



基于神经网络算法的 X 医院手术间分配优化研究^{*}

——李靖^{1,2} 秦君璞^{1,2} 黄嘉炜^{1,2} 汪嘉恒^{1,2} 农雨昊^{1,2} 华依林^{1,2} 姚麟^{1,2}

【摘要】 目的 探讨利用机器学习算法优化医院手术间资源配置,以提升资源利用效率。方法 基于 X 医院手术运行数据,运用神经网络等机器学习算法预测各科室每周手术时长,并据此制订手术间分配优化方案。结果 应用优化策略后,该院 2024 年手术量较 2023 年增长 11.66%,手术间利用率由 68.04% 提升至 72.80%。结论 基于机器学习算法的手术间资源需求预测与优化可以提高手术间利用效能,助力医院精细化管理与高质量发展。

【关键词】 神经网络算法;手术间分配;手术时长预测

中图分类号:R197.323

文献标识码:A

Research on the Optimization of Operating Room Allocation in Hospital X Based on Neural Network Algorithms/LI Jing, QIN Junpu, HUANG Jiawei, et al. // Chinese Health Quality Management, 2026, 33(2): 64-68

Abstract **Objective** To explore the optimization of operating room resource allocation in hospitals using machine learning algorithms to enhance resource utilization efficiency. **Methods** Based on the operational data of surgeries at hospital X, machine learning algorithms such as neural network were employed to predict the weekly surgical durations for each department, and an optimized operating room allocation plan was formulated accordingly. **Results** After implementing the optimization strategy, the number of surgeries in 2024 increased by 11.66% compared to 2023, and the utilization rate of operating rooms improved from 68.04% to 72.80%. **Conclusion** Predicting and optimizing operating room resource demand based on machine learning algorithms can enhance operating room utilization efficiency, supporting refined hospital management and high-quality development.

Key words Neural Network Algorithms; Surgical Room Allocation; Surgical Duration Prediction

First-author's address The Sixth Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong, 510655, China

近年来,国家陆续发布《关于推动公立医院高质量发展的意见》《DRG/DIP 支付方式改革三年行动计划》《“数据要素×”三年行动计划(2024—2026 年)》等政策文件,指出应建立医院运营管理决策支持系统,加快推动医院运营管理的科学化、规范化、精细化;同时,大力推进公立医疗机构运营管理信息化建设,强化人工智能、大数据、云计算等现代信息技术应用,加快内部各

类信息系统互联互通、各类数据共享共用^[1-3]。

在此背景下,运用智能化手段优化医院运营管理已成为研究热点。在实际医疗场景中,医院手术间供需矛盾日渐显现,如何在有限的资源条件下提升手术间利用率成为关键问题。基于此,本研究运用神经网络算法模型,结合医院实际工作场景中存在的运行效率与资源配置问题,对 X 医院手术间分

配问题进行研究并形成优化方案,旨在进一步提高医院核心医疗资源使用效率,从而实现医院精细化运营管理。

1 现状分析

1.1 国内外研究现状

目前,国内外已有部分文献运用机器学习算法及其他数据统计方法对手术间、床位等资源配置优化策略

DOI:10.13912/j.cnki.chqm.2026.33.2.13

* 基金项目:广东省现代医院管理研究所应用研究项目(编号:JZ2022028);广东省卫生经济学会 2025 年科研项目(编号:2025-WJMZ-115);广州市科技计划重点研发项目(编号:2023B03J1277)

1 中山大学附属第六医院 广东 广州 510655 2 广州市黄埔区中六生物医学创新研究院 广东 广州 510799

进行测算与研究。Schiele J 等^[4]通过机器学习算法预测重症监护病房床位占用情况,并据此优化手术间容量分配。曾华堂等^[5]利用长短时记忆(long short-term memory,LSTM)机器学习算法预测科室的最佳床位数。刘健等^[6]运用 XGBoost 算法精准预测神经科门诊量。李琳等^[7]采用 LSTM 深度机器学习算法模型对医院月门诊量进行预测分析。朱顺痣等^[8]通过构建机器学习模型对医院门诊量进行分析与预测。

