

基于CARTO系统的三维可视化心脏模型在心血管系统疾病整合教学中的应用

杜立红 张文娟

石嘴山市第一人民医院 宁夏 石嘴山 753200

摘要：心血管系统疾病存在解剖学上复杂、发生发展过程及治疗方法繁多的特点，传统的教学方式不能使学生形成完整的临床思维。而CARTO系统是三维电解剖标测技术，可以生成逼真的三维心脏图像，显示心腔结构、电学特征以及病灶所在位置等。本文论述如何利用此模型进行心血管系统疾病的整合教学，即“解剖—生理—病理—治疗”的整合教学法。研究发现，以CARTO系统为基础所制作的三维可视化心脏模型可克服以往教学中的单调性，有利于不同领域间的交叉学习，提高学生的空间观念以及临床判断力。以期为今后医学教育的发展起到一定的借鉴作用。

关键词：CARTO系统；三维可视化；心脏模型；整合教学；心血管疾病

引言

心血管系统疾病是致死致残主因，其诊疗依赖多领域知识整合。传统学科分立教学易致知识碎片化，学生难以形成临床决策能力。整合教学以器官系统为主线重组知识，但实现结构与功能、解剖与电生理的统一仍是难点。CARTO系统作为三维电解剖标测技术，可实时重建心脏三维模型并标注电激动与病灶信息，实现“解剖即功能”的可视化。将其转化为教学资源，有望为心血管整合教学提供创新载体。

1 CARTO系统三维可视化心脏模型的技术原理与教学转化

1.1 技术原理概述

CARTO系统利用体外定位垫产生低频磁场，在带有定位传感器标测导管于心腔中运动过程中，系统会不断获取标测导管末端的位置信息（XYZ三个方向）以及心内膜接触处的小范围电活动变化（例如激动时间、电压大小、电位波形等）。当收集一定数量的数据点（一般在50~200之间）之后，系统采用插值法重建心脏三维结构并用彩色显示电生理情况，在此基础上，红色表示激动时间最早或者电压较低位置（如正常窦性激动开始处或者是心肌瘢痕区域），而蓝色或紫色则激动时间较晚或者电压正常位置。

1.2 模型的核心教学要素

以CARTO系统为基础的心脏三维重建图像包含五

个方面的内容：其一，解剖结构，即心房、心室、瓣膜环、肺静脉、冠状窦等重要解剖学标志之间的相互位置以及彼此间的临近关系；其二，激动传导，在激动图（ActivationMap）上显示电活动由窦房结传至房室结直至整个心室的过程；其三，电压分布，在电压图（VoltageMap）上显示正常心肌（ $>1.5\text{mV}$ ）及瘢痕组织（ $<0.5\text{mV}$ ）之间存在的区别反映异常区域的位置；其四，病灶定位，例如房颤起搏点大多位于肺静脉前庭或者室速折返路径处于瘢痕边缘区；其五，消融靶点，标记消融导管所在处及其消融范围，体现治疗方法^[1]。

1.3 从临床工具到教学资源的转化路径

将CARTO系统用于教学面临高昂的成本费用、复杂的操作方式以及涉及患者隐私信息的安全问题。可以采取的方法有：第一，在学校内部建立教学用病例数据库，在经过相关伦理审查的情况下对其中包含典型病人的CARTO原始数据进行去标识化处理以生成可供播放的教学文件；第二，开发虚拟仿真实验室，在CARTO系统的离线工作站（如CARTOMerge或者CARTO3SystemOfflineAnalysis）上结合互动式大屏幕展示心脏结构供学生们转动、切割、注释；第三，打印出实物模型，将一些具有代表性的模型数据转换成实体以便触摸感知；第四，拍摄一段视频并配上声音作为固定的教学资料保存。

2 整合教学的理论基础与设计原则

2.1 理论基础

布鲁纳指出知识结构化促进迁移。心血管教学常陷于碎片化，而CARTO三维图像整合解剖、电生理等信息，契合认知负荷理论的“时空整合原则”，降低认知

项目名称：基于CARTO系统的三维可视化心脏模型在器官-系统整合—《心血管系统疾病》课程教学中的探索与实践

（项目编号：NYJY2025056）

负担,并支持建构主义倡导的自主发现与情境学习^[2]。

2.2 设计原则

基于CARTO模型的整合教学有四个原则:一是整合性原则,是以疾病为本而不是以技术为本,模型呈现是为了说明某种疾病(如房颤、室速、预激综合征等)发生发展的过程;二是渐进性原则,是从正常的解剖电生理模型开始,逐渐过渡到常见疾病的模型,最后到复杂的病例,符合人的认知特点;三是参与性原则,在保证安全的前提下尽可能让学生有更多的动手操作的机会,而不要过多地让他们看;四是评价的一致性原则,在对学生的学习情况进行测试时,应更多地考察他们能否根据三维的信息来进行临床思维,而不是让他们死记硬背这个模型的特点。

