

数字化手术室管理平台的设计及应用

顾政, 褚永华 (通信作者)

浙江大学医学院附属第二医院 (浙江杭州 310014)

〔摘要〕随着计算机和远程通信技术的发展, 数字化手术室正成为智慧医院建设的关键组成部分。数字化手术室通过集成先进的信息技术提升手术效率和安全性, 未来可融合人工智能等技术, 更趋于智能化, 为患者提供更精准的个性化治疗。该研究通过分析医院数字化手术室的实际配置, 全面阐述数字化手术室的原理、结构和系统, 并以浙江大学医学院附属第二医院部署的一套数字化手术室管理平台为例, 对其临床应用效果进行评价, 为同行提供建设数字化手术室的设备配置、方案设计参考。

〔关键词〕数字化手术室; 手术设备; 线上手术直播

〔中图分类号〕R197.3 〔文献标识码〕B 〔文章编号〕1002-2376 (2025) 08-0013-05

〔DOI〕10.3969/j.issn.1002-2376.2025.08.004

The Design and Application of the Digital Operating Room Management Platform
Gu Zheng, Chu Yonghua (Corresponding Author). The Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou Zhejiang 310014, China

〔Abstract〕 With the development of computer and remote communication technologies, digital operating rooms are becoming a key component in the construction of smart hospitals. The efficiency and safety of surgeries can be enhanced by digital operating rooms through the integration of advanced information technology. In the future, artificial intelligence and other technologies can be integrated to become more intelligent and provide patients with more precise personalized treatment. In this study, with the analysis of the actual configuration of the hospital's digital operating room, the principle, structure and system of the digital operating room were comprehensively described. A set of digital operation room management platform was deployed in our hospital, and its clinical application was evaluated, providing references for equipment configuration and scheme design for peers who need to build digital operation rooms.

〔Key words〕 Digital operating room; Surgical equipment; Live streaming of online surgeries

随着信息技术的不断发展, 手术室也从基础医疗设备功能的简单整合, 发展为全面集成医疗设备信息、建立手术室内外通信平台的数字化手术室^[1]。传统手术室存在设备数量多、线缆摆放杂乱、空间利用率低, 无法监控手术质量, 缺乏医学影像信息获取与存储的平台, 无法有效整合医疗设备等问题^[2]。数字化手术室通过搭建手术室信息化平台集成临床信息, 不仅汇集包括患者的基本信息、生理指标、手术参数、医学影像, 以及手术视频与线上

会议直播等多元化内容, 还为医师、患者、专家和学生提供了一个高效、便捷的数字化信息平台, 使手术室从以往封闭的独立空间转变为开放、互动的手术教学、学术交流及临床试验等多个方面的信息交流场所, 并利于提升医疗服务的效率和质量, 降低患者的手术风险^[3-4]。数字化手术室是整个手术室设备新技术发展的集中体现, 但作为一个集成平台, 仍存在诸多问题^[5]。为此, 本研究通过介绍数字化手术室的概念、硬件构成、整体实现效果、临床应用、内部相关技术的发展路径等内容梳理数字化手术室的设计建设流程, 并以我院设计和部署的一套数字化手术室管理平台为例分析其使用效果,

基金项目: 浙江省科技厅重点研发计划项目 (2022C03111)
收稿日期: 2024-08-13

以期为同业者提供具体可参考的依据。

1 数字化手术室概述

数字化手术室集计算机网络技术、自动控制技术、影像音频信号处理技术、信息通信技术于一体，可整合医院电子病历系统（electronic medical record system, EMRS）、医院信息系统（hospital information system, HIS）、医院影像归档和通信系统（picture archiving communication system, PACS）、实验室信息系统（laboratory information management system, LIS）等对接的数据通信接口，并重新设计流程和功能，使医护人员能够实时便利地获得患者信息，完善手术室管理和运营功能，提高患者信息的安全性，为手术室提供更加高效、安全的手术环境；同时，采用影像视频技术采集、储存手术室影像，并将其通过多种途径的信号分配推送，包括但不限于视频矩阵分配，通过虚拟网络控制台（virtual network console, VNC）的服务端远程控制，可将音视频信号的视屏流推送至线上直播平台^[3, 6-7]。