另有部分研究采用线性规划模型进行手术间工作量分析及资源配置优化。Kuo CP 等^[9]采用线性规划模型构建手术间分配模型,以实现每周手术总收入最大化。Vans-teenkiste N 等^[10]采用加权线性模型对各科室进行手术间容量规划与重新分配。曾雁冰等^[11]构建手术工作量的多元回归分析模型,为手术间合理配置手术资源提供数据支持。刘海港等^[12]采用多重线性回归分析模型预测各科室手术正台数并进行手术间正台分配优化。杨鑫森^[13]采用移动平均法对医院的日间手术需求进行预测,并建立混合整数随机规划模型来制订日间手术间分配方案。这些研究多集中于具体的手术排程或科室床位配置等领域,涉及手术间配置方面的研究仍较空缺。

1.2 医院现状分析

X 医院是一所具有胃肠专科特色的综合性三甲医院,年手术量达 6 万人次,年结直肠癌手术例数超过 4 200 例。医院共开放 19 个手术间,常规工作时间为每日 11 h。手术间以周为单位,对各科室每周的手术间数量进行安排和相对固化。随着医院手术量需求不断增长,一方面,手术间受人力、场地等因素限制,其利用效率已达到瓶颈;另一方面,多个科室表示当前手术间安排难以满足

实际手术需求,请求增加手术台数。面对日益突出的手术间供需矛盾,如何在有限的资源条件下合理分配手术间,进一步提升手术间利用效率,成为当前手术间精细化管理亟待解决的一大难题。

此前,医院通过问卷调查与数据统计等方法对手术间利用效率进行分析发现,接台时长与手术间配置是影响手术间运行效率的主要影响因素。由于接台时长优化涉及多方面因素,优化环节繁多且可控性相对较低,而手术间配置有客观数据支撑,可控性和可操作性相对较高,故本研究优先选择手术间分配方案优化这一主题进行手术间运行效率提升,以期提高手术间利用率,进一步提升手术间精细化管理水平。

2 手术间分配优化方案设计

2.1 研究方法

本研究基于医院各科室既往手术数据,筛选出对手术时长有影响特征变量,采用神经网络等机器学习算法对各科室一周手术总时长需求进行预测,并根据预测结果制订手术间分配优化策略。

2.2 运用神经网络算法进行手术时长需求预测

2.2.1 数据收集与特征选择

选取 X 医院 2022 年 1 月—2023 年 6 月的手术数据用于模型构建。数据取自医院手术麻醉系统,经过数据清洗后,共筛选出 28 377 条有效信息。根据李珊虹等^[14]的研究结果,手术时长影响因素主要为患者性别、年龄、手术类型、主刀医师职称等。结合实际工作经验与数据获取可行性情况,本研究选取用于构建机器学习模型的特征,包括患者性别、年龄、BMI 指数、手术医

师、主要手术编码、麻醉方式及麻醉风险级别等(表 1)。其中,患者年龄均值为 47.16 岁,方差为 289.47; BMI 指数均值为 22.51 kg/m²,方差为 11.56。最终获得研究用数据共 19 597 条。

2.2.2 模型选择与交叉验证

选取神经网络、岭回归、贝叶斯岭回归、自适应正则化回归、Lasso 回归、支持向量机、K 近邻等多种机器学习算法模型进行比较,通过 5 折交叉验证评估各类机器学习算法模型的泛化能力,避免过拟合或欠拟合的问题。

本研究采用均方误差(mean square error,MSE)、均方根误差(root mean square error,RMSE)、平均绝对误差(mean absolute error,MAE)、决定系数(R²)和皮尔逊相关系数作为评价指标。其中,MSE 用以衡量预测值与真实值之间平均差异的平方,其值越小表示模型的预测结果与真实值的拟合程度越高;RMSE 用以衡量预测值与真实值之间平均差异的平方根,其值越小表示模型预测结果与真实值的拟合程度越高;MAE 用以计算预测值与真实值之间绝对差异的平均值,其值越小表示模型的平均预测误差越小,模型在预测时的表现越优秀;R² 是衡量回归模型拟合优度的指标,其值越接近 1 表示模型对目标变量的变异解释程度越高,模型表现越好;皮尔逊相关系数是一种衡量两个变量之间线性关系强度和方向的统计量,其值越接近 1 或 -1 表示两个变量之间存在越强的线性关系,表明模型的预测结果与真实值之间具有较高的一致性。

