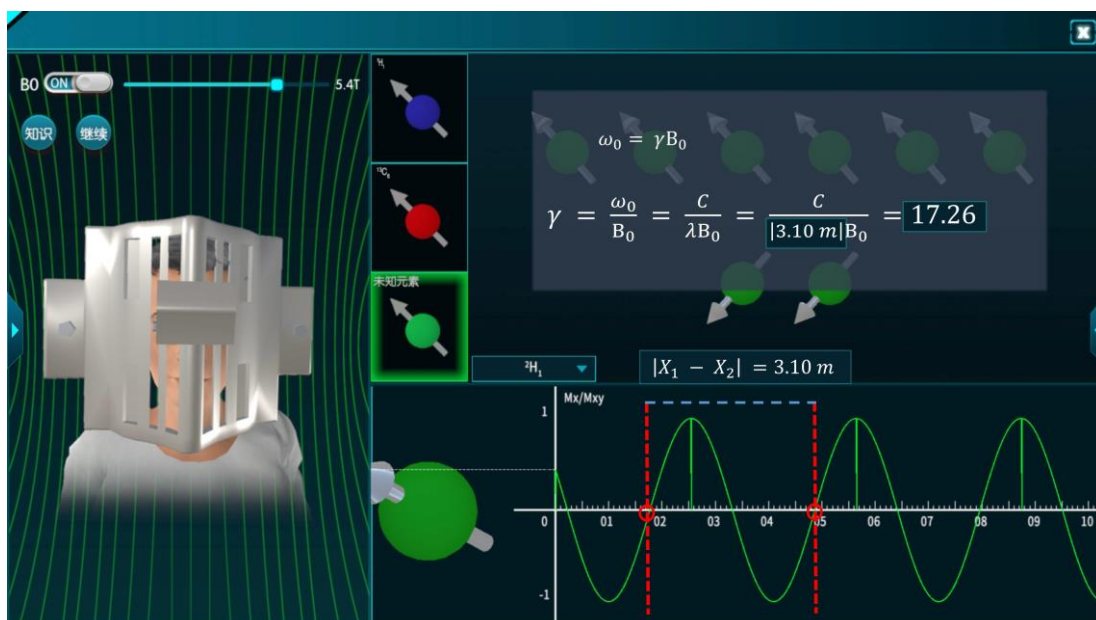


图 13 量取一个周期长度并代入算式

- 4.点击“计算 γ ”按钮，通过计算式得到未知元素的磁旋比 γ 。
- 5.将求得的 γ 对照表中各个核素的磁旋比，从下拉菜单中选择正确的未知元素种类。

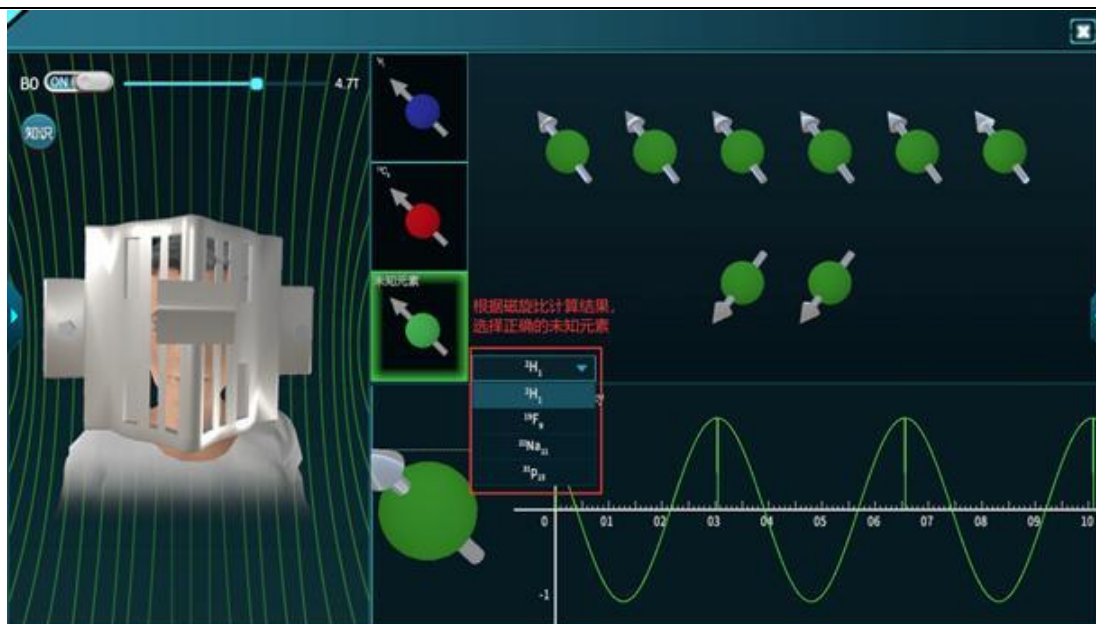


图 14 未知元素回答选框

操作结果：通过让学生进行磁旋比的计算确定未知元素，加深学生对磁旋比概念、拉莫尔公式、进动与电磁信号综合的理解。

模块二：磁共振信号形成

■ 步骤 4：认识旋转坐标系

操作目的：通过在一般坐标系和旋转坐标系中观察宏观磁矢的进动轨迹，理解旋转坐标系的概念。

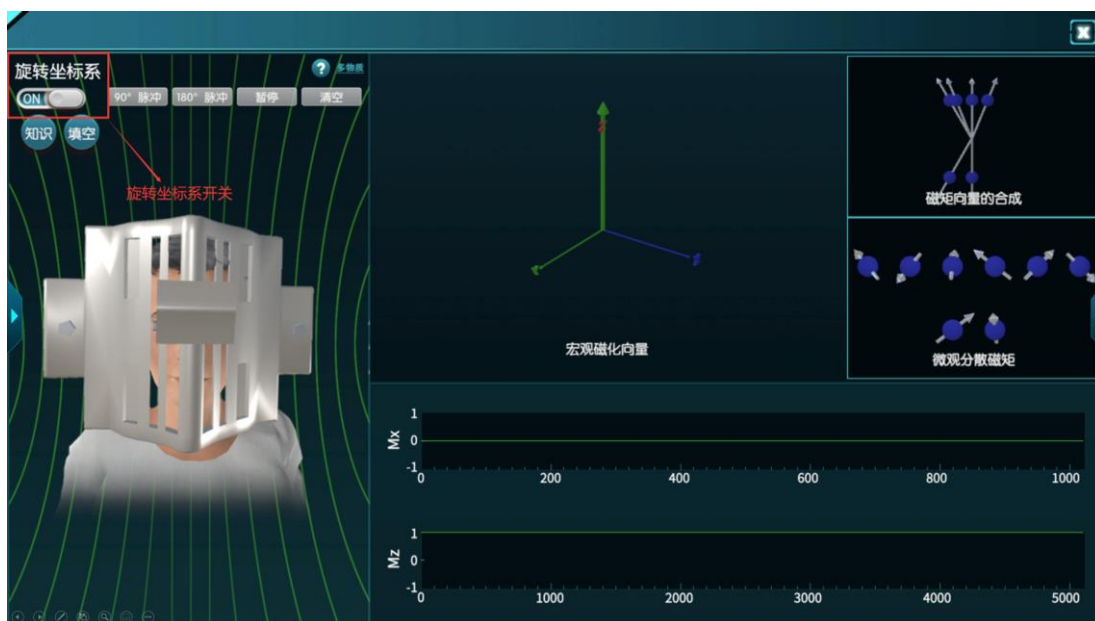


图 15 “磁共振信号形成”模块主界面和旋转坐标系开关

操作过程：界面的中上部主视图显示宏观的磁化向量（磁矢），右侧显示了微观分散的磁矩以及磁矢的合成。

B_0 场的作用使原子核的自旋以拉莫尔频率进动。在实验室坐标系下能观察到完整的运动。

点击开启左上角的“**旋转坐标系**”开关，在旋转坐标系下，自旋角动量变为零，进动被屏蔽。

操作结果：让学生认识到旋转坐标系能排除进动本身的视觉干扰，更清晰地观察 RF 脉冲对磁矢的作用。

■ 步骤 5：90° 脉冲与 T_1 弛豫

操作目的：理解 RF 脉冲中 90° 脉冲的作用与 T_1 弛豫的特点，并进行 T_1 弛豫时间的测量。

操作过程：

1. 查看磁矩与弛豫时间关系的原始公式并点击“**推导公式**”按钮，通过 T_1 弛豫反指数模型推导 T_1 计算式。

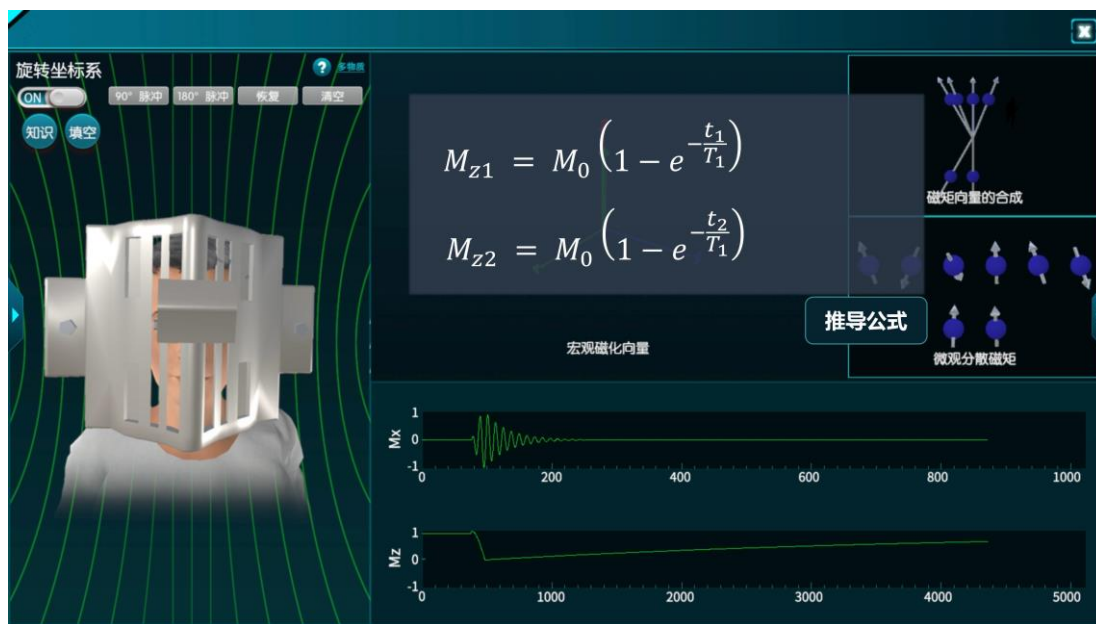


图 16 原始 T_1 弛豫公式

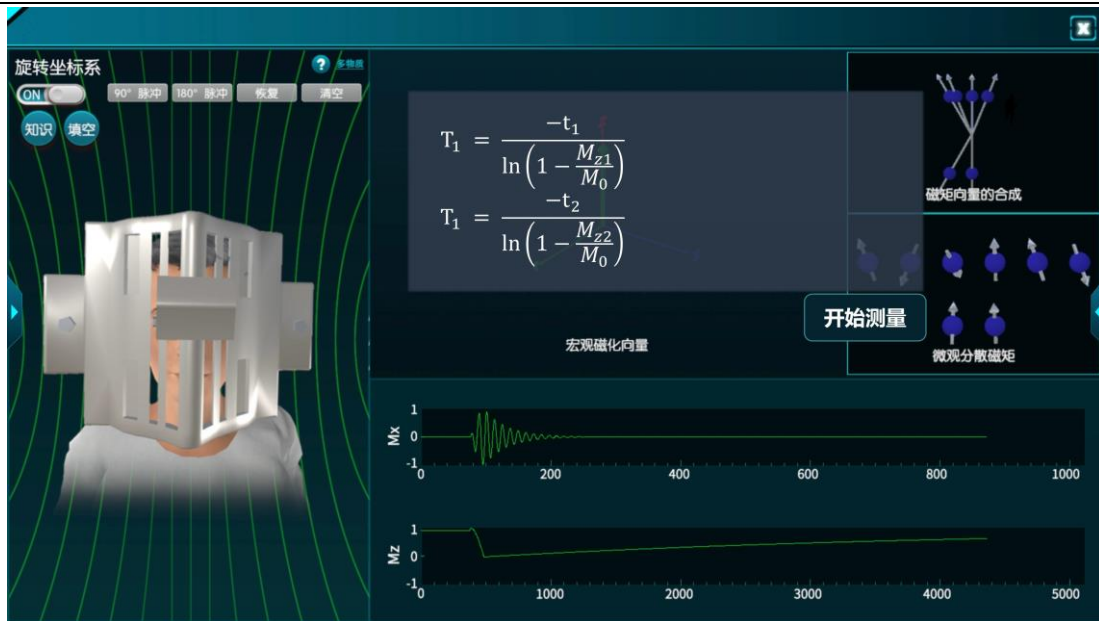


图 17 T_1 的计算式

2.施加 RF 脉冲之前，宏观磁矢横向分量为 0，纵向分量为最大。

点击“90°脉冲”按钮，发射相应的 RF 脉冲。微观的磁矢自旋方向发生跃迁和聚相，在宏观磁矢上则体现为倾倒了 90°。纵向磁矢突变为 0 后缓慢地恢复，这就是 T_1 弛豫。