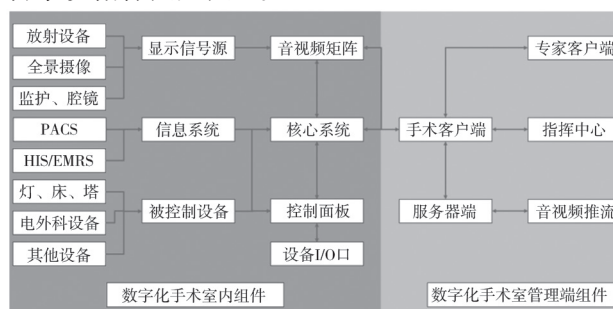
数字化手术室常由术野摄像机、全景摄像机、医用显示器、系统触摸控制屏、PACS 影像专用显示屏、手术室内全向麦克风、视频矩阵、音频矩阵、系统控制器、云端服务器、影像音视频存储服务器、集成式视频采集器等硬件设备组成，可实现音视频信号的数字化和手术室设备、患者手术信息一体化整合；还可配置无影灯、多功能手术床、吊塔、监护仪、麻醉机等手术设备，以及腔镜系统（包括气腹机、膨宫泵、光源）、手术动力系统、术中超声系统等设备的通信终端，同时配备手术室整体设备的控制用户界面（user interface, UI）及其相关硬件，以此构建一体化手术室^[8]。对于手术室内开放通信及控制协议的第三方设备也可进行一体控制。

2 医院数字化手术室管理平台设计及构成

2.1 数字化手术室硬件组成

手术室内设备、设备控制面板、数字化手术室设备 I/O 接口一起组成了单个数字化手术室控制系统。我院数字化手术室设计方案中，硬件组件包括显示信号源内预置的视频信号采集器及音视频矩阵对手术室内设备、系统信号进行采集。本研究设计的数字化手术室管理平台中，每个手术室配置 1 台数字化手术室客户端作为视频采集设备，采集后直接将视频信号重采样成数字信号直接推流至内网服务器，当进行视频分配、转发、编辑、存储时，均需由服务器端操作。数字化手术室内部装有系统 UI 控制面板，可按照手术要求将音视频信号与手术室内相应终端进行硬链接，客户端的音视频推流模块可以在内网和线上平台推送音视频流，并将

平台上回推的音视频流解码后反推至音视频矩阵；PACS、HIS、EMRS、LIS 及其他相关医院信息系统可向数字化手术室推送患者的手术排程及相关术前信息，医护人员可在终端调阅信息，记录相关操作和流程。数字化手术室管理平台的客户端和服务端负责完成局域网内及线上的视频分配、显示屏界面控制、设备操作、手术室内外数据传输及信息的存储管理等关键功能。数字化手术室的硬件构成同样包括整体的设备及其数据安全要求，通过全系统整机的电磁兼容性测试，保证手术室系统内音视频等数据传输及通信信号稳定，控制设备不会因无线电干扰导致误触发；数字手术室使用的医用数据信号须独立设置，在数字化手术室云服务或软件系统“崩溃”的情况下仍能正常传输术中音视频信号。数字化手术室管理平台系统拓扑图见图 1。



注：PACS 为医院影像归档和通信系统，HIS 为医院信息系统，EMRS 为医院电子病历系统

图 1 数字化手术室管理平台系统拓扑图

2.2 数字化手术室管理系统构建

数字化手术室管理系统由数据层、服务层、应用层 3 个层级组成，负责数据的存储、访问和管理，主要包括院内网络平台、架设在院内网服务器上的虚拟机及云存储服务端，见图 2。每个数字化手术室都配置了本套系统的手术室客户端，另外在主任办公室配置了远程参与手术的专家客户端。

数据层主要对应基础数据服务，如数据库、配置文件等。业务数据包含医院的机构和部门数据、用户数据、设备数据、设备使用数据、会议数据、配置数据等。通信数据主要是实时音视频会议过程消息和用户实时状态变化消息。配置数据主要是每个客户端所属机器的配置数据，包括设备节点名称对应的 IP 地址、房间号，是否存在域及对应的 DNS，每台客户端预先配置的麦克风、音响设备、云控制摄像头、信号源采集设备信号对应端口及其重采样分辨率，客户端本身功能和权限相关数据。日志数据包括系统激活后各客户端本身设备使用状态的记录和云端服务器存储使用记录等。

服务层是业务逻辑的核心实现层，可提供系统的一些中间文件，负责处理业务规则、协调数据层与应用层的交互，如消息服务、日志服务、定时任务等。图片服务主要用于本系统内的图片资源存储。容器服务是系统底层，其他服务均运行在容器服务管理的容器中。客服端服务是面向客户端控制界面的数据，包括各种应用程序编程接口（application programming interface, API）。网站服务主要是指部分客户端内部的界面，是载入服务端发布的网页内容。音视频服务是调用网页实时通信（web real-time communication, WebRTC）。