验证结果显示(表 2),神经网络、岭回归、贝叶斯岭回归和自适应正则化回归算法的皮尔逊相关系数可达 0.8 左右,说明这 4 种算法模型适用于手术时长预测工作。

表 1 X 医院影响手术时长的特征变量取值情况

变量名称	变量类型	取值情况
患者性别	类别	男性 10 096 例,女性 9 501 例
患者年龄	数值	1~95 岁
BMI 指数	数值	13.1~34.9 kg/m ²
手术医师	类别	15~734
主要手术编码	类别	15~1 962
麻醉方式	类别	全麻 14 600 例,非全麻 4 997 例
麻醉风险级别	类别	一级 5 276 例,二级 13 221 例,三级 1 013 例,四级 87 例

表 2 X 医院手术间分配优化研究所选机器学习算法模型相关性检验结果

模型	MSE	RMSE	MAE	R ²	皮尔逊相关系数
神经网络	3 596.878	59.937	37.151	0.653	0.809
岭回归	3 710.585	60.878	38.322	0.643	0.802
贝叶斯岭回归	3 710.785	60.880	38.337	0.643	0.802
自适应正则化回归	3 731.711	61.052	38.359	0.640	0.800
鲁棒回归	4 287.565	65.439	39.088	0.587	0.773
梯度提升回归	4 198.500	64.759	40.443	0.596	0.772
随机森林	4 393.273	66.249	40.201	0.577	0.762
决策树	7 081.082	84.103	50.877	0.317	0.650
Lasso	6 481.097	80.485	56.195	0.375	0.615
K 近邻	6 754.326	82.170	54.250	0.349	0.602
逻辑回归	9 689.746	98.410	61.712	0.066	0.500
支持向量机	9 094.416	95.349	64.881	0.123	0.421

2.2.3 算法适用性验证

分别使用神经网络、岭回归、贝叶斯岭回归和自适应正则化回归算法进行建模后,选取 2023 年 6 月 5—11 日共 254 条记录进行测试,预测各科室一周的手术总时长情况(图 1)。大部分科室整体手术时长预测结果与真实值较为接近,说明 4 种算法均可实现较为精准的预测。其中,神经网络算法模型稳定性最强。其余 3 种算法本质上均基于线性模型思维,预测效果较为接近,对部分可能存在异常的个体进行预测时往往同时出现异常值。因此,最终选择神经网络算法模型用以开展手术时长需求预测分析。

2.2.4 神经网络算法模型构建

该模型为三层神经网络架构,分别为输入层、隐藏层和输出层。输入层包含患者性别、年龄等 7 个节点,用于接收建模原始数据;隐藏

层包含 100 个节点,用于提取和学习数据特征;输出层为 1 个节点,是给出最终计算结果或判断的终点,即手术总时长(图 2)。使用的激活函数为 Relu 函数,学习率为 0.001,正则化系数为 0.000 1,最大迭代次数为 200。

2.3 手术间分配优化方案

2.3.1 基于手术时长的手术间动态调配策略

根据各科室一周手术总时长预测结果,结合手术间开放数量与手术间总开放时长,动态调配各科室每周可使用的手术间数量。具体做法为,运用神经网络算法模型对每周各科室手术时长需求进行预测,计算各科室手术时长占全院总手术时长的比例,根据占比情况进行手术间动态分配。对手术时长需求较大的科室给予更多手术间资源倾

斜,使手术间资源配置更为合理。

2.3.2 基于手术效率的手术间资源配置策略

由于胃肠外科各科室(包括肛肠外科、胃外科及结直肠外科各区)所开展的手术种类较为相近,可根据手术时长预测结果,比对各科室实施同一种手术的耗时。对于手术耗时较短、手术效率较高的科室,适当予以更多手术间资源倾斜,以激励科室不断精进手术技术、提高手术效率,从而促进手术间整体利用率提高,实现手术量逐步增长。