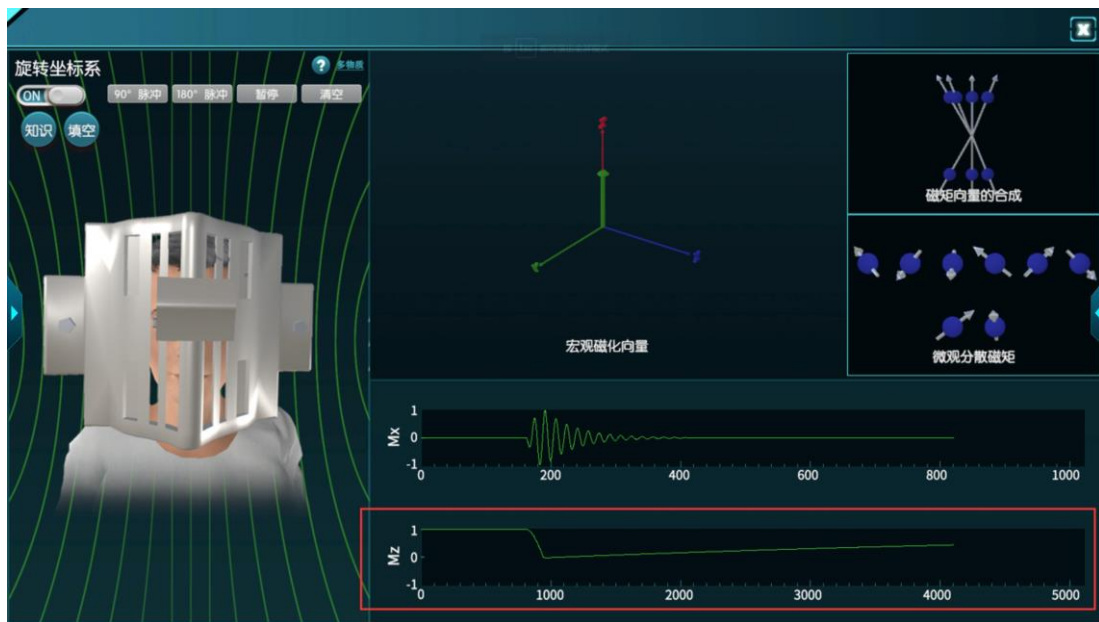


图 18 T_1 弛豫波形示意图

在波形窗口可以观察到 M_z 的幅值突变后开始缓慢弛豫。暂停自旋，在弛豫曲线上选取两个点，测量对应的 M_z 幅值和时间值 t ，分别为 (M_1, t_1) 和 (M_2, t_2) 。

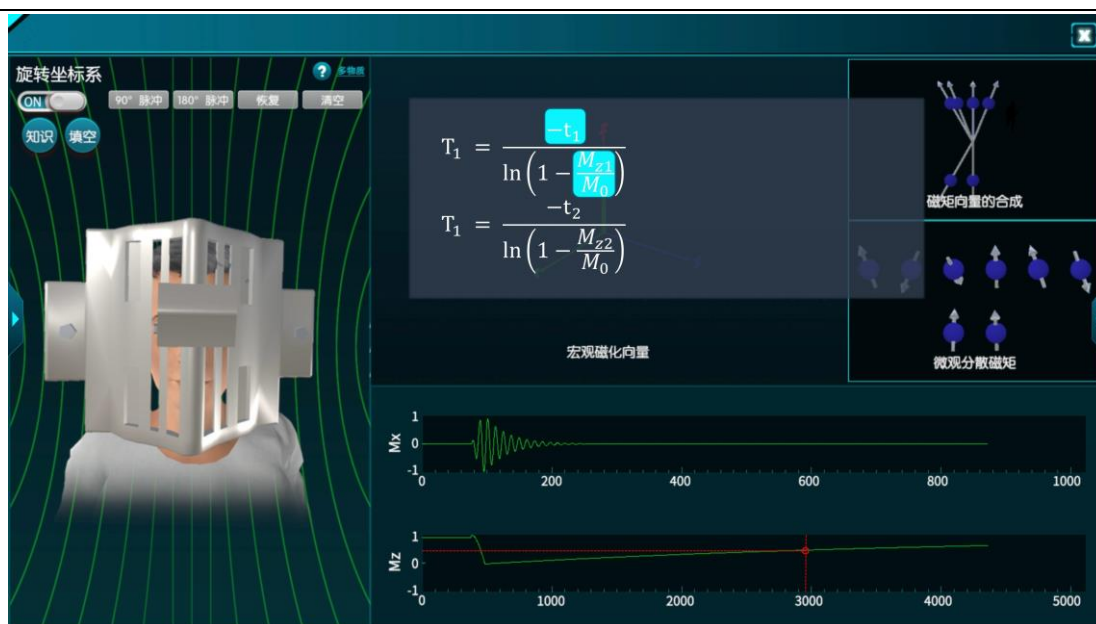


图 19 量取数据示意图

3.将测得两点的的数据代入 T_1 计算式计算。对比计算结果与系统给出的选项，选择下拉选单中正确的 T_1 值。

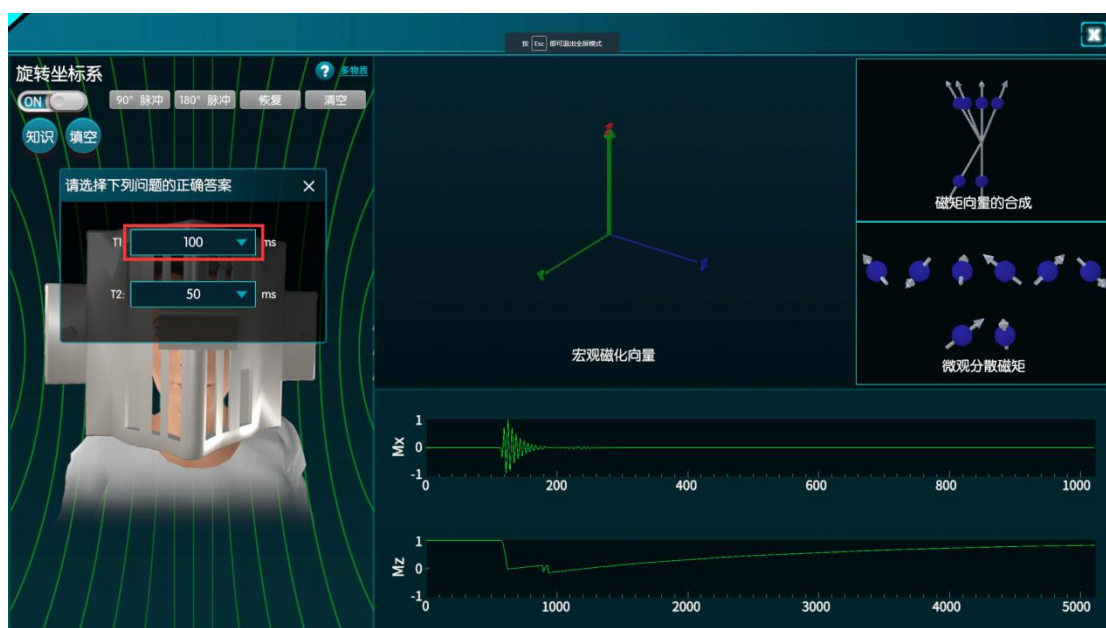


图 20 T_1 弛豫时间回答选框

操作结果：通过让学生自行进行 RF 脉冲激发，观察磁矩被激发后的运动，并进行横向和纵向弛豫时间的计算，深刻理解 RF 脉冲作用机制和弛豫时间的概念。

■ 步骤 6：验证部分饱和效应

操作目的：连续发射两次以上的 90° 脉冲，观察每次脉冲激发后的净磁化矢量纵向分量 M_z 值变化，思考变化原因

操作过程：点击一次“90°脉冲”后，若间隔较短时间内再次点击一次“90°脉冲”可观察到类似的 M_x 信号变化，但是幅值小于第一次。这是由于已位于 xy 平面内的磁矩不会再吸收 RF 能量参与下一次信号的形成，只有 T_1 弛豫中已经恢复的部分能形成下一次信号，这就是部分饱和效应。

操作结果：学生观察到部分饱和效应后，对其产生原因进行思考推理，加深对 RF 脉冲作用机制的理解。

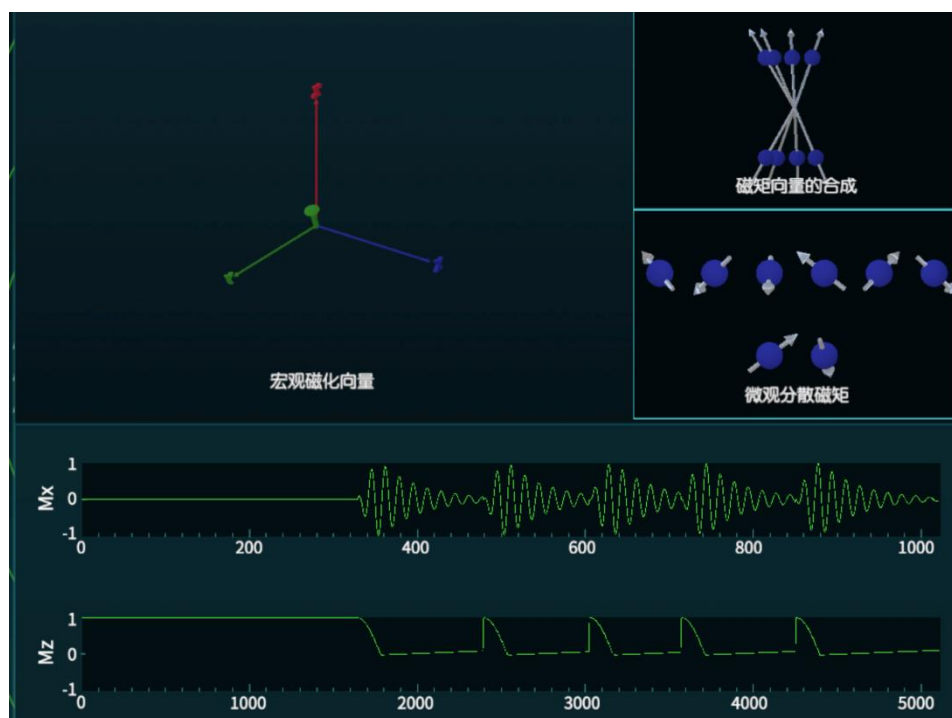


图 21 部分饱和效应演示

■ 步骤 7：脉冲回波与 T_2 弛豫

操作目的：理解 180° 脉冲、回波的形成与 T_2 弛豫的关系。学生通过 90° 与 180° 脉冲的正确组合操作实现信号回波,并通过公式推导以及多次回波信号的测量计算 T_2 时间常数。

操作过程：

1. T_2^* 弛豫一方面是由于分子热运动等随机因素，还有一方面是由于局部的磁场不均匀性等确定因素。随机因素导致的横向磁矢弛豫是不可逆的，而磁场不均匀性造成的弛豫，实际上是因为不同位置的原子核自旋频率有差异引起的散相。

点击“ 180° 脉冲”按钮将相位差异的前后顺序颠倒，让原本领先的“快”的磁矩排到最后，反过来追赶“慢”的磁矩，那么会在某一个时刻所有（没有受随机因素影响的）磁矩的

