

冠状动脉 CT 血管成像人工智能辅助诊断技术的成本分析^{*}

史黎炜¹ 邱英鹏¹ 顾柏洋² 罗 南³ 杨正汉³ 游 茂¹ 刘克军¹ 付 强¹ 肖 月¹

(¹ 国家卫生健康委卫生发展研究中心 北京 100044 ² 哈尔滨医科大学卫生管理学院 哈尔滨 150081

³ 首都医科大学附属北京友谊医院 北京 100050)

〔摘要〕 目的/意义 测算冠状动脉 CT 血管成像人工智能辅助诊断技术 (artificial intelligence aided diagnosis technology for coronary computed tomography angiography, AI - CCTA) 临床使用成本, 开展样本机构技术应用运行分析。方法/过程 采用作业成本法对样本医院 AI - CCTA 成本进行测算分析, 采用本量利分析法对技术应用进行运行分析。结果/结论 AI - CCTA 利用 AI 技术可节省宝贵的诊断医师人力资源, 提高工作效率, 降低次均检查成本, 具有一定临床应用优势, 随着 AI 应用范围的扩大, 可改善医疗机构经济运行情况。

〔关键词〕 人工智能辅助诊断; 冠状动脉 CT 血管成像; 成本测算; 本量利分析

〔中图分类号〕 R - 058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10. 3969/j. issn. 1673 - 6036. 2023. 10. 004

The Cost Estimation of Artificial Intelligence Aided Diagnosis Technology for Coronary Computed Tomography Angiography

SHI Liwei¹, QIU Yingpeng¹, GU Baiyang², LUO Nan³, YANG Zhenghan³, YOU Mao¹, LIU Kejun¹, FU Qiang¹, XIAO Yue¹

¹ China National Health Development Research Center, Beijing 100044, China; ² School of Health Management, Harbin Medical University, Harbin 150081, China; ³ Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

〔Abstract〕 **Purpose/Significance** To measure the clinical cost of artificial intelligence aided diagnosis technology for coronary computed tomography angiography (AI - CCTA), and to carry out technical application and operation analysis in sample institutions. **Method/Process** Activity - based costing is used to estimate and analyze the cost of coronary computed tomography angiography (CCTA) and AI - CCTA, and the operations of the technology is analyzed by cost - volume - profit analysis. **Result/Conclusion** AI - CCTA can save valuable human resources of diagnostic doctors, improve work efficiency and reduce the cost, and it has certain advantages in clinical application. With the expansion of AI application, the economic operation of medical institutions can be improved.

〔Keywords〕 artificial intelligence (AI) aided diagnosis; coronary computed tomography angiography (CCTA); cost estimation; cost - volume - profit analysis

〔修回日期〕 2023 - 10 - 09

〔作者简介〕 史黎炜, 副研究员; 通信作者: 肖月。

〔基金项目〕 科技创新 2030——“新一代人工智能”重大项目 (项目编号: 2020AAA0105002)。

1 引言

冠心病等心血管疾病是我国人口主要致死病因^[1]，严重威胁公众健康。随着冠脉支架等心血管耗材纳入集采，公立医院比以往更加需要精准诊断技术鉴别冠状动脉疾病风险，以优化医疗资源配置利用^[2-4]。冠状动脉 CT 血管成像（coronary computed tomography angiography, CCTA）检查是临床筛查冠状动脉疾病安全、可靠的首选技术^[5]，近年来随着人工智能在辅助诊断领域应用范围的扩大，人工智能辅助冠状动脉 CT 血管成像技术（artificial intelligence aided diagnosis technology for coronary computed tomography angiography, AI - CCTA）在多地区不同层级医疗机构获得应用，该技术利用计算机视觉和深度学习技术，较大程度克服了人眼判读耗时长及图像处理判读依赖人工经验的问题，可实现病灶检出、狭窄程度判断、斑块定性定量分析、结构化智能报告等全流程智能辅助诊断功能^[6-8]。样本医院开展的多中心研究发现，AI - CCTA 对冠状动脉

