

论 著

基于人工智能触发技术
优化腹部增强图像质量
的可行性研究*

张怡存 余娟 原典
吕培杰 刘杰*

郑州大学第一附属医院放射科
(河南 郑州450000)

【摘要】目的 评估人工智能触发技术优化腹部增强CT图像质量的可行性。方法 前瞻性纳入行腹部增强CT扫描100名患者，随机分为两组(A组、B组，每组n=50)A组采用传统固定延迟时间团注追踪技术，B组采用人工智能触发技术。其余扫描方案均一致。比较两组患者的定量参数(CT值、SD值、SNR、CNR)及定性参数(总体图像质量和诊断可信度)。结果 在动脉期，B组图像CT值均较高(P均<0.05)，噪声无明显差异(P均>0.05)。B组的SNR值与CNR值也较高，仅在主动脉(pSNR=0.546；pCNR=0.114)及胰腺处(pSNR=0.052)无统计学差异。静脉期中，B组图像CT值均较高，但仅在门静脉处有差异(P=0.025)。SD值、SNR及CNR两组均无统计学差异(P均>0.05)。两组图像的总主观评分(P=1.000)及诊断信心(P=0.917)也无统计学差异。结论 与常规团注追踪技术相比，人工智能触发技术可以在满足影像诊断的前提下，明显改善腹部增强CT的客观图像质量。

【关键词】腹部；团注追踪技术；增强CT；对比剂
【中图分类号】R445
【文献标识码】A
【基金项目】河南省卫生健康委员会科技攻关项目(No.212102310142)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.10.045

Feasibility Study of Optimizing Abdominal
Contrast-enhanced Image Quality Based
on Artificial Intelligence Triggering
Technology*

ZHANG Yi-cun, YU Juan, YUAN Dian, LV Pei-jie, LIU Jie*.
Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou
450000, Henan Province, China

ABSTRACT
Objective To assess the feasibility of artificial intelligence triggered techniques to Optimise Abdominal Enhanced CT Image Quality. **Methods** A prospective study included 100 patients undergoing contrast-enhanced abdominal CT scans, who were randomly divided into two groups (Group A, Group B, each with n=50). Group A used traditional fixed-delay time bolus tracking technique, while Group B used artificial intelligence triggering technique. The remaining scanning protocols were consistent. Quantitative parameters (CT value, SD value, SNR, CNR) and qualitative parameters (overall image quality and diagnostic confidence) of the two groups of patients were compared. **Results** In the arterial phase, the CT values of images in Group B were higher (P<0.05), with no significant difference in noise (P>0.05). The SNR and CNR values in Group B were also higher, with only the aorta (pSNR=0.546; pCNR=0.114) and pancreas (pCNR=0.052) showing no statistical difference. In the venous phase, the CT values of images in Group B were higher, but only the portal vein showed a difference (P=0.025). There was no statistical difference in SD value, SNR, and CNR between the two groups (P>0.05). There was also no statistical difference in the overall subjective image quality score (P=1.000) and diagnostic confidence (P=0.917) between the two groups. **Conclusion** Compared to conventional fixed-delay time bolus tracking technique, artificial intelligence triggering technique can significantly improve the objective image quality of contrast-enhanced abdominal CT scans while ensuring sufficient image quality for diagnosis.
Keywords: Abdomen; Bolus Tracking Technique; Contrast-Enhanced CT; Contrast Agent

腹部增强CT扫描是最常用的腹部成像方法之一^[1-3]，常用于检查胃癌、肝癌等腹部疾病^[4-6]。腹部增强CT通常包括动脉期、静脉期以及延迟期。医生通过使用对比剂增强可以进一步观察和评估各个期相的不同器官的病变情况^[7]，这对图像质量和诊断信心至关重要。影响对比剂分布是否均匀及感兴趣区的X线衰减情况的因素有很多，主要可以分为可控因素和不可控因素。可控因素包括所用对比剂的类型、注射技术和采集参数^[8-11]。不可控检查因素包括与患者有关的因素，如心脏功能、肾功能和水分状态^[12]。其中，心输出量和水分状态对图像质量影响最大。

目前，腹部CT增强大部分均采用对比剂团注追踪法^[13]，但这种扫描方法仍存在局限性^[14-15]，团注追踪法虽然关注患者心输出量的影响，但是无法改变CT达到阈值后的触发时间，而且固定的延迟时间可能会因操作者和机器的不同而产生差异。特别是对于心输出量较低的患者，由于不同的时间密度曲线，图像采集可能过早开始，并在动脉增强峰值前停止，不利于病变的检测和诊断。因此，它在临床中的常规应用受到了限制。