相位能够会聚，形成第二次幅值的峰值，随后又再次散相，幅值减到 0。这就是回波的形成。

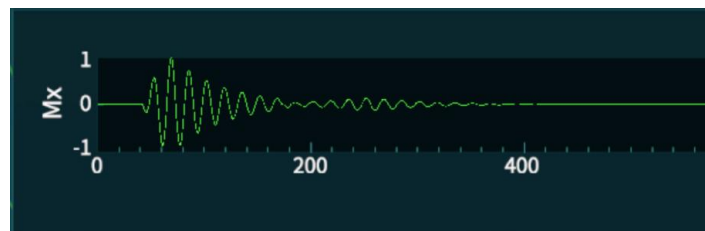


图 22 回波信号演示

2.由原始自由感应衰减公式推导 T_2 计算式。

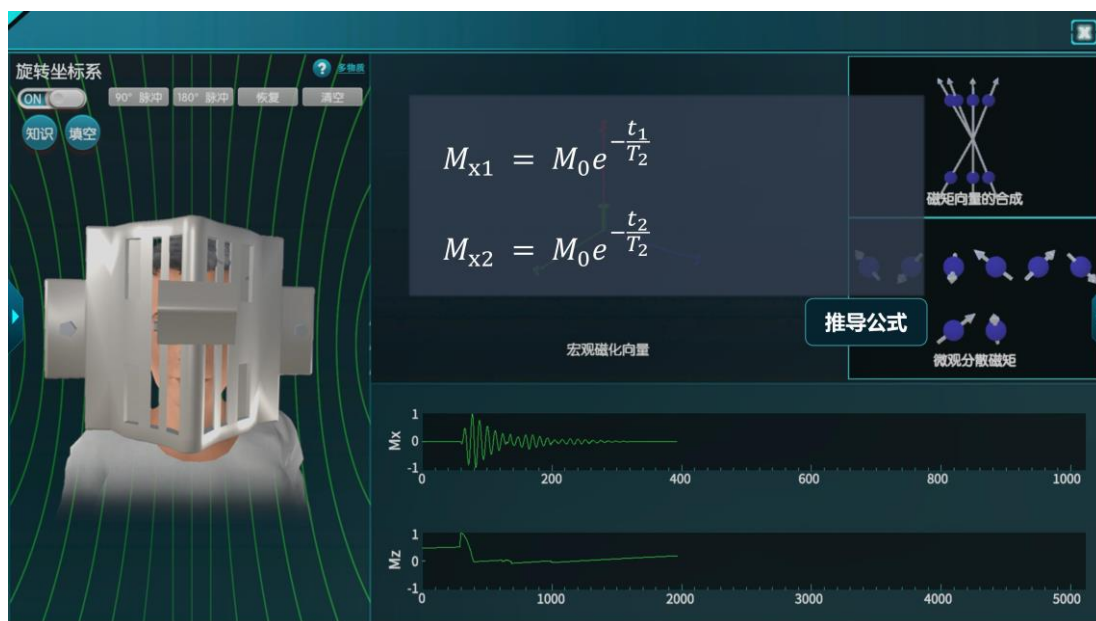


图 23 原始自由感应衰减公式

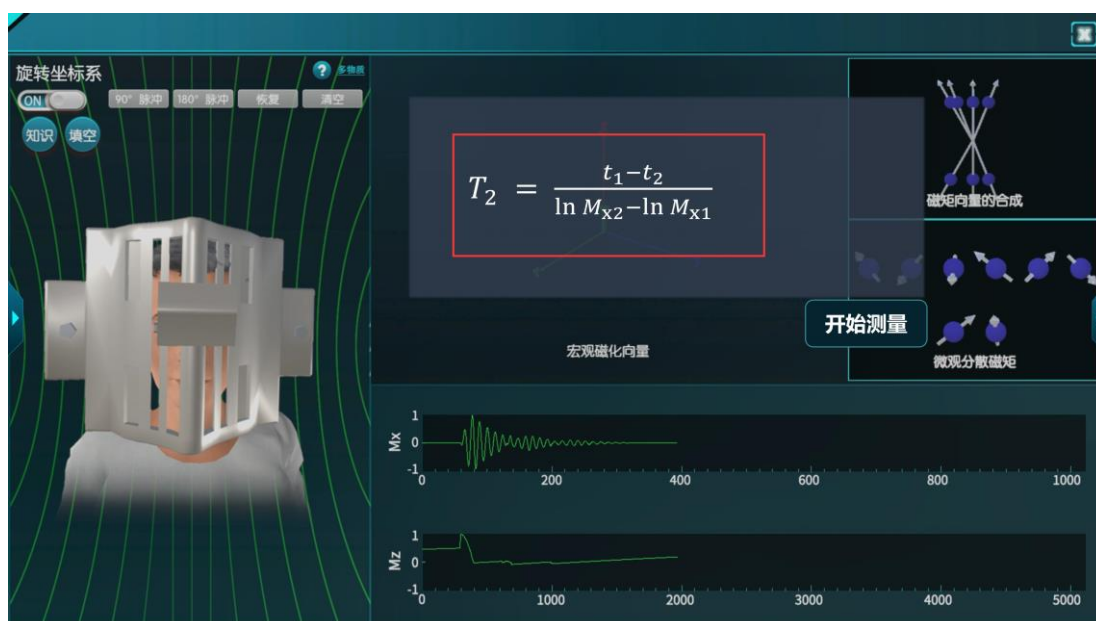


图 24 推导得的 T_2 计算式

- 3.发射 90° RF 脉冲。随后再发射 2 次以上 180° RF 脉冲，得到两次 M_x 回波。
- 4.在 M_x 信号曲线上测量回波峰的幅值与时间点，代入 T₂ 计算式。

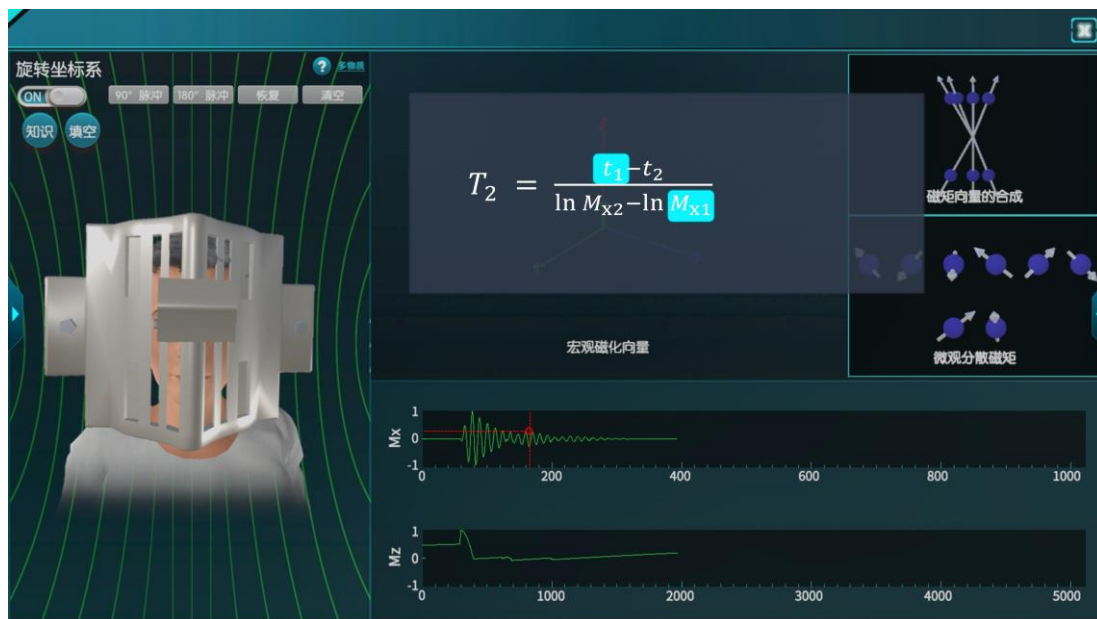


图 25 量取坐标并代入算式

求出该物质的 T₂ 弛豫时间的值。并在选项中选择正确的答案。

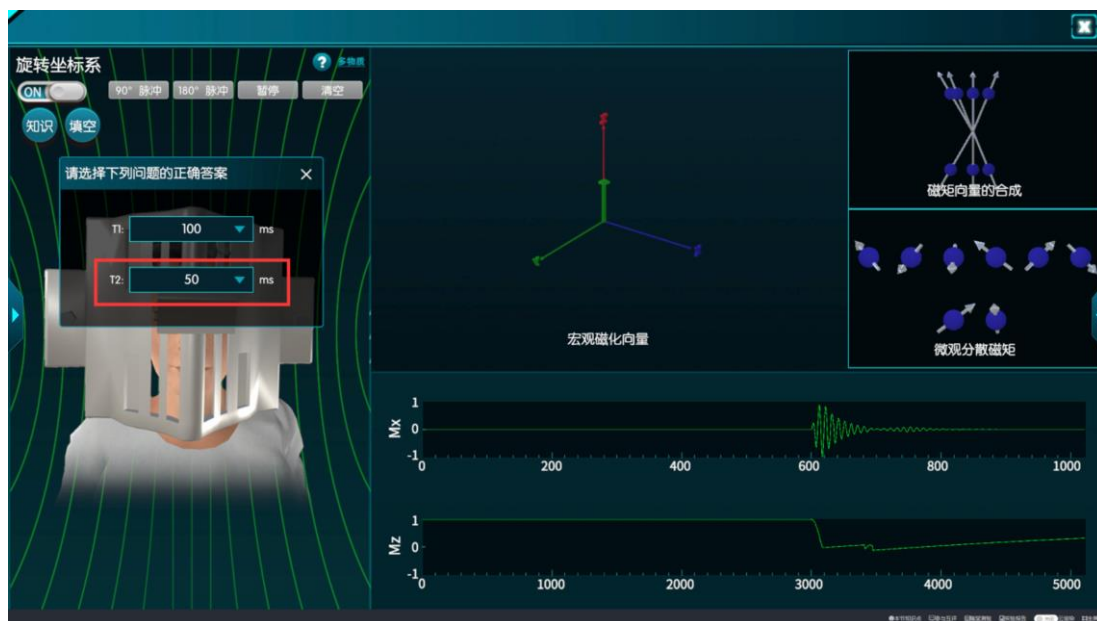


图 26 T₂ 弛豫时间回答选框

操作结果：让学生理解磁共振信号产生的关键步骤——回波形成的过程，对磁共振信号的形成的抽象过程有具体的认知。

■ 步骤 8：思考磁共振信号接收实际问题，给出正确操作排序

操作目的：理解并综合运用宏观磁矢弛豫的相关知识和公式，结合实际信号接收问

题，完成排序题。

操作过程：实际磁共振成像时， M_z 的值无法测量，只能通过 M_x （和 M_y ）的信号来获得信息，学生思考如何只从 M_x 信号计算该物质的 T_1 和 T_2 值，根据思考结果，对需要的步骤进行选择并排序，每个选项可被选择多次。

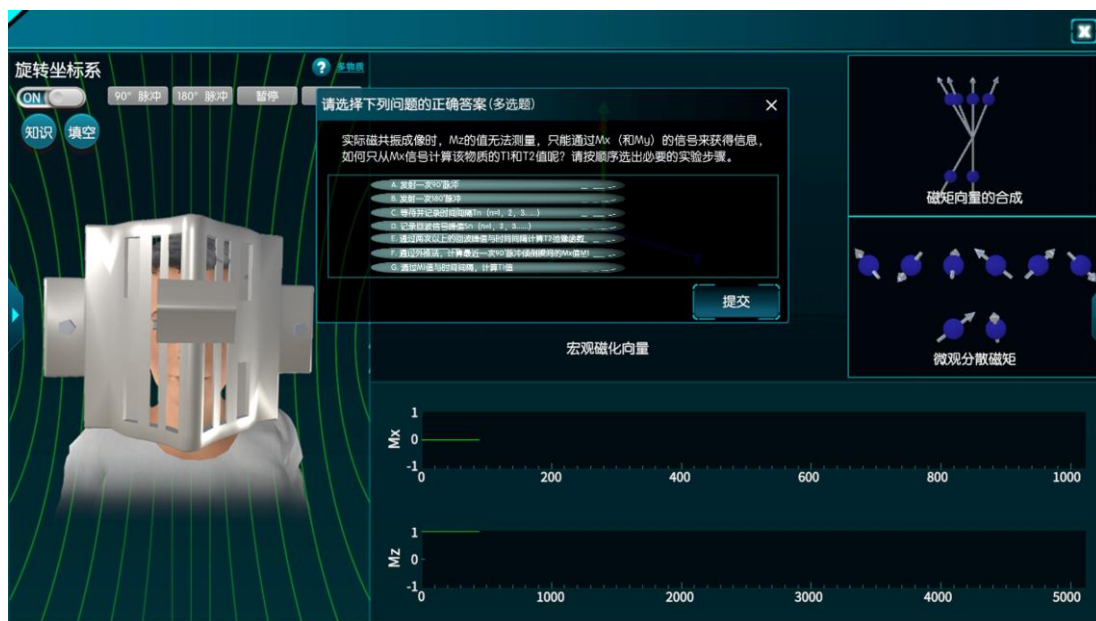


图 27 多选排序题

操作结果：通过排序题启发学生思考实际磁共振工作时遇到的技术问题。

模块三：成像设备和原理认知

1. 磁共振成像设备认知

■ 步骤 9：认识磁共振扫描间



图 28 操作提示帮助

操作目的：探索磁共振扫描间，观察磁共振扫描仪的整体布置，形成感性认识。

操作过程：学生能通过键盘和鼠标控制移动和视角，在扫描间内自由探索，从各个角度观察磁共振扫描间的布置与扫描仪外观。按键方式如下：



图 29 扫描间场景漫游

操作结果：学生对扫描间的结构布局有了感性认知，弥补无法实地参观的问题。

■ 步骤 10：拆解学习磁共振部件

操作目的：学习磁共振扫描仪硬件部件的形制、功能与安装关系。

操作过程：通过左侧复选列表，可以将各个主要部件透明化，以便查看磁共振各个主要部件的结构，以及互相之间的结构层次；同时，在弹出的窗口中可以查看讲解和相关知识。弹出窗口中的主要部件单独建模也可以拖动旋转缩放，便于观察结构细节。