2.3.3 基于手术需求总量的手术间开放策略

管理人员可以根据全院各科室手术需求总量的预测结果,决定是否增开手术间或延长手术间开放时长,并根据手术时长总需求与手术间总开放时长的差值,测算相应的开放数量或开放时长。

3 应用成效

3.1 应用实例

以 2023 年 7 月 3—9 日各科室手术间调配为例,运用神经网络算法模型对各科室手术总时长需求进行预测后,根据优化方案分配结果如表 3 所示。在手术间资源配置方面,每周可用于医院统一调配的手术间数量达 82 间。此外,每日会预留 5 间手术间作为机动资源,以实现动态调配。

3.1.1 以周为单位动态调配手术间

根据计算结果,手术总时长最多的前 5 位科室分别为胃外科二区、结直肠外科二区、肛肠外科二区、结直肠外科六区及肛肠外科一区,占全院总手术时长比例分别为 11.75%(3 128/26 621)、9.33%(2 485/26 621)、9.14%(2 433/26 621)、8.35%(2 222/26 621)和

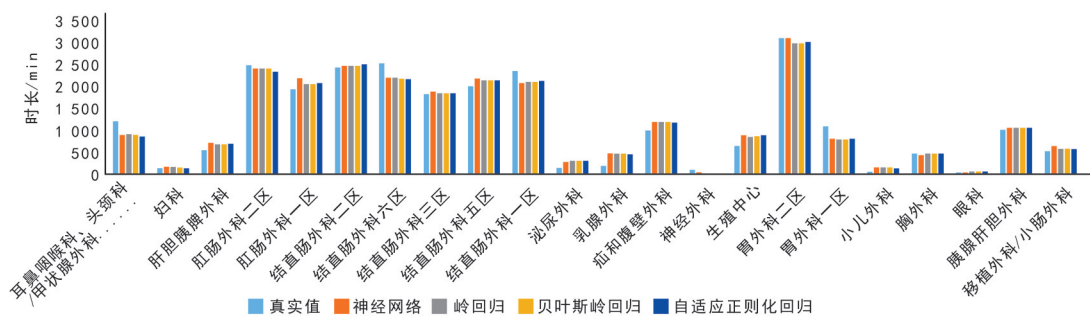


图 1 X 医院各科室一周手术总时长不同模型预测结果

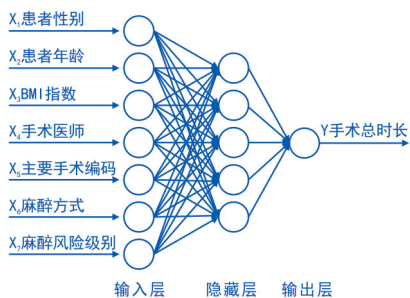


图 2 X 医院手术间分配优化方案研究神经网络算法模型构建示意图

8.29% (2 207/26 621)。以一周可调配的手术间总数分别乘以科室手术时长占比,求得这 5 个科室一周所需的手术间数量分别为 10 间、8 间、7 间、7 间和 7 间。对比现行手术间分配方案,需相应调增手术间 7 间、3 间、2 间、2 间和 2 间。

3.1.2 对手术效率高的科室给予更多手术间资源倾斜

以胃肠专科主要手术之一的“腹腔镜下直肠切除术”为例,根据数据测算结果,结直肠外科一区、二区、三区、五区和六区的手术平均时长分别为 3.38 h、2.98 h、4.58 h、3.32 h 以及 4.03 h。这表明在实施同一种手术时,结直肠外科二区的手术平均耗时最短、效率最高。根据测算结果,医院在分配手术间时为结直肠外科二区增开 3 个手术间。