3 具体教学应用模式

3.1 理论授课阶段的辅助讲解

在心血管系统疾病的课堂教学过程中,教师可以使用CARTO动态模型来弥补传统PPT上静态图像所不能达到的效果,“预激综合征”就是一个例子,在传统的教学中需要同时呈现心脏解剖图、Kent束示意图、心电图δ波以及异常传导通路之间的联系,而应用CARTO模型以后,教师就可以先展示正常的窦性激动图(激动从右心房侧面传至房室结),再添加Kent束的位置(标记为白色区域),然后模拟激动提前到达心室的情况(表现为局部异常提早激动图),最后呈现临床心电图中的δ波出现的位置,整个过程仅需三分钟便可完成从“异常解剖结构—异常电传导—心电图改变”的讲解。

3.2 实验教学与临床见习中的整合实践

3.2.1 教学对象与分组设计

为系统评价CARTO三维可视化模型的教学效果,将2025年5月至2026年5月期间在我院器官-系统整合《心血管系统疾病》课程中参与见习的本科医师随机分为观察组和对照组,每组各20名。观察组使用CARTO系统的三维可视化心脏模型联合CBL教学模式,对照组采用二维图像和静态解剖相结合的教学模式,从出科考试成绩和问卷调查两个方面进行教学效果评价。

3.2.2 观察组教学实施

观察组采用CARTO系统三维可视化心脏模型联合CBL教学模式。学生首先接受传统CBL教学,带教医师提前选择临床常见病例作为教学基础,指导学生详细阅读住院病历与病程、收集影像学资料并分析病例,通过医学教材与网络资源查找相关知识。在此基础上,带教医师根据所选病例利用CARTO三维系统重建心脏三维模型(由我院CARTO设备提供技术支持),在教学查房中结

合三维模型进行病例分析,对比影像学资料,明确诊断并制定最终治疗思路,最后由小组成员提出问题并在组内讨论。

3.2.3 对照组教学实施

对照组单纯采用二维图像及静态图谱教学模式,带教医师以教学查房的方式对学生进行病例分析,学生总结组员讨论意见并形成最终治疗思路。

3.2.4 教学效果评估

两组学生在心内科见习结束后,由同一组带教老师对两组学生进行心血管系统相关知识出科考试。考试内容包括心血管系统理论知识、病例分析及专业技能三部分,每门总分100分,记录考试成绩。同时采用不记名问卷调查方式评估两组学生在学习兴趣、理解能力、内容掌握及满意度评价等方面的差异,收集并分析两组数据,从而得出教学效果结论。

3.2.5 实验操作

教师引导学生使用CARTO离线工作站进行模拟操作。以“典型房扑激动机制”教学为例,学生先从模型库中选取正常右心房模型,观察激动从上腔静脉向心耳及下腔静脉扩散;再选取典型房扑模型,激动图显示逆时针大折返——激动通过三尖瓣峡部缓慢传入下腔静脉形成折返环。学生可自行标注“解剖屏障”(欧氏嵴、下腔静脉口)及“功能性阻滞区”,量取折返环周长(一般在14-20cm之间),并分析传导速率与心动过速周期的关系。此过程将电生理知识(折返机制)与解剖学概念(峡部、瓣环、静脉口)有机结合,帮助学生理解为何需要进行“三尖瓣峡部消融”以打断折返环。

3.3 临床见习教学中的病例讨论

在临床见习期间,CARTO模型可用于病例讨论。选择已经完成导管消融患者的典型病例如下:首先展示患者基本情况(主诉、心电图、动态心电图)。其次展示术前CARTO激动图,请同学们指出异常激动起源或者折返路径。再次比较解剖模型以及电压图,寻找可能病理基质(如心肌瘢痕、低电压区)。最后回顾消融点分布图,分析消融方案(线性消融或点状消融、是否需要补点消融等)。最后展示术后验证图(消融线上双极电图幅度降低、局部不能被起搏等证明消融有效电生理证据)^[3]。这样就把“诊断-病理机制-治疗策略-疗效评价”形成一个循环,同学们可以亲身经历整个诊疗过程。