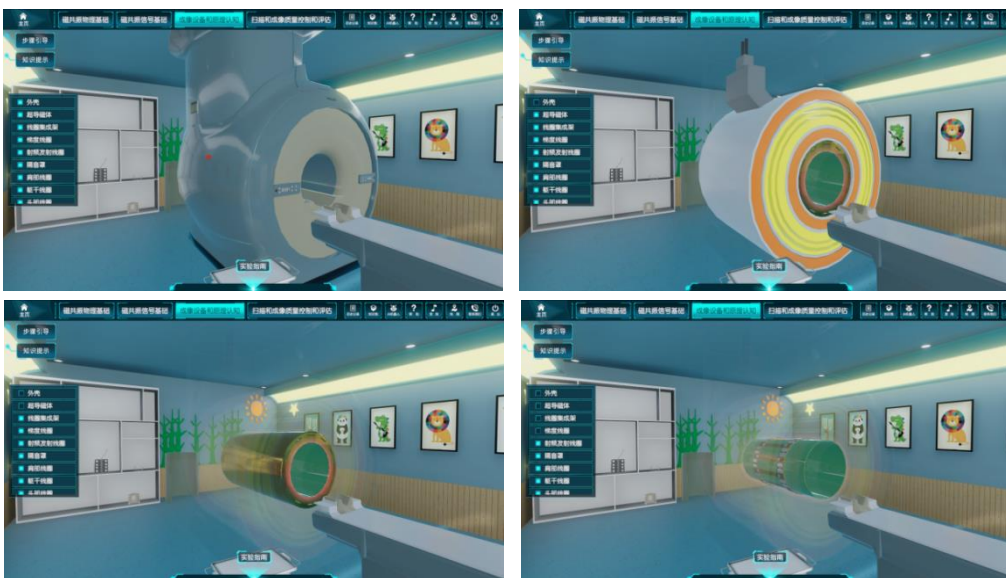


图 30 选择隐藏部分部件

点击左侧列表可查看各个部件的详细功能介绍。

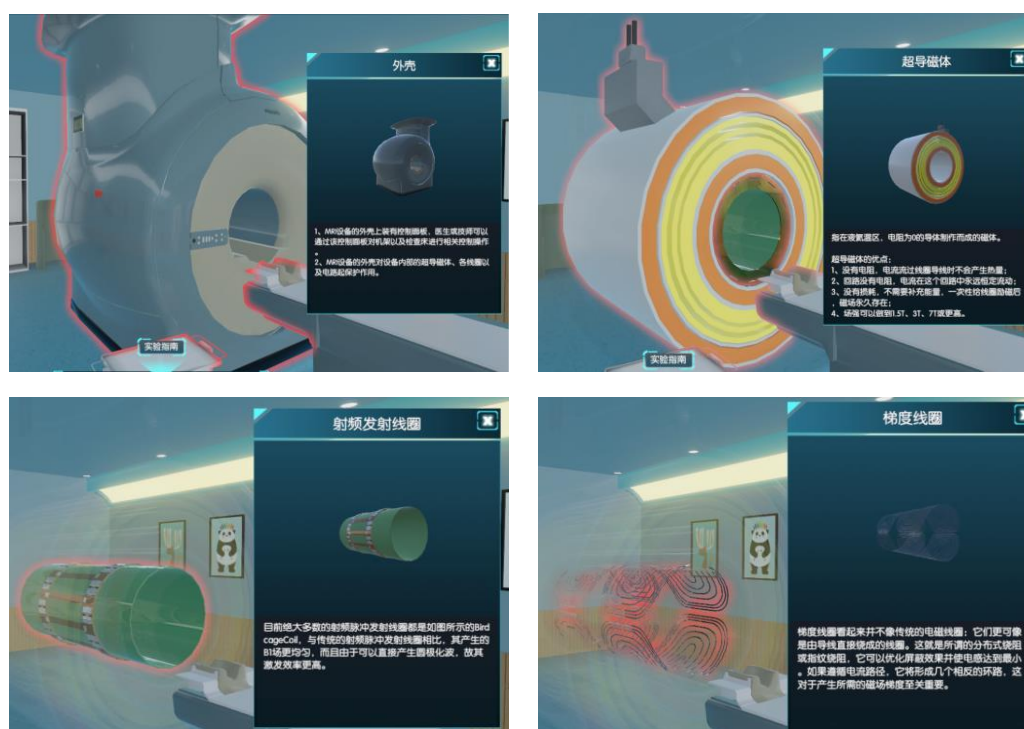


图 31 磁共振设备部件介绍

操作结果：学生对磁共振设备的硬件组成有一个整体的认知，对各部分的功能也建立起较为清晰的认识。

2. K 空间演示

■ 步骤 11：序列控制与 K 空间填充

操作目的：理解磁共振射频及梯度磁场序列控制、信号接收和 K 空间填充与图像重建过程之间的关系。

操作过程：患者头上戴着的是头部线圈用于接收信号。左上方两台信号发生器，右上方是示波器和 K 空间，右下方是重建的图像。

点击“发送脉冲”按钮，开启序列发射与信号接收循环。

(1) 选层编码

RF 线圈向患者头部发射脉冲时，Z 轴方向梯度磁场开启，在患者垂直轴方向上选出特定的一层。

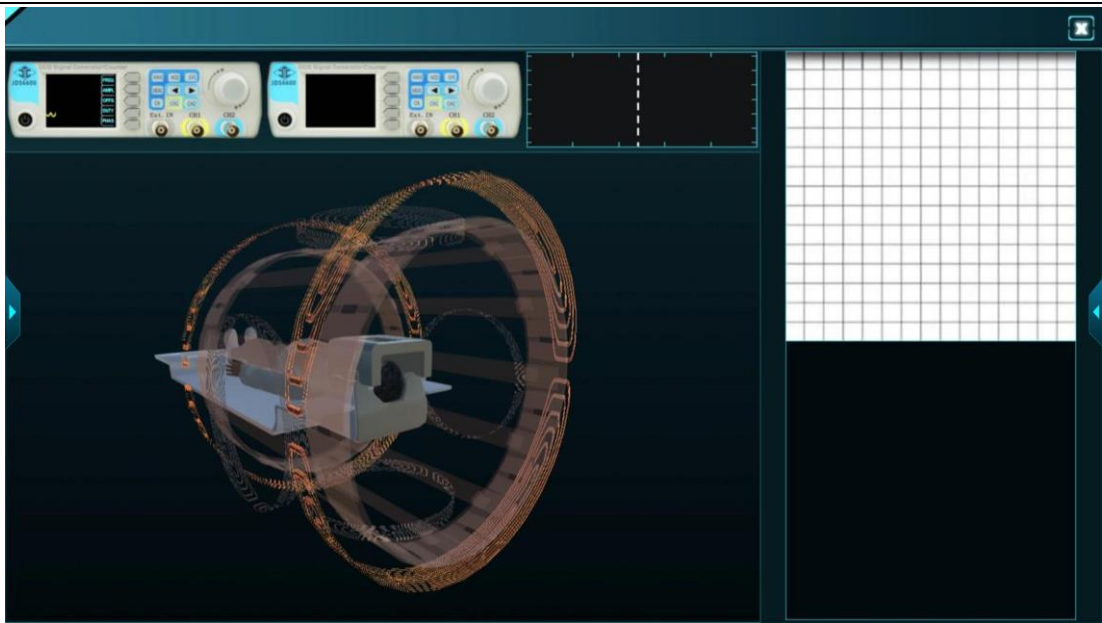


图 32 选层梯度线圈开启

(2) 频率编码与相位编码

X 轴梯度线圈和 Y 轴梯度线圈均开启，Y 轴梯度线圈保持开启，在所选层面进行频率编码；X 轴梯度线圈开启一段时间后关闭，所选层面进行相位编码。

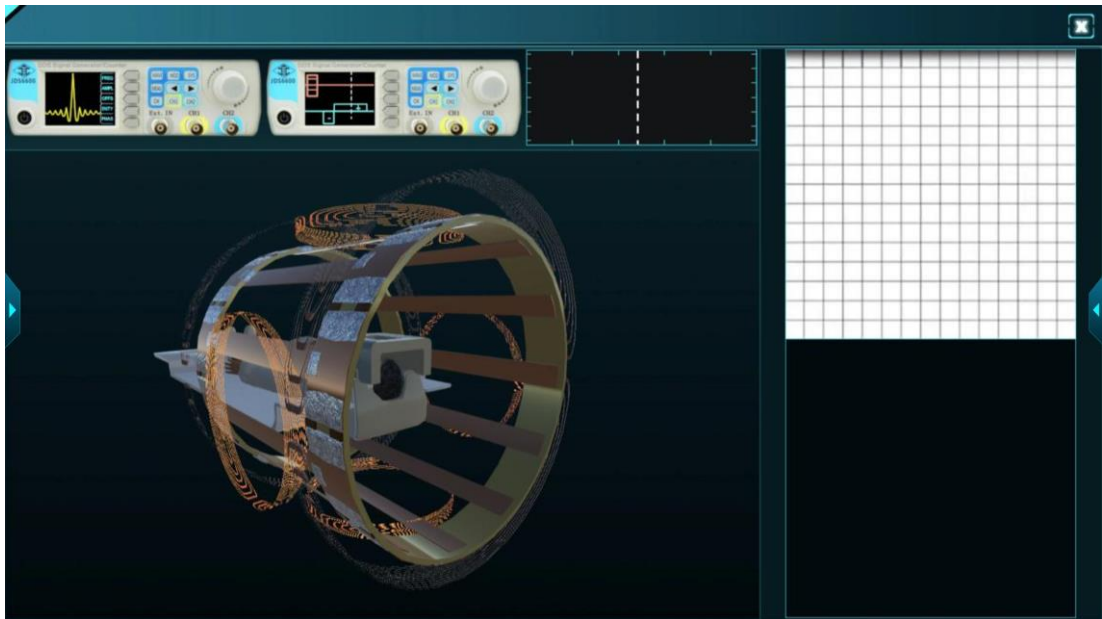


图 33 相位编码和频率编码梯度线圈开启

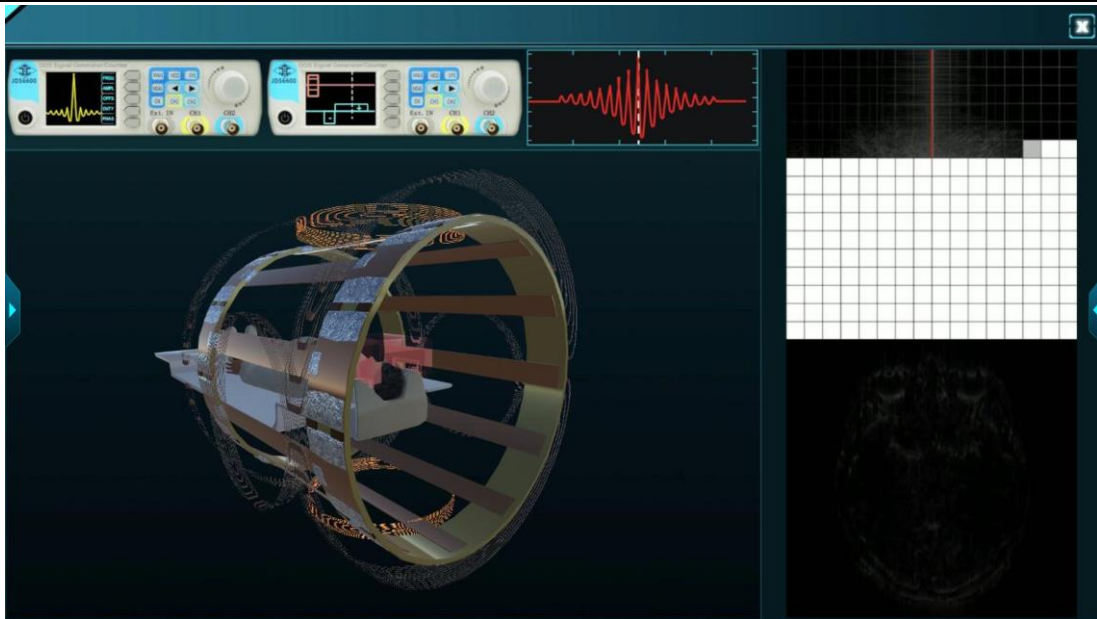


图 34 相位编码梯度线圈关闭，频率编码梯度线圈保持开启

(3) 回波信号的读取与 K 空间填充

头部线圈高亮（在患者图中红框），同时从头部向外释放 RF 脉冲，到达头部线圈的边界后消失。同时头部线圈线缆高亮，连接到的示波器出现回波信号。

同时，K 空间同步填充一行，回波信号从最左边到最右边，对应 K 空间中一行从左到右，重建图像也同步更新。

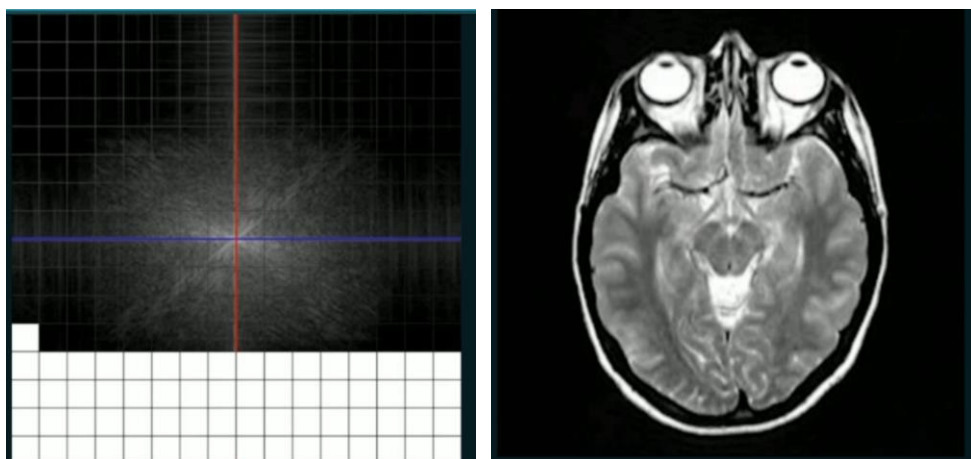


图 35 K 空间填充过程和重建的图像

K 空间总共有 16 行，故上述 3 个步骤循环重复 16 次，K 空间填充完毕。

操作结果：通过动画的方式向学生展示磁共振编码的全过程，从 RF 脉冲发射选层编码开启，到频率编码和相位编码，K 空间的填充过程。

■ 步骤 12: K 空间（频域）滤波实验

操作目的：调节滤波阈值，观察 K 空间（频域）与重建图像内容之间的关系。

操作过程：点击“频域滤波”按键，学生可通过滚动条选择 K 空间一定范围的频率成分，对应生成部分重建的图像。 K 空间高频成分和低频成分对应重建出的是图像的何种部分，并完成填空题。