应用层是按照部署场景设计的相关客户端 UI、专家端 UI 和服务端程序，包括手术室客户端应用、远程专家客户端应用、介入指挥中心应用、数据管理界面，并设置云端服务器数据的用户管理和读写权限，确保用户、患者的医疗数据信息安全^[9]。

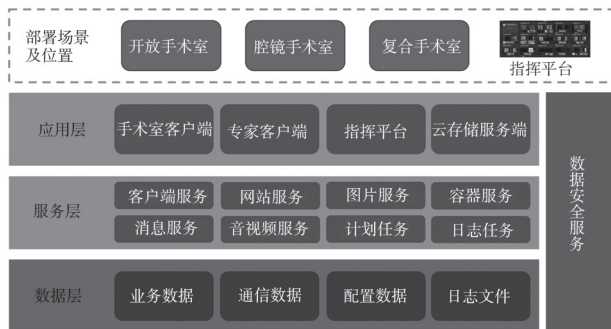


图 2 数字化手术室管理系统软件端拓扑图

2.3 数字化手术室管理平台系统功能实现

2.3.1 系统操作流程设计

管理系统整体构建中，用户类型主要分为医师、专家、管理员 3 类。医师角色可主动分享医学影像设备桌面，与专家一起在线研讨。专家角色可以通过音视频会话、分享本地桌面等方式与其他专家、医师进行网上通信。管理员拥有所有权限，包括设置其他角色权限，对系统数据、内容进行维护。该功能需要手术室端登录角色确认，进行线上连线时，只需对在线的任何一个角色发起会议申请即可进入手术线上直播，直播可同时容纳 10 个角色在线进行音视频通话、分享本地桌面、共享本地键鼠及预注册设备、推送手术室内显示屏信号等。控制设备包括放射设备主机、3D 工作站、手术室内部云台 IP 摄像头、预注册设备等^[10]。

2.3.2 远程会议及设备控制

院内网音视频转播功能实现路径如图 3 所示，使用 WebRTC 服务作为实现多客户端间实时通信的基础，在构建会议时，客户端与服务端需

有序协作，由多个关键环节组成^[11]。（1）准备阶段。客户端需完成 2 项关键准备工作，一为初始化 WebRTC 功能，生成一个类似于“通信枢纽”的 RTCPeerConnection 对象，此对象将负责管理后续的对等连接；二为调用相关功能启用摄像头与麦克风，采集本地音频与视频数据形成本地媒体流，为实时通信提供基础数据。服务端需搭建信令服务器，其功能如同“信息中转站”，负责在各个客户端之间准确传递信息，确保客户端间的通信顺畅。

（2）会话信息交互。以客户端 A、B 的 1 项会话为例，客户端 A 首先生成一份“会话描述”，即 Offer。Offer 中详细说明了本地媒体流的相关参数，包括视频分辨率、音频编码格式等，以此告知其他参与者自身的通信能力。随后，客户端 A 将 Offer 发送至信令服务器，委托其转交给客户端 B。服务端的信令服务器在接收到客户端 A 的 Offer 后，迅速将其转发给客户端 B，确保信息传递的及时性与准确性。客户端 B 接收来自服务端转发的 Offer，并依据自身实际情况生成一份“回应描述”，即 Answer，用以表明自身接收媒体流的能力。之后，客户端 B 将 Answer 发送至信令服务器，由服务器再次转发给客户端 A。至此，双方通过交换 Offer 与 Answer，就媒体传输参数达成共识。连接路径探寻，客户端 A 与客户端 B 同时开启探寻直接连接路径的工作。在此过程中，会收集一系列“连接路径信息”，即 ICE 候选者。这些信息包含了可能的网络链接地址与端口等关键数据。客户端在收集到 ICE 候选者信息后，将其发送至信令服务器。服务端信令服务器接收来自客户端 A 和 B 的 ICE 候选者信息，并分别转发给对方客户端，确保双方都能获取到必要的连接信息。客户端 A 和 B 在收到对方的 ICE 候选者信息后，尝试依据这些信息建立与对方的直接连接。当客户端 A 和 B 成功交换并应用 ICE 候选者信息后，便能够成功建立直接连接，音视频数据得以顺畅传输，会议开启。（3）授权发起（客户端操作）。会议建立后，若某客户端（如客户端 A）希望获取对其他客户端（如客户端 B）设备的控制权，客户端 A 会向服务端发起授权请求。此请求中会明确指出目标客户端（客户端 B）及希望控制的设备类型（如 CT、MR 等）和键鼠操作。