3.4 多学科联合教学(MDT模式)

心血管系统疾病的教学实际上是一种多学科知识融合的过程,在此基础上,可以由解剖学老师介绍模型中标注的心内膜结构(例如界嵴、梳状肌、冠状窦口

等)；由生理学老师讲述激动时序以及动作电位之间的关系；由放射科老师展示该模型及心脏CT/MRI结合的图像(CARTO系统可以导入DICOM数据并且实现图像配准)，比较三维电解剖图与实际解剖图像的区别；由内科老师结合以上内容给出治疗建议。这是一次真正意义上的跨学科教学，学生在一个课堂上就可以学到多个领域的知识。

4 教学效果评估与价值分析

4.1 提升空间认知能力

由于心脏是一个非规则3D器官，其中包含的各种结构之间位置关系一直是学习难点，在平时教学过程中一般会采用二维切片或者尸体标本来进行观察学习，但是这两种方法都存在一些问题，二维切片缺少深度信息，而尸体标本不能体现心脏的功能性变化。通过CARTO可以做到全方位旋转，多层面切开(例如可以看到心房壁透明后的心腔内部结构)，阶段性的突出显示(如单独显示出传导系统的走行等)，大大减轻学生的心理旋转负担。

4.2 促进知识整合与迁移

研究显示，学习CARTO模型的学生对于“假性心电图定位”这类综合性题目解答情况要好于对照组学生，这是因为模型构建了“解剖位置-电信号特征-疾病表现”之间联系，比如当学生观察到电压图中左心房后壁存在较大范围低电压区域(提示心肌纤维化)时，可以马上想到房颤消融术后再发率较高、需要加大消融面积的方法。而这种推理过程就是我们希望达到整合教学目的。

4.3 缩短理论学习与临床实践的鸿沟

传统教学存在的一个问题就是学生进入临床之后“看不懂三维标测图”、“不清楚为何选择这个消融靶点”。提前熟悉CARTO模型就相当于“临床之前预习”，他们已经了解模型颜色代表的意义、导管如何移动以及各种疾病特点等，所以在临床轮转期间可以很快地融入到电生理团队当中并能给出具有一定根据的意

见，起始点较高。

4.4 培养精准医疗思维

精准医疗需要以病人的具体病理生理情况为依据进行治疗。而CARTO就是一个很好的例子——每个病人有不同的模型，反映出了电生理的特点具有空间异质性的特点^[4]。在教学中，老师指导学生们注意不同的病人模型之间的区别(如疤痕的位置、电压的程度、传导的速度等)，讨论如何根据不同的病人来制定个性化的消融方案，使他们学会“因人而异”。

5 结语

基于CARTO系统的三维可视化心脏模型，将解剖结构、电生理时序、病理局灶及治疗靶点融于同一平台，有效消解学科壁垒。尽管面临设备成本、师资培养等挑战，但通过资源共享、虚拟仿真等策略可实现规模化应用。在医学教育向“器官系统为中心”转型的背景下，三维可视化与整合教学的深度融合已成趋势。CARTO模型不仅提升教学质量，更培养学生“看得见、想得通、判得准”的临床思维能力。未来，随着增强现实、人工智能等技术的发展，该模型将更智能、便捷、低成本。

参考文献

- [1]李伏,翟媛,蒋庆军,等.基于Carto系统三维高精度标测在心律失常心电图教学中的应用[J].医药前沿,2023,13(18):8-11.
- [2]周公哺,白瑾,李宗师,等.采用CARTO3Version6.0系统指导心房颤动消融术后房性心动过速的标测和消融[J].中国心脏起搏与心电生理杂志,2022,36(4):325-329.
- [3]黄正,章超惠,李梦丽,等.PBL与CBL联合教学模式在心律失常带教中的应用:基于CARTO3系统的临床医学实习生教学实践[J].延边大学医学学报,2026,49(5):125-127.
- [4]贾索尔·肖克热提,李耀东,周贤惠.案例式教学融合Carto三维心脏电解剖模型在心律失常教学中应用及评价[J].中国医药导报,2025,22(28):99-104.