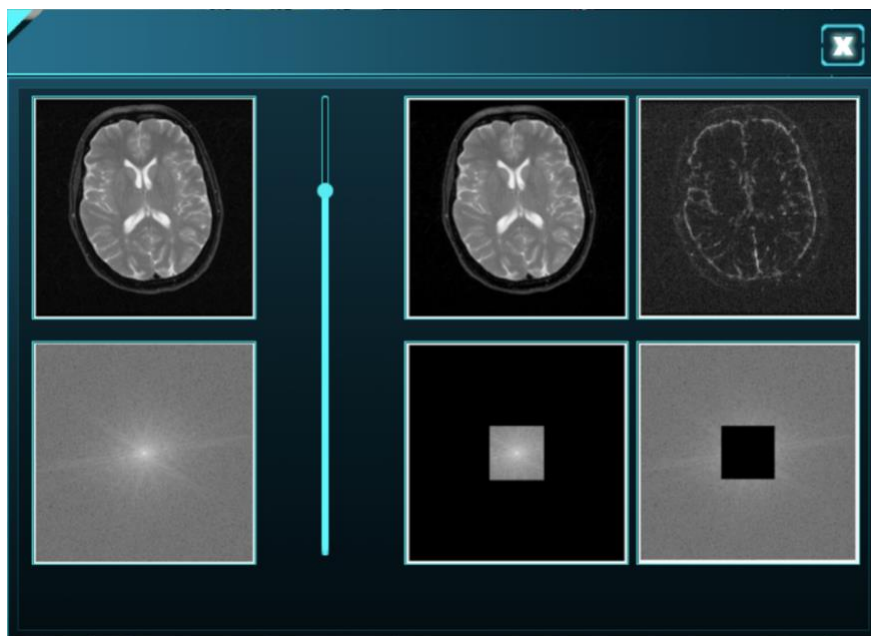


图 36 频域滤波效果

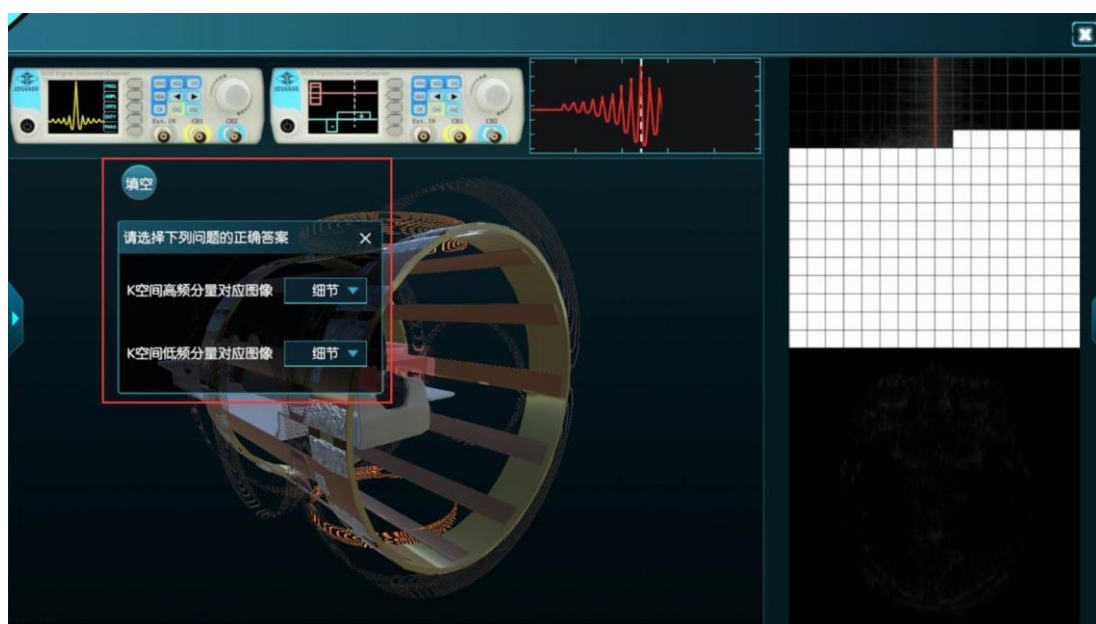


图 37 图像频域空间选择题

操作结果：通过频域滤波实验，让学生对高低频域与重建图像不同部分对应关系有深入的理解。

模块四：磁共振虚拟扫描和成像质量控制和评估

1.学习模式

■ 步骤 13：学习磁共振扫描：安全检查和准备操作

操作目的：学习临床实践中磁共振扫描前的安全检查、病人放置与线圈选择。



图 38 患者与医生交流场景

操作过程：学习模式还原了医院磁共振扫描的完整流程，学生扮演医生与技师的角色，决定患者是否需要进行磁共振扫描，且扫描前技师与患者必须进行相关注意事项的确认，如病人体内是否有金属医疗辅助装置植入，是否有纹身等。

通过完成问答题确认学习磁共振扫描安全注意事项。

扫描需求确认	
<p>主诉： 间歇性头痛。</p> <p>现病史： 患者一周前出现间歇性头痛症状，无畏寒发热。无黄疸、恶心、呕吐、腹泻、便秘等不适。病程中，神智清醒，食欲尚可，体重无明显减轻。</p> <p>既往史： 否认“高血压、糖尿病、冠心病”等慢性病病史；否认“结核、伤寒、乙肝”等传染病病史；否认外伤及输血史；否认药物、食物及花粉过敏史；否认家族遗传性疾病史。</p> <p>磁共振扫描需求： 根据病人主诉及病史，怀疑病人颅内存在组织水肿，请选择合适的磁共振序列及扫描参数来为该患者完成磁共振扫描。</p>	<p>磁共振扫描安全</p> <p>请判断在下列情况中患者是否能进行核磁共振扫描</p> <p>患者体内有神经刺激器或导线、动脉夹、金属支架、过滤器或线圈、分流器、人工关节</p> <p><input type="checkbox"/> 能 <input type="checkbox"/> 否</p> <p>脑动脉瘤术后患者</p> <p><input type="checkbox"/> 能 <input type="checkbox"/> 否</p> <p>患者身上有金属带扣、发夹、带金属钩的胸罩、别针</p> <p><input type="checkbox"/> 能 <input type="checkbox"/> 否</p> <p><input type="button" value="取消"/> <input type="button" value="确定"/></p>

图 39 磁共振扫描安全确认问答题

扫描技师通知患者进入扫描间，根据患者扫描部位选择信号接收线圈，并将患者送入磁体中，进行定位。



图 40 射频线圈选择

操作结果：让学生熟悉临床磁共振扫描的流程，增加沉浸式体验感。

■ 步骤 14：学习磁共振扫描：序列选择与参数设定

操作目的：熟悉临床磁共振扫描的基本流程和操作界面，尝试基础序列的扫描。

操作过程：有三个序列可选择：Survey 定位序列、 T_1 加权序列、 T_2 加权序列。在进行 T_1 或 T_2 扫描前，必须先使用定位序列快速获取大脑图像以确定 FOV。



图 41 技师操作间

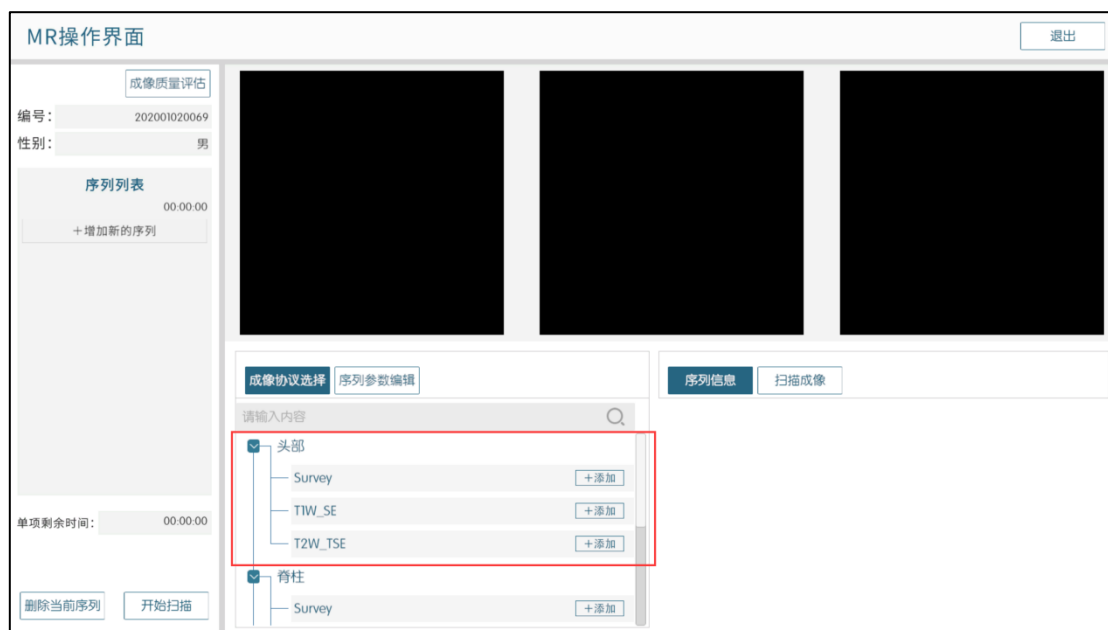


图 42 学习模式下序列列表选择

序列参数如下：

- (1) 相位分辨率 (N_{PE})、频率分辨率 (N_{FE})：数值固定，不可更改
- (2) 相位视场 (FOV_{PE})、频率视场 (FOV_{FE})：拖动选框，系统更改相应数值
- (3) 主磁场大小 (T)、重复时间 TR (ms)、回波时间 TE (ms)、反转时间 (ms)、接收带宽 (kHz)、翻转角 ($^{\circ}$)

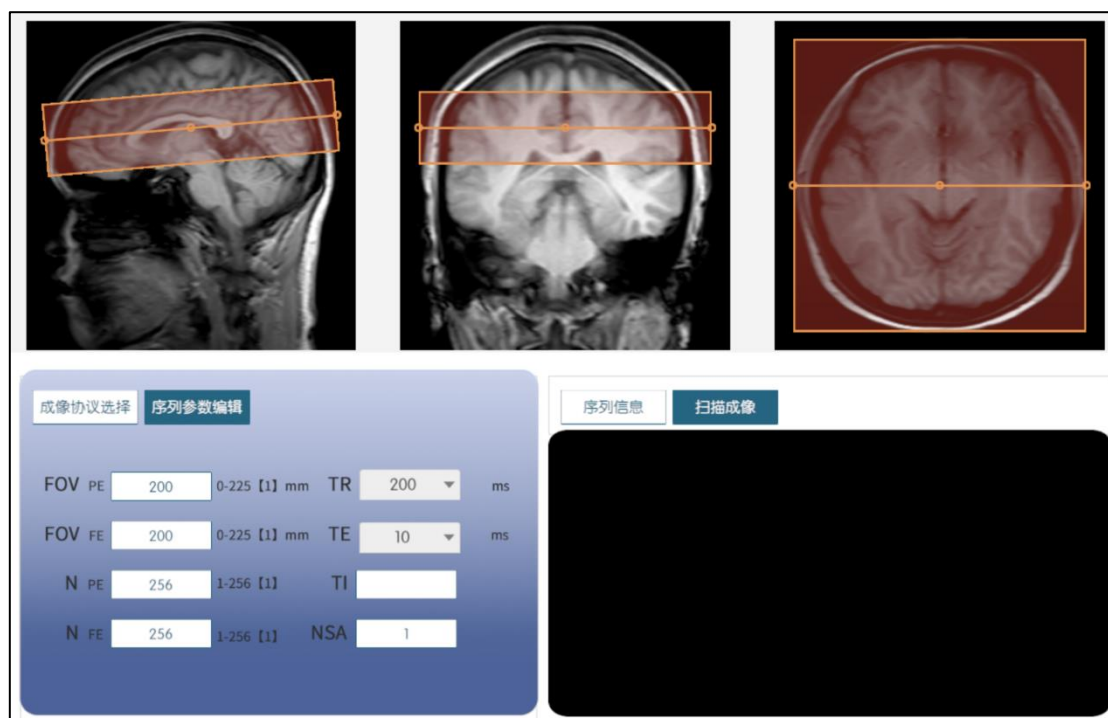


图 43 学习模式下磁共振扫描参数设定

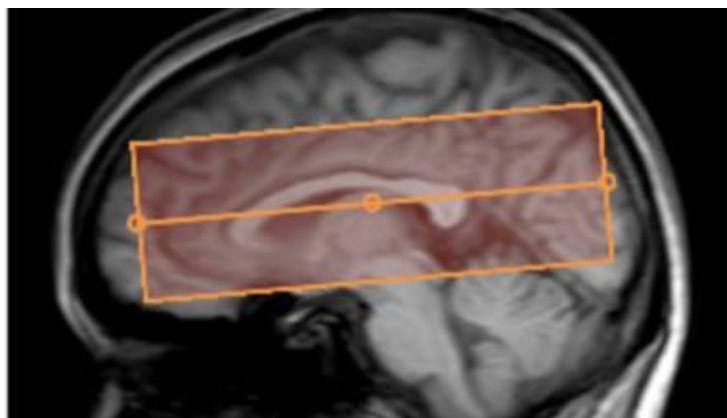


图 44 可拖动的 FOV 选框

学生进入虚拟扫描界面后，按照扫定位像、拖动调整定位框、选择序列、设定序列参数、进行扫描的顺序进行操作。可多次调整不同参数，进行扫描效果比对，选择一个最满意的结果进行方案提交。