（4）服务端处理。服务端接收到客户端 A 的授权请求后会记录相关信息，并向所有参会客户端广播 1 条通知，告知大家客户端 A 发起了针对客户端 B 设备的授权请求。（5）授权决策。相关客户端响应：客户端 B 收到授权请求通知后，会在本地界面展示该请求，由用户决定是否授予客户端 A 相应控制权。

同时，会议中的其他具有授权决策权限的客户端（如会议主持人）也会收到通知，同样可以参与授权决策。决策信息收集：有权限的客户端将自己的决策通过信令服务器反馈给服务端；服务端收集所有决策信息。（6）授权结果判定（服务端判定）。服务端根据预设的授权决策规则（如可能需要多数同意或特定角色同意等）对收集到的决策信息进行判定，若满足授权条件，判定授权成功；否则判定授权失败。（7）结果反馈。服务端将授权结果通过信令服务器反馈给客户端 A，同时也会向客户端 B 及其他参与决策的客户端通报授权结果。（8）控制操作实施授权。授权成功，客户端 A 收到授权成功通知后，通过 WebRTC 数据通道向客户端 B 发送设备控制指令，指令中明确具体的控制操作；客户端 B 接收并解析控制指令，调用本地设备的相关驱动程序或 API 执行相应操作；客户端 B 完成操作后将设备的当前状态信息通过 WebRTC 的数据通道反馈给客户端 A；客户端 A 接收并展示设备状态信息，让用户了解远程设备控制效果。若授权失败，客户端 A 收到授权失败通知后，在本地界面提示用户授权失败原因。

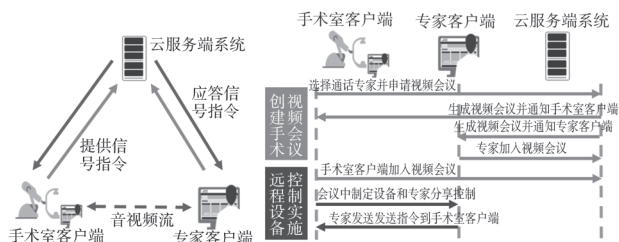


图 3 医院内网远程音视频会议及远程控制端实现流程

2.3.3 云端存储功能

当前所有手术室客户端均可实时存储全程全参数高清录像和关键图片、全程音频，但视频存储在本

地，由于存储信息为 4 路 1080 p 分辨率视频信号，手术室客户端设备需全部配置大容量硬盘，整体手术室视频记录管理存在归档问题^[12]。后续拟开发全参数手术记录云端存储，即在云服务器端部署视频存储功能，实现无损视频存储、归档，定时更新，最后设置查看编辑权限。由于储存的是 4~6 路原尺寸视频，该软件会提供所有信号共时间轴视频剪辑功能^[13]，实时画面重规划功能，最后增加全参数手术影像查询、编辑 UI。

3 数字化手术室管理平台的临床应用效果

我院部署了多院区共 4 个品牌、11 间数字化手术室，为医务人员、患者、医学生提供了专业、高效的手术室流程体验。院内已投入使用的数字化复合手术室实体配置单体手术室，均配置 1 台客户端，为数字化手术室管理系统的运行提供 VNC 服务，以供云端监控管理系统或其他端侧应用远程登录、控制（图 4）。本院数字化手术室将所有不同品牌厂家部署的数字化手术室整合于系统平台管理。该项目具备术中 CT、MR 等设备的远程操作权限，可远程登录并控制放射设备的主机及 3D 工作站。所有数字化手术室终端均可远程登录，实现远程数字化手术室子系统操作。

3.1 临床应用场景

（1）术前精准规划及术中调阅。数字化手术室内置组件与医院信息系统链接，通过整合与分析患者信息，能够按需获取患者的基本信息、病史、检验检查结果等。在数字化手术室中，手术医师可以在术中调取患者的冠状动脉造影、CT、MR 等影像资料，回放术前的精准评估和手术规划，并配合医院内外专家及时调整手术策略。（2）远程会诊与专家协作。借助视频会议技术，数字化手术室支持本地与异地间的影像或设备共



注：悬浮控制面版功能为实现视频分屏、录制、手术会议、文档管理等功能。嵌墙大屏主要显示手术室视频、支持线上会议、展示术前信息。数字耗材管理主要是实时统计柜内耗材型号数量。放射设备屏幕支持画面实时切换各种信息。摄像头麦克风采集术者影像，支持实时沟通