管腔狭窄敏感度相当于三甲医院心血管亚专业诊断医师，同时显著提高图像后处理效率，因此可支持医疗机构实现提质增效的目标，符合高质量发展要求。

本研究拟验证国家卫生健康委卫生发展研究中心开发的 AI 医疗技术临床应用评价指南，选择 AI - CCTA 作为评价对象，从医疗机构角度，开展经济性评价，测算相关服务成本费用，结合公立医院高质量发展背景分析 AI 引入对公立医院运营的影响。

2 内容与方法

2.1 成本分析

利用目前国内外临床常用的作业成本法（activity based costing, ABC）开展成本分析^[9-11]。根据 CCTA 诊断应用操作流程及成本动因收集样本机构一手数据核算诊断成本。共分为 3 个步骤：一是根据 AI - CCTA/CCTA 检查流程确定作业链；二是归结资源，形成资源库；三是根据成本动因，将资源分配作业，见图 1。

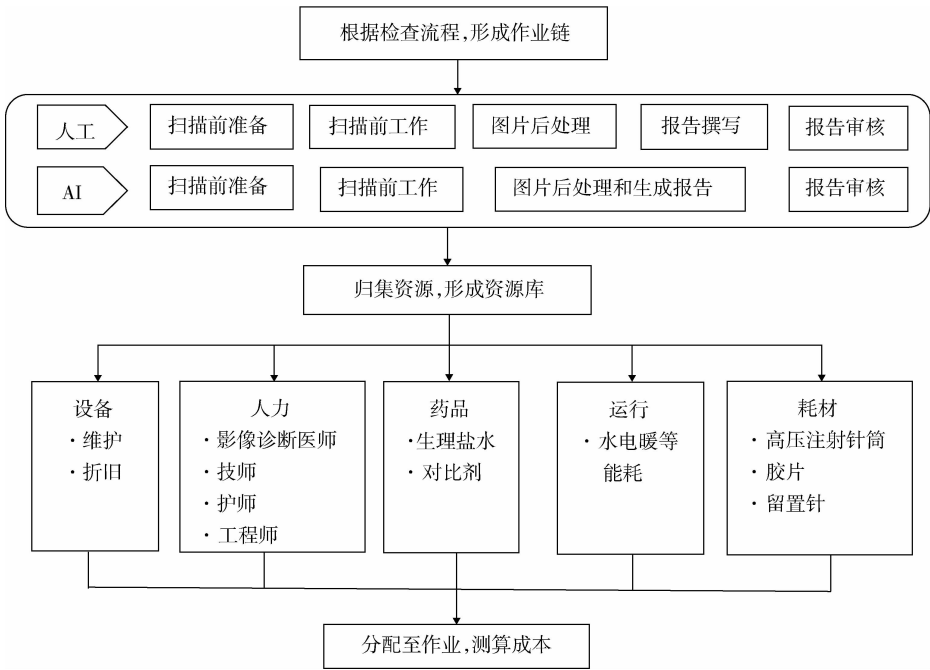


图 1 成本测算流程

单位成本即次均检查成本（ C_u ），由单位固定成本（ C_f ）和单位变动成本（ C_v ）构成， $C_u = C_f +$

C_v 。样本机构次均检查成本 $C_f = C_{\text{设备折旧}} + C_{\text{运行}} + C_{\text{维护}}$ ， $C_v = C_{\text{人力}} + C_{\text{耗材}} + C_{\text{药品}}$ ，见表 1。