3.1.3 按需增加手术间数量或延长手术间开放时长

数据表明,全院各科室手术间使用总时长为 1 358 h(手术时长+周转时长)。而根据一天开放 19 个全麻手术间、每个手术间开放 11 h 可

表 3 基于神经网络算法的 X 医院手术时长预测与手术间分配优化示例

科室	手术总时长 预测/min	手术总时长 占比/%	所需手术 间数量/间	现行手术 间数量/间	手术间 差额/间
胃外科二区	3 128	11.75	10	3	7
结直肠外科二区	2 485	9.33	8	5	3
肛肠外科二区	2 433	9.14	7	5	2
结直肠外科六区	2 222	8.35	7	5	2
肛肠外科一区	2 207	8.29	7	5	2
结直肠外科五区	2 204	8.28	7	5	2
结直肠外科一区	2 104	7.90	6	6	0
结直肠外科三区	1 896	7.12	6	5	1
疝和腹壁外科	1 202	4.52	4	4	0
胰腺肝胆外科	1 060	3.98	3	2	1
生殖中心	904	3.40	3	5	-2
耳鼻咽喉科、头颈科/甲状腺外科	900	3.38	3	3	0
胃外科一区	819	3.08	3	5	-2
肝胆胰脾外科	734	2.76	2	2	0
移植外科/小肠外科	650	2.44	2	1	1
乳腺外科	491	1.84	2	2	0
胸外科	452	1.70	1	4	-3
泌尿外科	286	1.07	1	6	-5
妇科	175	0.66	1	3	-2
小儿外科	165	0.62	1	1	0
神经外科	54	0.20	0	0	0
眼科	50	0.19	0	0	0

知,当前一周(共六天,周日不开放)手术间开放总时长为 1 254 h。因此,当前手术间处于供不应求的状态,每周仍有约 100 h 的手术需求缺口。据此,医院在工作日期间每日延迟 1 h 关闭手术间以满足实际手术需求。

3.2 应用成果

自 2024 年以来,医院根据以上 3 个维度积极开展手术间分配方案优化调整,在全院各科室的通力合作下,该

方案被证实具有良好的应用效果。2024 年,X 医院手术量较 2023 年增长 11.66%,手术间整体利用率由原来的 68.04% (44 985.72 h/66 120 h) 提升至 72.80% (48 533.62 h/66 670 h) ($t = -2.425, P = 0.017$)。全院首台手术开台准时率持续维持在 90.00% 以上,全麻手术接台时长中位数由 49 min 缩短至 37 min,非全麻手术接台时长中位数由 30 min 缩短至 18 min,手术间复苏时长中位数由 60 min 缩短至

34 min,夜间择期手术占比由 16.00% 下降至 8.00%,手术间运转效率提升明显。

4 讨论

目前,国内外现有研究多聚焦于手术间流程优化管理,运用机器学习算法辅助开展手术间动态调配的案例仍比较少见。本研究选取患者性别、年龄、BMI 指数、手术医师、主要手术编码、麻醉方式和麻醉风险级别等影响手术时长的特征变量,运用神经网络等机器学习算法对各科室一周的手术总时长进行需求预测。根据获得的手术总时长及单项手术耗时,对各科室手术间安排进行动态调配,将手术间资源优先倾斜于手术需求大、效率高的科室,以实现手术间资源优化配置。相较于原有的手术间固定安排模式,动态调配方案可以有效缓解不同科室间的手术间供需矛盾,使手术间安排更贴合当下的实际需求。这有助于充分利用有限的手术间资源,提高手术间整体利用率,符合手术间精细化管理要求,促进了医院运行效率和综合效益的提升。此外,手术间动态调配方案以数据测算结果为依据,可在一定程度上降低人工分配的主观影响,打消各科室对手术间分配方案的疑虑和不满。

本研究虽然在一定程度上提升了手术间资源配置效率,但仍然存在部分问题,有待进一步优化完善:(1)数据局限性。一方面,由于 X 医院手术麻醉系统建设的历史遗留问题,对于部分时间点及患者相关信息收集不全面,后续将进一步升级完善信息系统,补全相关信息;另一方面,在记录时间点时,部分麻醉医师未能做到客观真实地记录手术时间并反馈问题,导致预测结果与实际情况略有出入,数据精确度有待进一步提高,后续拟使用扫码等信息化手段进行校