操作结果：让学生熟悉临床磁共振扫描的操作界面，进行一些简单序列的扫描，为后面实验模式奠定基础。

2.实验模式

实验模式侧重不同序列的应用，共有三个案例：正常案例、肿瘤案例、体膜案例。

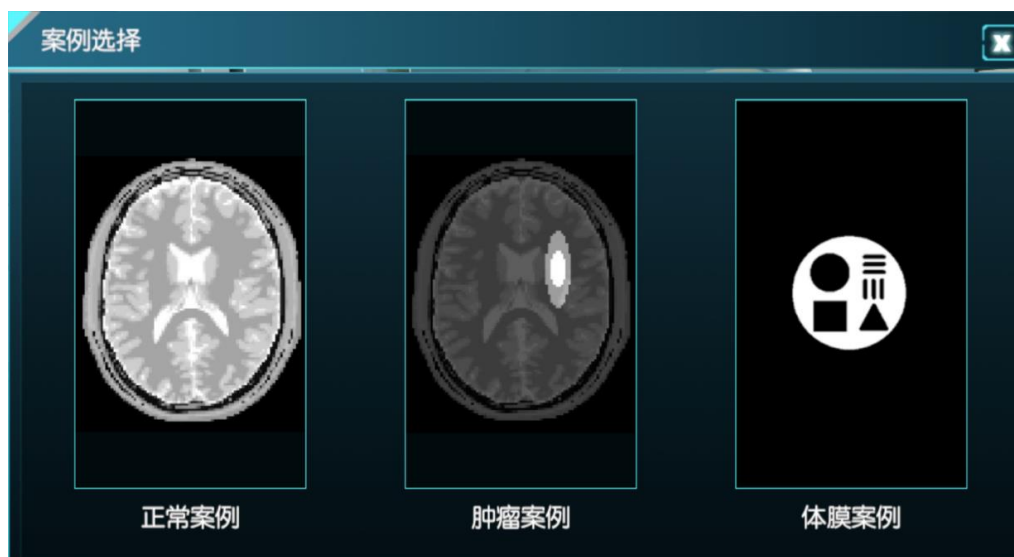


图 45 实验模式下案例选择

共有 5 个序列供选择：自旋回波序列、反转恢复序列、梯度回波序列、平面回波序列、快速自旋回波序列。单击橙色按钮，可以看到序列的信息简介，供学生选择参考。



图 46 实验模式下序列选择

扫描参数如下序列参数:

- (1) 相位分辨率 (N_{PE})、频率分辨率 (N_{FE}): 数值固定, 不可更改
- (2) 主磁场大小 (T)、重复时间 TR (ms)、回波时间 TE (ms)、反转时间 (ms)、接收带宽 (kHz)、翻转角 ($^{\circ}$)

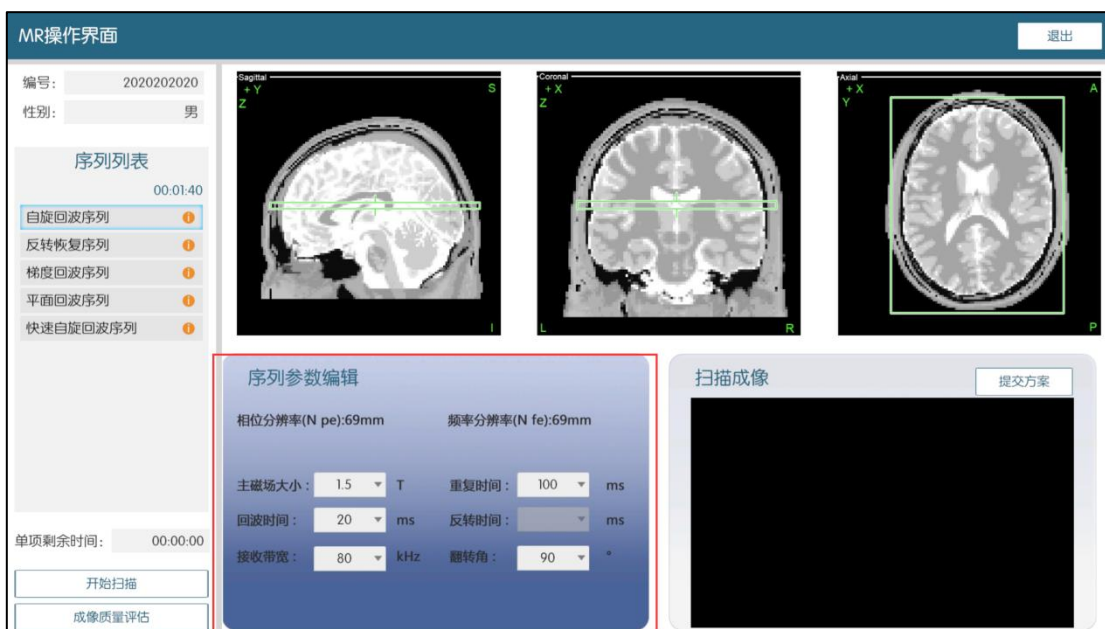


图 47 实验模式下磁共振扫描参数设定

学生选择序列, 填写序列参数后点击“开始扫描”按钮, 扫描结果在几秒钟后呈现于右下角的扫描成像框中, 点击“提交方案”, 系统将对扫描结果进行信噪比、对比度、

扫描时间三维度评估，给出图像质量评价结果，共分优、良、中、差四个等级。学生可多次根据当前任务重新选择序列、更改参数进行扫描，直至获得最好的成像效果。

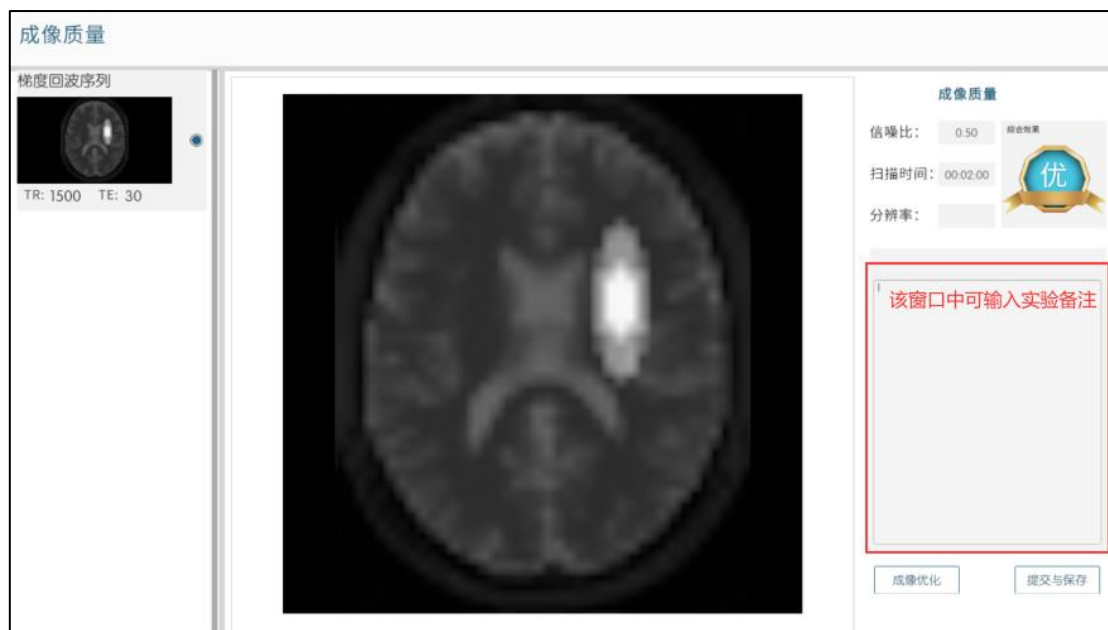


图 48 成像质量评估界面

在评估结果处，可输入扫描备注或实验思考，将一并生成至最终的实验报告中。输入完后点击“提交与保存”。

■ 步骤 15：探究实验：正常案例扫描

操作目的：突出灰质、白质、脑脊液的对比度

操作过程：选择不同序列，并尝试 T_1 、 T_2 、PD 加权成像突出灰质、白质、脑脊液的对比度。

表 1 部分人体组织 T_1 、 T_2 值 ($B_0=1.5T/3T$)

组织	T_1/ms (1.5T)	T_2/ms (1.5T)	T_1/ms (3.0T)	T_2/ms (3.0T)
白质	790	90	1100	60
灰质	920	100	1600	80
脑脊液/水	≥ 4000	≈ 2000	≥ 6000	≈ 1600
脂质	290	160	360	130
骨骼肌	870	60	1420	30
肝脏	500	50	800	40
软骨	1060	42	1240	37

表 2 加权成像的参数选取参考原则

加权类型	TR	TE
PD	长	短
T ₁	短	短
T ₂	长	长

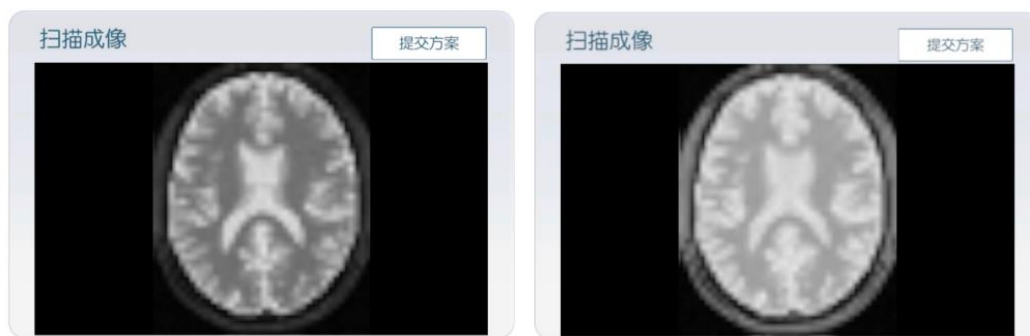


图 49 不同参数扫描结果示例

扫描完成后，点击“**提交方案**”，系统将对扫描结果进行信噪比、对比度、扫描时间三维度评估，评估结果影响最终得分，学生可多次重新选择序列、更改参数进行扫描，直至获得最满意结果。

操作结果：让学生自主调节参数完成 T₁、T₂、PD 加权成像，进而加深对临床磁共振扫描的理解。

■ 步骤 16：探究实验：肿瘤案例扫描

操作目的：突出肿瘤增强区、瘤周水肿区与正常脑组织的对比度

操作过程：选择多种序列并调整参数突出肿瘤增强区、瘤周水肿区与正常脑组织的对比度。



图 50 不同参数肿瘤扫描结果示例

扫描完成后，点击“**提交方案**”，系统将对扫描结果进行对比度、扫描时间、肿瘤

增强区、瘤周水肿区与正常脑组织的对比度评估，评估结果影响最终得分，学生可多次重新选择序列、更改参数进行扫描，直至获得最满意结果。

操作结果：让学生自主调节参数完成扫描方案设计，加深对临床肿瘤扫描技巧的掌握程度。

■ 步骤 17：探究实验：体模案例扫

操作目的：选择序列并调整参数，实现体模成像的脂肪抑制和水抑制任务。

操作过程：调整多种参数完成脂肪抑制和水抑制效果。



图 51 体模示意图



图 52 脂肪抑制示意图

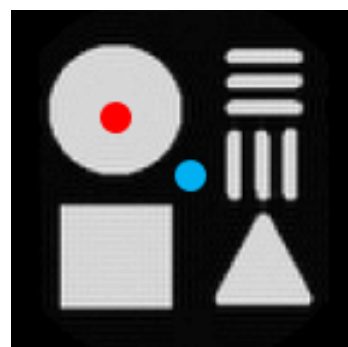


图 53 水抑制示意图

注：图 51 为“水——脂肪”体模（圆柱整体为水模，内部长方体、三角柱等几何体为脂肪）

FLAIR 水抑制序列：由于水的 T_1 较长，取较长的 TI ，可以在 **IR** 序列中抑制水的信号。学生需要使图 52 中的蓝色区域灰度尽可能接近 0，同时红色区域像素值不应过低。调整获得自己最为满意的水抑制图像并提交。

STIR 脂肪抑制序列：在 **IR** 序列中脂肪抑制中 TI 值（0 点值）等于脂肪 T_1 值的 69% 时，可以最大程度抑制脂肪信号。学生需要使得图 53 中的红色区域尽可能接近 0，同时蓝色区域不应该过低，调整获得自己最为满意的脂肪抑制图像并提交。