图 4 单个手术室设备部署

享连接。医师可以在手术过程中实时与远程专家进行会诊和交流，获取专家的意见和建议，提高手术的成功率。（3）术后质量控制与评估，手术过程记录与回放。数字化手术室管理系统能够对手术过程进行全参数高清录像，其中关键图片、全程音频可形成多媒体手术病历，作为手术质量控制的重要依据，方便回顾和分析，发现问题和不足并及时改进。（4）医学教学与学术交流，手术示教与直播（图 5）。本套数字化手术管理系统提供了无损级别精准记录及传输的全套解决方案，可以将手术过程实时且无损传输到示教室或远程教学点，供学生和医护人员进行观摩、学习，以及开展学术会议。



图 5 院区内部署云端数字化手术室示教平台

3.2 临床应用效果

数字化手术室管理平台部署完成后，比较数字化手术室使用前后 3 个月的情况（手术音视频存储次数、手术 / 视频平均时长），以验证该数字化手术室的使用情况。

部署数字化手术室管理平台后，手术视频存储率明显增多，从 58.4% 上涨到 91.8%；手术视频时长减少了约 12 min，缩短了手术平均时长，反向推动了手术台次从 318.9 台次增加到 323.2 台次，提高了手术室工作效率和工作质量。

表 1 数字化手术室使用情况比较

手术室	手术台次	手术音视频存储 (台次)	手术 / 视频平均时长 (min)
部署前 3 个月	318.9	186.3	138
部署后 3 个月	323.2	296.7	126

4 总结与展望

数字化手术室巧妙地融合了新技术、新应用以及新管理方式，展现出多元且充满潜力的发展方向。随着科技的持续进步，应用于其中的各种新技术也在不断地更新迭代，为数字化手术室注入源源不断的活力。本研究设计的数字化手术室管理平台较好地实现数字化手术室功能，可用于术前规划、线上会诊、质量评估等操作，提高了手术质量与治疗效率。然而，数字化手术室建设面临技术兼容性难题、数据安全与隐私保护的挑战、医护人员对新系统的适应困境等问题。但在相关从业人员的不懈努

力下，凭借他们专业的知识、精湛的技术及勇于创新的精神，数字化手术室将通过精准的数据采集、高效的传输以及深度的分析利用，实现手术流程的智能化优化、术中决策的精准化支持，为患者提供更优质、安全的医疗服务。

[参考文献]

[1] 袁明勇, 傅洪, 张永航. 面向现代医疗行业应用的高端数字化手术室的研究与设计 [J]. 中国临床研究, 2016, 29(5): 710-712.

[2] 黄范倩, 陈建华, 李惠婷. 手术监控视频在手术安全核查管理中的应用实践 [J]. 江苏卫生事业管理, 2021, 32(9): 1181-1183.

[3] GARCIA VAZQUEZ A, VERDE J, HERNANDEZ LARA A, et al. Consensus for operating room multimodal data management: identifying research priorities for data-driven surgery[J]. Ann Surg Open, 2024, 5(3): e459.

[4] ZHANG C, JIA F, WANG W, et al. research on construction and risk management of operating room based on iots and digitization.[J] J Healthc Eng, 2022: 3776017.

[5] 冯靖祎, 陈华, 刘济全. 设备互联和信息集成技术在数字化手术室建设中的设计和实现 [J]. 生物医学工程学杂志, 2011, 28(5): 876-880.

[6] 陈学政. 信息化管理系统在手术室仪器设备中的应用 [C]// 中国医学装备协会. 中国医学装备大会暨 2022 医学装备展览会论文汇编 (上册). 哈尔滨医科大学附属肿瘤医院, 2022: 3.

[7] 陈晨, 王亚平, 王锦秀, 等. 虚拟现实全景术野融合手术示教直播系统构建与评价 [J]. 中国医学装备, 2023, 20(2): 131-134.

[8] 中华医学会医学工程学分会. 一体化手术室建设与使用全流程质量管理体系专家共识 [J]. 中国医疗设备, 2022, 37(10): 4-13.

[9] 王辉, 吕培栋. 基于数据安全的医院系统容灾建设 [J]. 信息技术与信息化, 2023, (2): 51-54.

[10] HU PF, XIAO Y, HO D, et al. Advanced visualization platform for surgical operating room coordination: distributed video board system.[J]. Surg Innov, 200613(2): 129-135.

[11] 丁常坤, 夏兵, 王江淮, 等. 基于客服呼叫平台和 WebRTC 的实时视频接入与排队技术 [J]. 现代计算机, 2023, 29(7): 107-111.

[12] 周子建, 游嘉颖, 高攀, 等. 腹腔镜胰十二指肠切除术手术视频录制、存储管理及使用的现状调查研究 [J]. 腹腔镜外科杂志, 2023, 28(5): 382-386.

[13] 邱景荣. 视频剪辑技巧分析与实战应用 [J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2024, 21(4): 120-122.