表 1 成本测算公式

成本分类	成本项	计算公式
固定成本	C _{设备折旧}	(设备购置费 ÷ 折旧年限 + 配套设备购置费 ÷ 折旧年限) ÷ CCTA 或 AI - CCTA 年检查人次
	C _{维护成本}	(工程师年平均收入 × 人数 × 涉及 CCTA 或 AI - CCTA 设备工作量占比 + 技师年平均收入 × 人数 × 涉及 CCTA 或 AI - CCTA 设备工作量占比) ÷ 年检查人次
	C _{运行成本}	影像中心年运行能源费 × CCTA 或 AI - CCTA 检查量占比 ÷ 年检查人次
变动成本	C _{人力成本}	(医师年平均收入 ÷ 年设备开机时间) × 医师数 × 医师检查时长 + (技师年平均收入 ÷ 年设备开机时间) × 技师数 × 技师检查时长 + (护士年平均收入 ÷ 年设备开机时间) × 护士数 × 护士检查时长
	C _{药品成本}	检查所使用各药品数量 × 单价
	C _{耗材成本}	检查所使用一次性耗材数量 × 单价

2.2 公立医院运营分析

从公立医院角度，分析技术应用对医疗机构工作效率和经济运行的影响。利用本量利分析法^[12-13]，通过分析技术服务成本、工作量以及收支结余之间的关系，计算样本医院技术应用成本回收点。为样本医院创新技术引入、运营管理、长期发展等提供决策信息支持。

3 资料来源

样本机构是一家北京市三级甲等综合医院，是相关技术的联合研发机构，其技术应用经验超过 1 年，不存在技术磨合或适应等问题。根据 CCTA 检查作业流程和测算模型形成调查问卷，收集信息包括医院影像中心基本情况，2020—2021 年 CCTA 及 AI - CCTA 技术应用情况以及设备（软件及硬件）、人员、药品、耗材、检查和运行成本情况，见表 2、表 3。

表 2 样本医院影像中心基本情况

基本信息	统计量
影像中心医师（人）	55
影像中心技师（人）	78
影像中心护士（人）	21
CT 总台数（台）	12
CCTA 检查用 CT（台）	2
影像中心检查人次（人/年）	597 361
CCTA 检查人次（人/年）	6 310
AI - CCTA 检查人次（人/年）	10 374
维修人员工作量占比（%）	15
CCTA（AI - CCTA）工作量占比（%）	25

表 3 样本医院 AI - CCTA 和 CCTA 检查成本测算相关参数

类别	内容	具体项目	参数
设备 相关 项目	设备成本 (万元)	CT	2 300
		AI 辅助系统	150
		除颤仪	10 ~ 12
		计算机	31.5
		读片台	1.8
	维护成本 (万元/年)	胶片打印机	9.5
		AI 辅助系统	3.6
		年开机时长	
		设备 1 (小时/年)	2 900
		设备 2	2 610
药品、 耗材 相关 项目	药品、耗材 单价（元）	对比剂	99.4
		生理盐水	3.4
		高压注射器	185
		留置针	8
		胶片	51
	使用数 量（次）	对比剂	2
		生理盐水	1
		高压注射器	1
		留置针	1
		胶片	3
人力 相关 项目	人力成本 (万元/年)	初/中/高级医师	10/18/24
		初/中/高级技师	20/23/25
		初/中级护士	10/12
		高级工程师	25
		工作时长 (小时/例)	
		初/中级护士	0.08
		初/中/高级技师	0.03
		中/高级技师	0.07
		初级医师	0.3
		中/高级技师 (AI - CCTA/CCTA)	0.02/0.25
		中/高级医师 (AI - CCTA/CCTA)	0.05/0.08

4 结果

4.1 次均检查成本

应用 AI 次均检查可节省约 88 元（降低 11.1%）。样本机构 AI - CCTA 次均检查成本为 705.41 元（696.68 ~ 714.32 元），CCTA 检查次均成本为 793.29 元（777.99 ~ 808.90 元）。AI 应用前后次均检查成本的差异主要受患者情况及医技人员资源投放影响，AI 替代图像后处理及报告审核阶段人工操作，降低了人力资源投入。