操作结果：让学生对磁共振成像中脂肪抑制和水抑制的技术有深入的理解。

■ 步骤 18：化学位移的测定

操作目的：理解化学位移概念和形成原理，并根据扫描结果计算化学位移。

操作过程：图 54 中可见，脂肪成的像相对于水模的空洞有一定的位移。这是因为脂肪相对于水有一定的“化学位移”——氢质子的拉莫尔频率有一定的差异，在频率编码方向引入了额外的比例相位差。

根据二维傅里叶变换的平移性质：

$$f(x - x_0, y - y_0) \leftrightarrow F(u, v)e^{-j2\pi(ux_0/M + vy_0/N)}$$



图 54 化学位移示意图

影像中的位移距离(像素):	<input type="text"/>
设定的带宽(kHz):	<input type="text"/>
频率编码分辨率(像素):	<input type="text"/>
化学位移(kHz):	<input type="text"/>

图 55 化学位移计算填空

可知，在重建的图像中会出现频率编码方向的位移。

已从图像中测得位移的像素距离，再根据成像参数在图 55 中填入设定带宽和频率编码分辨率，计算出脂肪与水的化学位移，填入并提交。

操作结果：让学生对化学位移的概念和产生原因有深入的理解，掌握其计算方法。

■ 步骤 19: 撰写实验报告，总结思考

完成四个模块后，可在小结报告中查看自己的得分情况。



图 56 小结报告查看实验得分



图 57 小结报告实例图

学生撰写实验报告，并在系统中上传。



图 58 实验报告导出示例

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）

模块一：磁共振物理基础

不同原子核的磁旋比不同，故在相同主磁场强度下进动频率不一样，波形的疏密程度不同；同一质子在不同磁场强度下进动频率也不同，波形也有变化。

模块二：磁共振信号形成

发送 RF 脉冲的时机和种类不同，会影响磁共振回波的形成，可能无法形成回波。完成 RF 脉冲发送后，测量点的选择合理与否也会影响通过公式计算出的各个物质特征值精确度，从而影响最后的问题作答。

模块三：成像设备和原理认知

选择不同图像滤波阈值，能够将图像的细节和主干分离出来。

模块四：磁共振虚拟扫描和成像质量控制和评估

选择不同的磁共振序列和参数设计，会影响扫描图像的质量，包括组织间的对比度、扫描时间、视场空间等指标。极端的参数可能导致成像失败，得到伪影和混叠的图像。特定参数下，水和脂肪所成的像会有较大的化学位移。

具体实验结果和结论如下表所示：

序号	实验模块	实验结果	结论
1	磁共振物理基础	(1) 验证拉莫尔频率： B_0 大小对进动频率的影响 (2) 验证拉莫尔频率：元素磁旋比对进动频率的影响 (3) 测量计算未知元素的磁旋比并推断未知元素种类	(1) 拉莫尔频率与 B_0 和磁旋比的乘积成正比 (2) 基于测量与计算确定未知元素的种类
2	磁共振信号形成	(1) 旋转坐标系：观察到不同坐标系下进动轨迹 (2) 部分饱和效应：观察到多次脉冲激励的幅值 (3) T1 弛豫：通过 T1 弛豫曲线测量计算得到 T1 值 (4) T2 弛豫：没有实现信号回波或成功实现信号回波，并	(1) 宏观磁矩在旋转坐标系与真实坐标系中进动轨迹不同 (2) 连续的 90° 脉冲会使得激励的信号部分饱和，达不到最大值 (3) 回答正确或错误的 T1 与 T2 值

		通过测量回波峰值与时间点计算得到 T2 值	
3	成像设备和原理认知	(1) 滤波窗分离的高频和低频 K 空间分别重建出图像 (2) 不同的滤波窗阈值下, 得到不同的重建图像	(1) 高频和低频 K 空间成分对应重建图像中的细节和主干 (2) 不同的滤波窗阈值得到不同比重的图像高低频成分
4	扫描和成像质量控制和评估	(1) 学习模式中, 必须正确选择和操作才能完成学习流程, 得到合格的图像 (2) 实验模式中 can 任意选取序列、设定参数, 得到不同案例下的仿真成像结果	(1) 合理的序列选择和参数设定可以得到较高质量的图像; 不合理的序列和参数可能导致成像失败 (2) 通过序列与参数的调整能有目的地增强特定需求的对比度 (如灰质白质、肿瘤组织等) 或抑制特定组织的信号 (3) 特定参数下, 水和脂肪所成的像会有较大的化学位移

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

专业要求: 生物医学工程专业

年级要求: 本科三年级以上、硕博士研究生

(2) 基本知识和能力要求

基本知识要求:

进行实验学习的学生应具备基本的大学物理、波动理论、数字图像处理等知识。

大学物理: 掌握磁场对磁矩的作用以及简单的量子力学知识, 能够从经典力学和量子力学的角度分析质子在磁场中的运动。

波动理论: 掌握基本的电磁场理论, 能够从电磁波的角度对磁共振信号的产生进行分析并能掌握基本的磁共振信号检测方法。

数字图像处理: 掌握数字图像处理的相关算法, 能够对检测得到的磁共振图像进行一定程度上的优化。

能力要求：

能进行自主学习、知识梳理，积极探索科学难题，愿意主动思考问题，有良好的沟通交流、协作能力。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2019 年 9 月 1 日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 78 人，外校 200 人

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：

纳入教学计划的专业数：1，具体专业：生物医学工程，
教学周期：2，学习人数：78。

(4) 是否面向社会提供服务：●是 ○否

(5) 社会开放时间：2019 年 9 月 1 日

(6) 已服务过的社会学习者人数：500 人

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）

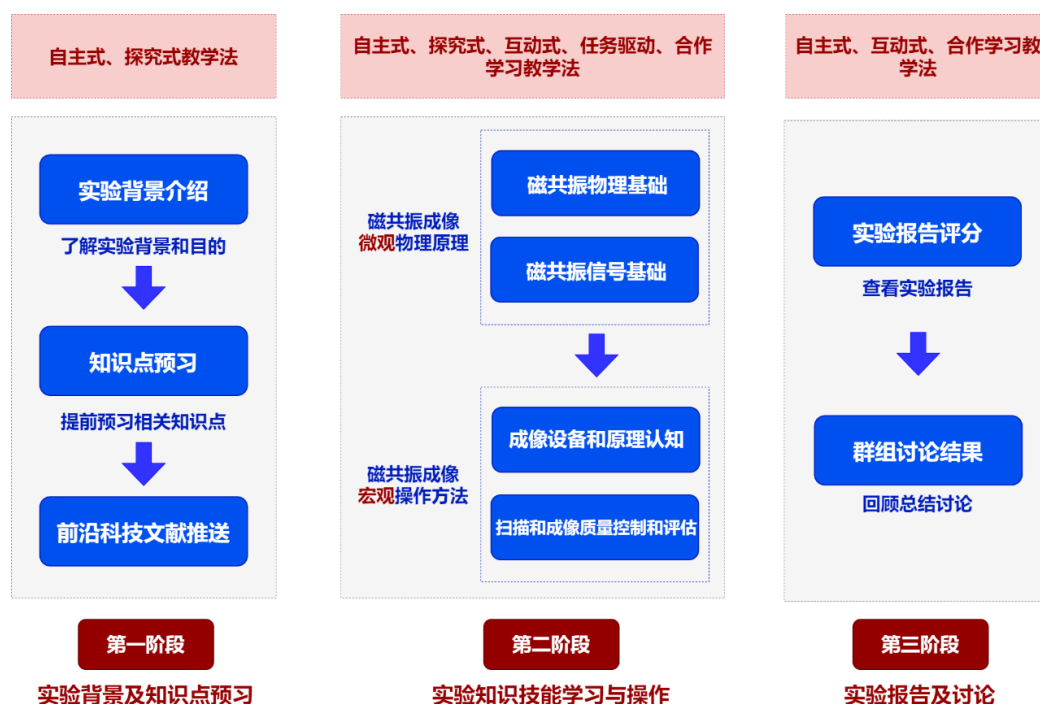


图 59 教学设计图

本课程的教学内容为磁共振成像原理与序列应用，具有知识容量大、内容抽象的特点，本项目基于以学生为中心的的教学理念，采用问题导向、情景融合、层层递进、综合考评的方法进行实验教学。

具有以下教学特色：

(1) 实验设计围绕培养“医工交叉”复合型人才的核心理念，以临床影像数据和科研成果为支撑，构建具有真实场景的实验模块，逐层递进的医工交叉融合知识技能体系。

“医工交叉”是实现前沿技术在医学领域应用的重要途径，也是培养具有新型工科知识，又具有医学知识的复合型人才的重要方式。

本实验根据南京医科大学附属儿童医院的磁共振扫描间和控制室等真实场景进行虚拟仿真 3D 建模，实验操作尽可能还原现实工作情境，扫描结果取自真实临床数据。整体实验设计层层深入，四大模块的知识技能相互关联，逐步递进，引导学生牢固掌握并融会贯通知识点，并掌握磁共振扫描技术在现实事件中的应用。将原先课堂教学中只能“纸上谈兵”的内容切实转化为实践可用的技巧与知识。着力提高学生的创新思维、创新能力，为“医工交叉”事业的发展培养优秀的复合型研究人才。

(2) 教学方法以学生为中心，以问题为导向，综合运用自主教学、探究教学等方法，提高学生学习磁共振成像技术的积极性和自主性。

学生为中心的理念贯穿课程全过程，采用灵活多样的学习方法，如自主教学法、探究教学法、互动式教学法、任务驱动教学法和合作学习法，调动学习兴趣，激发学习潜力。

学生需要解决一个实际问题，以问题为核心，学生自发地去学习相关知识。在进行虚拟扫描这一实践探究时，通过师生互动、生生互动和人机互动来激发自己的思维，获得更高效的学习体验。这些活学活用的教学方法不但能帮助学生更加深刻地理解所学知识，也更符合医疗器械行业对人才的需求。

(3) 评价体系遵循学生学习磁共振相关知识技能的规律，注重多元考核，创设具有创新性和挑战度的评价方法，综合检验了学生的专业理论和应用实践能力

传统的磁共振课程一般采用纸笔考试的方式，但本课程更偏向实践应用，希望学生能在未来现实生活中能够将知识应用到实际操作和相关研究中。故单纯地考察学生的记忆情况无法满足课程要求，不利于学生的长期全面发展。

本项目创新性地采用形成性评价方法，根据各环节的知识技能客观要求，设计相应的考题。题目具有挑战性，并非机械的知识点记忆考察，而是需要学生根据已有经验去思考、合作探讨，才能得出最终答案。学生在完成各环节知识点的学习后，完成系统给出的测验题。学生答案由系统后台自动评分，生成测验报告，方便快捷，易于管理学生测验数据。

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) 人员配备：3名提供在线教学服务的团队成员；3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8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)

带宽要求：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，最大限度地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：

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%；

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常有发生，访问效果不理想。

基于以上测试结果，建议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。

通过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进行测试。经测试，当用户数量在 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，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：

(4) 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

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：

无

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：


32011543007-21003

(2) 请附信息系统安全等级保护备案证明

信息系统安全等级保护 备案证明	依据《信息安全等级保护管理办法》的有关 规定， <u>东南大学</u> 单位 的： 第 <u>二</u> 级 <u>东南大学虚拟仿真实验教学</u> 系统 予以备案。
证书编号： 32011543007-21003	
中华人民共和国公安部监制	

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	<p>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。</p> <p>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</p>

	<p>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。</p> <p>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。</p>  <p>The diagram illustrates the system architecture across five layers:</p> <ul style="list-style-type: none">应用层 (Application Layer): 磁共振成像原理与序列应用虚拟仿真实验 (Virtual Simulation of MRI Principles and Sequence Applications), 磁共振物理基础 (Basic Principles of MRI), 磁共振信号形成 (Signal Formation in MRI), 成像设备和原理认知 (Understanding of Imaging Equipment and Principles), 虚拟扫描和质量评估 (Virtual Scanning and Quality Evaluation).仿真层 (Simulation Layer): 可视化 (Visualization), 虚拟设备 (Virtual Equipment), 图形绘制 (Graphic Drawing), 建模与装配 (Modeling and Assembly), 场景构件 (Scene Components), 构件建模 (Component Modeling), 构件装配 (Component Assembly), 仿真分析器 (Simulation Analyzer).Gate Way 网关 (Gateway): 安全认证 (Security Authentication), 权限校验 (Permission Verification), 教学 (Teaching), 管理 (Management), 实验 (Experiment).服务 (Services): 学生服务 (Student Services), 教师服务 (Teacher Services), 微实验上传 (Micro-experiment Upload), 微实验教学 (Micro-experiment Teaching), 微实验日志 (Micro-experiment Log), 视频上传服务 (Video Upload Service), 视频点播服务 (Video On-Demand Service), 视频直播服务 (Video Live Broadcast Service), 实验实训 (Experiment Training), 实验报告 (Experiment Report), 实验指南 (Experiment Guide), 数据统计 (Data Statistics), 考试系统 (Exam System), 帮助中心 (Help Center), 教学指导 (Teaching Guidance), 安全中心 (Security Center), 资源中心 (Resource Center), 协同服务 (Collaborative Services), 学间系统 (Knowledge System), 知识角 (Knowledge Corner).数据库与文件 (Database and File): 主数据库 (Main Database), Redis集群 (Redis Cluster), MongoDB集群 (MongoDB Cluster), 备份服务 (Backup Service), 从数据库 (Slave Database). <p>Arrows indicate data flow and synchronization between components across layers.</p>
实验教学	<div>开发技术</div> <div>■VR □AR □MR ■3D 仿真 □二维动画 □HTML5 □其他</div>