准。(2)方案扩展性不足。由于各医院对于手术间分配的需求及规则存在差异,本研究基于 X 医院所提出的手术间分配优化方案可能存在一定的局限性。但本研究的优化思路及操作方法仍然具有一定的借鉴意义与可复用性,可参考本研究的优化思路进行个性化方案设计。(3)研究因素较为单一。手术间实际应用场景较为复杂,本研究仅针对手术时长需求进行手术间分配决策研究。除此之外,手术间分配还可能与手术医师偏好、麻醉医师排班、手术疑难程度、专用设备配置、术后复苏室床位及病房床位等诸多因素有关。后续拟针对这些因素开展进一步优化研究,助力手术间精细化管理水平不断提升。同时,深度挖掘医疗大数据,探索人工智能在手术间管理乃至医院管理中的作用,以期进一步提高医院智慧化管理水平。

作者贡献:李靖负责资料分析、论文撰写;秦君璞、汪嘉恒负责资料收集;黄嘉炜、农雨昊、华依林负责数据核对;姚麟负责论文修改、研究选题及思路指导。

利益冲突:所有作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

- [1] 国务院办公厅.关于推动公立医院高质量发展的意见;国办发〔2021〕18号[EB/OL].(2021-06-04)[2025-12-09].https://www.gov.cn/zhengce/zhen gceku/2021-06/04/content_5615473.htm.
- [2] 国家医疗保障局.关于印发 DRG/DIP 支付方式改革三年行动计划的通知;医保发〔2021〕48号[EB/OL].(2021-11-26)[2025-12-09].https://www.nhsa.gov.cn/art/2021/11/26/art_104_7413.html.
- [3] 国家数据局,中央网信办,科技部,等.关于印发《“数据要素×”三年行动计划(2024—2026年)》的通知;国数政策〔2023〕11号[EB/OL].(2023-12-31)[2025-12-09].<https://www.cac.gov.cn/2024-01/05/c>

_1706119078060945.htm.

[4] SCHIELE J,KOPERNA T,BRUNNER JO. Predicting intensive care unit bed occupancy for integrated operating room scheduling via neural networks[J]. Nav Res Log (NRL), 2021,68(1):65.

[5] 曾华堂,柯夏童,伍丽群,等.人工智能在医疗质量管理中应用现状和效果范围综述[J].中国医院管理,2023,43(8):21-26.

[6] 刘 健,张翼飞,李宝娟,等.基于 XGBoost 的精神科门诊量预测模型[J].华国防医学杂志,2019,33(4):272-275,291.

[7] 李 琳,王 哲,张学良,等.基于 LSTM 深度神经网络的月门诊量预测精度研究[J].中国数字医学,2019,14(1):14-17.

[8] 朱顺志,王大寒,何亚男,等.基于时间序列模型的医院门诊量分析与预测[J].中国科学技术大学学报,2015,45(10):795-803.

[9] KUO PC, SCHROEDER RA, MAHAFFEY S, et al. Optimization of operating room allocation using linear programming techniques[J]. J Am Coll Surg, 2003, 197(6):889-895.

[10] VANSTEENKISTE N,LAMOTE C,VANDERSMISSEN J, et al. Reallocation of operating room capacity using the due-time model[J]. Med Care, 2012, 50(9):779-784.

[11] 曾雁冰,程瑞谦,张国平,等.基于 DEA 方法的三级公立医院运行效率分析[J].中国卫生统计,2019,36(6):847-850.

[12] 刘海港,吉 鹏,王 丽,等.多重线性回归在手术室正台分配中的应用[J].现代医院管理,2014,12(2):62-63.

[13] 杨鑫森. A 医院日间手术排程与资源配置优化方案研究与设计[D].天津:河北工业大学,2021.

[14] 李珊虹,林家荣,孙允宗,等.某医院特定术种手术时长的影响因素分析[J].中国医院管理,2023,43(10):59-63.

通信作者:

姚 麟:中山大学附属第六医院副院长
E-mail: yaolin@mail.sysu.edu.cn

收稿日期:2025-04-25

修回日期:2025-12-11

本文编辑:任红霞、刘斯好