4.2 成本构成

AI 应用对成本构成产生影响，其中人力成本降幅最大（57%），与此同时，药品耗材成本被动提高了 8.6 个百分点，这与当前公立医院严格控制药占比、耗占比的改革方向产生矛盾。AI - CCTA 和 CCTA 次均检查成本中变动成本（药品、耗材、人力）占比较大（超过 69%）；CCTA 检查一般需要购置 256 排、320 排高端 CT，设备成本较大，AI 应用后通过提高检查效率，带动高端 CT 的有效开机效率提升，

固定成本降低 30%，见表 4。

表 4 样本医院 AI - CCTA 和 CCTA 次均检查成本构成情况

类别	成本项	AI - CCTA		CCTA	
		成本（元）	占比（%）	成本（元）	占比（%）
固定成本	设备折旧	129.24	18.32	182.91	23.06
	设备维护	4.34	0.62	7.14	0.90
	运行成本	0.69	0.10	0.70	0.09
变动成本	药品费用	202.20	28.66	202.20	25.49
	耗材费用	346.00	49.05	346.00	43.62
	人力成本	22.94	3.25	54.34	6.85
合计		705.41	100	793.29	100

4.3 机构运行

4.3.1 诊断效率 AI - CCTA 技术应用次均可节省 30 分钟，即 0.5 人时。按照样本医院现有 AI - CCTA 检查量计算，AI - CCTA 检查可帮助医院释放 1 名中/高级技师，并为 1 名中/高级医师每年节省 43 天。样本机构使用 AI - CCTA 技术可直接生成图像及报告，显著缩短图像处理和报告撰写时长，减少报告审核时长。

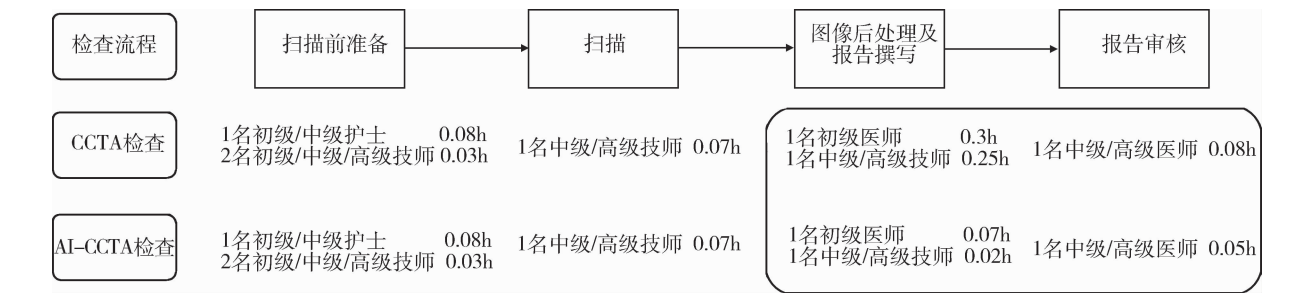


图 2 CCTA 及 AI - CCTA 检查流程及各环节医护技操作时长

注：操作时长以小时（h）计。

4.3.2 机构经济运行 AI 应用有助于样本医院提高诊断效率和高端 CT 使用效率，在现有条件下可增强检查服务能力，年检查量可增加 1.6 倍，至 16 169 例。现行收费标准下，AI - CCTA 年检查达 15 380 例时，可实现收支均衡。按照现行每例

CCTA 检查 792.48 元的打包收费政策，据测算次均检查的实际成本高于收费标准，检查科室和机构的经济运行处于低效率状态。AI 应用将降低次均成本（比收费标准低 87.07 元），可改善医疗机构的经济运行状态，见表 5。

表 5 样本医院成本回收情况

检查项目	次均成本（元）	收费标准（元）	收支差（元）	年均固定成本投入（万元）	实际工作量（例/年）	成本回收点（例/年）
AI - CCTA	705. 41	792. 48	87. 07	133. 92	10 374	15 380
CCTA	793. 29	792. 48	-0. 81	115. 63	6 310	-