	<p>开发工具</p>	<p> <input checked="" type="checkbox"/>Unity3D <input checked="" type="checkbox"/>3D Studio Max <input checked="" type="checkbox"/>Maya <input type="checkbox"/>ZBrush <input type="checkbox"/>SketchUp <input type="checkbox"/>Adobe Flash <input type="checkbox"/>Unreal Development Kit <input type="checkbox"/>Animate CC <input type="checkbox"/>Blender <input type="checkbox"/>Visual Studio <input type="checkbox"/>其他 </p>
	<p>运行环境</p>	<p style="text-align: center;">服务器</p> <p>CPU <u>16</u> 核、内存 <u>32</u> GB、磁盘 <u>1000</u> GB、 显存 <u>16</u> GB、GPU 型号 <u>NVIDIA GRID K1</u></p> <p style="text-align: center;">操作系统</p> <p><input type="checkbox"/>Windows Server <input checked="" type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他，具体版本：</p> <p style="text-align: center;">数据库</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Mysql <input type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle <input type="checkbox"/>其他</p> <p>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）</p> <p style="text-align: center;">是否支持云渲染： <input type="radio"/>是 <input checked="" type="radio"/>否</p>
	<p>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）</p>	<p>单场景模型总面数：40 万个</p> <p>贴图分辨率：512px * 512px</p> <p>每帧渲染次数：30 calls</p> <p>动作反馈时间：11ms</p> <p>显示刷新率：60FPS</p> <p>分辨率：80ppi * 80ppi</p>

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	持续优化虚拟实验平台硬件及软件的建设，包括： ① 不断完善平台内知识点库、课件库、习题库等参考材料 ② 根据大量用户实际使用体验感，调整优化操作引导，加强对薄弱基础学生的实验指导，降低使用本实验系统的专业门槛，进一步推广使用 ③ 改良评分体系，尽可能地增大能力评分占比，减少简单知识点的考核
第二年	① 定时更新知识角热点资讯、科技前沿板块，补充国际最新磁共振成像技术进展，教学内容紧跟国际前沿水平 ② 重点建设在实验系统中的虚拟扫描部分，与医院紧密合作，获取更多临床数据，扩充更多病种病例，可以添加身体其他部位的扫描，比如膝关节、心脏，或者功能磁共振（fMRI）扫描案例，如老年退行性疾病等
第三年	① 与磁共振厂商合作，开发磁共振序列设计模块，进一步提高实验的可调性，训练学生对序列的设计能力。 ② 强化图像质量评估系统，可进一步开发影像数据后处理功能模块，能够进行一些简单的影像处理操作，比如平移缩放、阈值分割、灰度拉伸等。
第四年	① 引入虚拟现实技术，开发 VR 版本的虚拟仿真实验，增强学生沉浸体验感，对磁共振设备各部件构造有更加直观的感知 ② 虚拟扫描部分增加图像数据分析模块，结合人工智能技术，初步开始 AI 智能辅助诊断工具的建设
第五年	① 实现 AI 智能辅助诊断工具使用的建设，实现病例扫描、数据分析，并给出初步诊断结果 ② 组建并固定长期教学服务团队，更好地支持此课程在全国范围内稳定运行

其他描述：

本实验项目将继续投入大量人力和资金，优化建设整个系统。在面向高校、社会的推广的同时，完善用户预约登记、案例分层管理制度，向不同需求用户开放不同特色的

教学内容。在稳步提升高校、社会的推广数量的基础上，根据高校联盟的各层用户反馈，不断完善优化用户体验，提供稳定的在线技术支持与教学支持等服务。

(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	3	500	2	1000
第二年	5	700	5	1500
第三年	10	900	9	2500
第四年	15	1200	14	4000
第五年	20	2000	20	5000

其他描述：

①面向高校的推广应用计划：重视拓展**院校共建**，全国约 160 所高校开设生物医学工程专业，可以在**生物医学工程实践教学联盟**推广本虚拟仿真实验，并为使用高校提供教学服务。

②面向社会的推广应用计划：重视在医疗行业领域的推广，推进与医院的合作（如南京医科大学附属第一医院、南京鼓楼医院、南京脑科医院等），从临床影像数据库引入更多病例，丰富扩充虚拟扫描病例库，形成**教学资源共享、互利的良性循环**。

③本实验目前面向本校学生免费开放，项目在认定后 3 年内将面向其他高校免费开放并提供教学服务；在认定后 2 年内面向社会免费开放并提供教学服务，3 至 5 年内面向社会免费开放服务内容不少于 30%，5 年后免费开放服务内容不少于 50%。

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	磁共振成像原理和序列应用虚拟仿真实验软件
是否与课程名称一致	<input checked="" type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 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，可自行增加著作人填写栏进行填报。	

著作权人	著作权人类型
孙钰	<input type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input checked="" type="radio"/> 课程负责人 <input type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
梁嘉炜	<input type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input checked="" type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
权利范围	全部权利
软件著作登记号	2020SR1647296
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	

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权登记证书

证书号： 软著登字第6448268号

软 件 名 称： 磁共振成像原理和序列应用虚拟仿真实验软件
[简称：磁共振成像仿真实验]
V1.0

著 作 权 人： 东南大学

开发完成日期： 2020年04月22日

首次发表日期： 未发表

权利取得方式： 原始取得

权 利 范 围： 全部权利

登 记 号： 2020SR1647296

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。




 No. 08800318


 2020年11月25日

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 14 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）

中共东南大学委员会

关于第二批国家级一流本科课程推荐 的政治审查意见

经审查，东南大学申报国家第二批国家级一流本科课程推荐课程团队成员政治表现优秀，无违法违纪记录，无师德师风问题，无学术不端行为，五年内未出现过重大教学事故。由以上团队参加的东南大学虚拟仿真实验课程内容价值取向正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述准确无误，对于国家主权、领土表述及标注准确。

同意该课程参与第二批国家级一流本科课程申报。

中共东南大学委员会

2021年6月2日



关于第二批国家级一流本科课程推荐课程 课程团队成员和课程内容的政治审查意见

经审查，李乃斌、邢书恒、郑馨语、朱俊、李静、赵沈程、赵大力 政治表现 优秀，无违法违纪记录，无师德师风问题，无学术不端行为，五年内未出现过重大教学事故。由以上团队参加的东南大学 核磁共振处理虚拟仿真实验 课程内容价值取向正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述准确无误，对于国家主权、领土表述及标注准确。

同意该课程参与第二批国家级一流本科课程申报。

南京恒点信息技术有限公司（盖章）

2021 年 12 月 31 日

2.课程内容学术性评价意见（必须提供）

《磁共振成像原理与序列应用虚拟仿真实验》

课程校内学术性评价意见

本项目的教学内容——医学成像，是发展非常迅速的前沿交叉学科，是现代医学的重要组成部分和衡量医学水平高低的主要标志，也是生物医学工程专业的核心课程之一。根据多年《医学成像原理》的教学经验，磁共振是学生最难掌握的部分，这一方面是由于磁共振成像本身的原理非常抽象与复杂，涉及物理、化学、电磁学、信号理论等多门学科；另一方面，由于硬件设备数千万的售价与每年几十万的维保费用，绝大部分高校难以负担，故无法开展实际的上机实验。而目前市面上存在一些虚拟仿真实验系统仅是简单地模拟了操作界面、设备房间和外形，或者有一些预置的虚拟定量实验，对成像的原理解释性不足。因此，本项目设计了用于配合磁共振成像教学的磁共振虚拟仿真实验系统，充分揭示了磁共振成像结构与原理，实验系统的开发特色如下：

一、系统模块设计展示了“从原子核到图像”的完整过程，形成完整的逻辑线索，且具有客观真实性和高仿真度。实验设计了4个递进式的实验环节，前两个模块利用实时渲染的三维动画形象地展示了微观层面的磁共振物理知识，化抽象为形象，降低授课老师讲解和学生理解的难度，第三个模块展示了磁共振扫描硬件设备结构和成像过程中各轴向射频信号的协同运作关系，以及图像重建的整个过程。第四模块用于学生自主进行扫描探索。实验内容的设计均是基于客观物理事实，场景的构建也是根据南京医科大学附属儿童医院磁共振扫描间还原建模的，虚拟扫描的数据也来源于临床真实数据，能够提供学生有良好沉浸感、临场感、交互感、轻松感的虚拟仿真实验场景，让学生在不用去医院实习的情况下掌握磁共振扫描的流程与技巧。

二、教学内容设计重视理论知识与实践应用相结合，致力于培养学生解决复杂医学影像问题的综合能力和高级思维。本项目贯穿“以学生为中心”和“项目式”的教学设计理念，在虚拟扫描模块中，设计了3个不同案例扫描任务，学生为了达到扫描效果，需要自主探索不同序列的功能和特点，以及参数设计的原理依据，随后对磁共振扫描序列的结构和参数进行的编辑，扫描结果在试错与反思中提高理解和掌握的程度，并获得创新性的启发。用项目的方式激发学生学

习的自驱力，有效促进学生多学科、多专业、多课程知识点的融会贯通和能力的塑造。

三、将前沿科研成果反哺于实验教学。知识角不断更新磁共振技术最新进展相关文献，拓展学生的视野，让学生在系统地掌握专业基础知识之余不断学习适应发展，培养学生成为生物医学工程领域从事科学研究、技术开发和管理等工作的核心专业人才，为国家重大医疗设备国产化做出贡献。

该项目的开发与申报，对东南大学生物科学与医学工程学院的教学改革与学科建设有着重要的促进与示范作用。经教学示范中心成员讨论，同意推荐申报。

评价组织：生物医学工程国家级实验教学示范中心（东南大学）

成员签名：

陆祖宏 生物科学与医学工程学院
生物医学工程系

罗守华 生物科学与医学工程学院
智能医学工程系

居胜红 医学院医学影像学系



2021年6月8日

3.校外评价意见（可选提供）

（1）南京大学医学院附属鼓楼医院医学影像科评价意见

《磁共振成像原理与序列应用虚拟仿真实验》

校外评价意见

应东南大学生物科学与医学工程学院孙钰教授的邀请，本人对其负责的《磁共振成像原理与序列应用虚拟仿真实验》项目进行测评，以下是评价意见：

“健康中国 2030”规划纲要指出，要促进医药产业发展，加强医药技术创新，加快医疗器械转型升级，提高具有自主知识产权的医学诊疗设备、医用材料的国际竞争力；此外，还要加强健康人才培养培训，推进医学科技进步，启动实施脑科学与类脑研究等重大科技项目，加强慢病防控、精准医学、智慧医疗等关键技术突破。这些目标对医疗产业人才和临床医疗工作者的培养提出了更高的要求，在更加扎实地掌握基本知识的同时，还需要接受充分的实践教学与临床培训。该项目内容符合临床教学及培训的实际情况，贴近医疗产业发展对人才培养的需求。

成本、人员排班、被试伦理等限制因素在临床培训中普遍存在，基于虚拟仿真的教学与培训系统是突破这些限制因素的主要途径之一，是实际操作与教具模拟训练的重要补充。该项目基于临床采集的真实数据与强大的仿真模型，以虚拟空间与对象的方式将磁共振成像各个层面与步骤精准还原；操作界面上去除不必要的细节，又保留了实际最重要的要素。该仿真系统与课程实现了对磁共振成像全流程全知识点的系统性覆盖和梳理，帮助学生形成直观而连贯的认识，全面、系统地掌握这一成像技术；不受机时的限制进行充分的学习与试验，掌握序列选择与成像参数调整的技巧。

综上所述，本人同意推荐该项目申报国家级一流本科课程（虚拟仿真实验教学课程）。

南京大学医学院附属鼓楼医院医学影像科 行政主任



（签名）

日期：2021 年 6 月 8 日

(2) 南京医科大学附属儿童医院放射科评价意见

《磁共振成像原理与序列应用虚拟仿真实验》 校外评价意见

在医院影像科的医师、技师以及磁共振专职物理师培训中，存在着机时问题。即使在大型医院，磁共振扫描仪的数量最多通常也只有 2-3 台，再加上一次磁共振检查的时间通常远高于 CT 等其他影像，工作时间的机时普遍是排满的，并且要提前数天预约。这对于开展培训是一种较难克服的限制。

孙钰老师的《磁共振成像原理与序列应用虚拟仿真实验》是根据我们南京医科大学附属儿童医院的磁共振扫描间和控制室等真实场景进行虚拟仿真 3D 建模，实践操作尽可能还原现实工作情境，仿真扫描结果最大化地取自真实临床数据。虽然现阶段是用于高校教学，后续对于医院的虚拟培训也具有重要的促进与借鉴意义；其原理教学部分清晰明了，简单易懂，对于临床医师强化理论基础，提高理论水平也有很大的帮助。

本人同意推荐申报。

南京医科大学附属儿童医院放射科 主任



(签名)

日期：2021 年 6 月 8 日