5 讨论和建议

通过文献研究发现，AI - CCTA 与医师诊断有较好的一致性，检测结果较为可靠，整体诊断水平与影像科医生能力相当，灵敏度、特异度均一致性良好^[14-16]。本研究采用作业成本法对样本医院引入 AI 前后 CCTA 检查成本分析发现，AI - CCTA 检查次均成本较 CCTA 低约 88 元（降低 11. 1%），固定成本低 30%。AI 引入后显著降低检查人力成本，同时因工作效率提高，降低了设备折旧、维护、运营等固定成本。因人力成本等降低，检查所需药品、耗材成本前后虽无变化，但次均检查药耗占比被动提高 8. 6 个百分点。提高工作效率和设备开机效率。

同时，通过对样本医院引入 AI 后 CCTA 检查的本量利分析发现，样本医院在现有的医疗资源和收费政策下，当每年工作量达到 15 380 例时可实现收支平衡，最高工作量可达到原工作量的 1. 6 倍。AI 医疗技术在样本医院主要发挥了替代人工的作用，增加机构诊察服务能力，可提高公立医院发展总体水平。最后，本研究结合公立医院高质量发展背景对 AI 医疗技术的应用提出如下建议。

5. 1 明确 AI 医疗技术在不同级别医疗机构的应用价值

本研究样本医院是北京市三甲公立医院，其影像中心人员技术水平高、设备设施相对充足，AI 主要应用于图像后处理、报告初写、报告审核阶段替代人工，提高影像科医生和技术人员诊断效率。AI 在基层和二级医疗机构应用的潜在价值仍需要深入分析，特别是随着“十三五”期间大量影像学诊断设备配置在二级及以下医疗机构^[17-18]，在专业人员数量及能力水平有限环境下 AI 或可发挥更大作

用，以应对当前基层卫生人力短缺、诊疗服务同质化水平差的核心问题。

5. 2 进一步分析 AI 医疗技术应用对体系层面的经济影响

在分级诊疗改革背景下，需要进一步分析 AI 技术应用于医联体、区域诊疗体系的经济影响，特别是对提升基层医疗机构医疗服务能力水平^[19]，及对体系总体高端医疗设备配置和人力资源培养的影响^[20]。为更好地支持 AI 医疗技术扩大应用，仍需从卫生服务体系角度测算资源投入、产出情况及相关经济影响，包括对促进优质医疗资源扩容和区域均衡布局等的影响。

5. 3 进一步分析 AI 医疗技术应用对医疗设备配置规划、人才培养的影响

党的二十大报告提出“促进优质医疗资源扩容和区域均衡布局”“提高基层防病治病和健康管理能力”，但优质医疗资源总体供给不足、布局不均，制约了基层医疗机构发展。通过 AI 技术实现图像的处理和生成结构化报告，替代了中/高年资人力资源，提升了设备、人力效率，一定程度上解决了基层优质人才短缺的问题。同时，基层医用设备使用率提升，一定程度缓解了大医院设备、人力超负荷运转的问题。随着 AI 医疗技术的扩大使用，设备配置更应站在区域层面规划，助力经济社会的高质量发展，同时人才培养还应涵盖应用 AI 医疗技术的复合型人才，助力深层次跨学科人才队伍建设^[20]。

6 结语

本研究分析了 AI - CCTA 的应用情况。AI 医疗技术应用可节省诊断医师人力资源，提高工作效率，

降低次均检查成本,具有一定临床应用优势,为公立医院高质量发展背景下引入 AI 技术提供了支持。今后需进一步研究分析 AI 医疗技术应用在不同级别医院的应用价值以及其在体系层面对经济的影响和对医疗设备配置规划、人才培养的影响。未来随着 AI 的进一步发展和应用,可一定程度改善医疗机构的经济运行状况。

参考文献

- 1 国家心血管病中心.《中国心血管健康与疾病报告》2021(冠心病部分内容)[J]. 心肺血管病杂志, 2022, 41(12): 1205-1211.
- 2 曹凯. 耗材集采趋向精细化 [J]. 中国医院院长, 2023, 19(Z1): 38-39.
- 3 宋尚玲, 邱英鹏, 陈子扬, 等. 集中带量采购前后我国公立医院冠脉介入类高值医用耗材配备及使用情况分析 [J]. 医学与社会, 2023, 36(4): 80-84.
- 4 蒋范黎, 肖月, 赵羽西, 等. 集采背景下经皮冠脉支架植入术成本测算及建议 [J]. 卫生经济研究, 2022, 39(5): 4-6, 11.
- 5 王怡宁, 吕滨, 曹剑. 冠状动脉 CT 血管成像扫描与报告书写专家共识 [J]. 协和医学杂志, 2019, 10(1): 23-30.
- 6 施建仙, 蒋志新, 叶力, 等. 人工智能在冠心病诊断及危险度分层中的应用进展 [J]. 医学研究生学报, 2019, 32(9): 83-87.
- 7 李浚利. 人工智能评估 CCTA 冠状动脉狭窄准确性的临床研究 [D]. 昆明: 昆明医科大学, 2020.
- 8 张晓浩, 刘军波, 范丽娟. 人工智能技术应用于冠状动脉 CTA 图像后处理的可行性 [J]. 放射学实践, 2021, 36(8): 994-999.

- 9 国家卫生健康委员会, 国家中医药管理局. 关于印发公立医院成本核算规范的通知: 国卫财务发〔2021〕4号 [EB/OL]. [2022-05-01]. <http://www.nhc.gov.cn/caiwusi/s7785t/202102/e3fa2383ac944459b304e497359b071.shtml>.
- 10 肖月, 邱英鹏, 史黎炜, 等. 医用设备评估方法学研究 [J]. 中国医学装备, 2019, 16(11): 163-172.
- 11 周海龙, 江芹, 于丽华, 等. 医院成本核算方法和体系构建探讨 [J]. 中国卫生经济, 2021, 40(5): 72-73.
- 12 孙建. 本量利分析法在公立医院全成本核算中的应用 [J]. 经济研究导刊, 2019, 422(36): 96-97, 159.
- 13 茅士央. 试论本量利分析在医院设备采购决策中的应用 [J]. 中国设备工程, 2022, 498(10): 243-245.
- 14 胡小丽, 向守洪, 胡荣慧, 等. 人工智能在冠状动脉 CT 血管成像后处理和诊断报告的初步评估 [J]. 国际放射医学核医学杂志, 2020, 44(1): 5-10.
- 15 彭意春, 张梅舜, 张思静. 冠状动脉 CT 血管造影人工智能辅助诊断的应用研究 [J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(10): 92-94.
- 16 张晓浩, 刘军波, 范丽娟. 人工智能技术应用于冠状动脉 CTA 图像后处理的可行性 [J]. 放射学实践, 2021, 36(8): 994-999.
- 17 蒋帅. “十三五”期间我国县级医院大型医用设备配置与管理策略研究 [J]. 医学与社会, 2022, 35(8): 44-48.
- 18 赵要军. “十四五”时期我国大型医用设备配置规划需求调查及政策建议 [J]. 医学与社会, 2022, 35(8): 49-52, 57.
- 19 林思瑶. 基层智能辅助诊断系统应用与发展研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2020.
- 20 祁瑞娟, 吕伟通. 人工智能辅助诊断技术在医疗领域的作用与挑战 [J]. 中国医疗器械信息, 2018, 24(16): 27-28.

《医学信息学杂志》开通微信公众号

《医学信息学杂志》微信公众号现已开通,作者可通过该平台查阅稿件状态;读者可阅读当期最新内容、过刊等;同时提供国内外最新医学信息研究动态、发展前沿等,搭建编者、作者、读者之间沟通、交流的平台。可在微信添加中找到公众号,输入“医学信息学杂志”进行确认,也可扫描右侧二维码添加,敬请关注!



《医学信息学杂志》编辑部