人工智能触发扫描团注追踪软件可以根据患者的个体特征优化个性化扫描时间。该软件采用基于卷积的算法，将对比剂注射信息与监测扫描结果结合起来，为图像采集提供了最佳扫描时机，使得个体化情况延迟扫描时间成为可能。在本研究中，尝试使用同一机器的不同团注追踪技术，通过比较图像质量与不同团注追踪技术的差异，以评估人工智能触发技术在腹部增强CT中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究前瞻性收集了2023 年5月份至2023年8月份期间70例因各种临床指征需行腹部增强CT成像的患者。将患者随机分为常规团注追踪组(A)、人工智能触发延迟组(B)。A组中男性24人，女性26人，年龄19-85岁，中位年龄57.5岁，平均年龄(57.56±15.86)岁；B组中男性24人，女性26人，年龄范围20-79岁，中位年龄59.5岁，平均年龄(56.04±14.60)岁。所有患者均同意参加本研究，并签署知情同意书。排除标准包括：年龄小于18岁、对碘对比剂过敏或相关过敏史、严重肝肾功能障碍、拒绝参与研究。

1.2 扫描方案 所有CT扫描均在第三代双源CT上进行。所有患者均接受腹部平扫及双期增强扫描。100例患者被随机分为两组(A组、B组)，每组50人。其中A组患者使用常规团注追踪法进行扫描。B组患者使用人工智能触发技术进行扫描。其余所有参数均保持一致。监测层放置于肝脏上缘的腹主动脉，触发阈值设置为100HU。达到阈值后A组使用11s的固定延迟时间，B组使用人工智能触发后延迟技术通过触发软件确定延迟时间。

【第一作者】张怡存，女，技士，主要研究方向：CT。E-mail: Sweet222Zhang@163.com
【通讯作者】刘杰，男，主任医师，主要研究方向：CT。E-mail: liujieict@163.com

扫描参数如下：管电压 120 kV，管电流根据患者BMI自动调整；准直器宽度 96×2×0.6mm；球管旋转时间 0.5 s；螺距 0.6；卷积核Br36d。所有患者均采用320mgI/mL的非离子对比剂。对比剂量为患者体重的1.2倍，注射时间为30s，随后以相同速度追加30ml生理盐水。

1.3 客观图像质量分析 所有图像均传输至西门子工作站进行后处理分析。一位在腹部CT方面有5年经验的放射科医生在工作站上盲法测量了肝脏、胰腺、椎旁肌(双侧肾门水平)、主动脉(双侧肾门水平)和门静脉(肝门水平)在动脉期和静脉期的CT值、噪声(SD)、信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)。在测量感兴趣区(ROI)时，尽量避开大血管和有严重硬化伪影的区域，并在不同层面尽可能保持相同大小的ROI。所有数据均在三个连续的相邻水平上测量并取平均值。信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)按以下公式计算：

$$SNR = CT_{ROI} / SD_{ROI}$$

$$CNR = (CT_{ROI} - CT_{椎旁肌肉}) / SD_{皮下脂肪}$$

CT_{ROI}、SD_{ROI}、CT_{椎旁肌肉}和SD_{皮下脂肪}分别代表ROI的平均CT值、ROI的平均噪声、椎旁肌的平均CT值和图像的平均噪声。

1.4 定性分析 CT方案和患者信息均进行了盲法处理。两名放射科医生(分别有9年和6年腹部CT图像阅片经验)以随机顺序独立审阅了两组数据。这两名评估人员在同一台工作站上进行定性图像分析，并可根据需要更改窗宽窗位设置。采用李克特量表5分法对整体图像质量和诊断信心进行评估。具体标准如下：5分(质量极佳，诊断信心高)、4分(质量良好，信心不变)、3分(质量尚可，但受到影

响，信心下降，但仍可诊断)、2分(质量较差，诊断有疑问)、1分(严重失真，无法诊断)。3分及以上符合临床诊断的需要。

1.5 统计分析 所有统计分析均使用SPSS 26.0进行。P≤0.05表示统计学意义显著。连续变量以均数±标准差表示。不符合正态分布的变量用四分位数区间的中位数表示。采用独立样本t检验比较两组之间的CT值、SD值、CNR、SNR以及延迟时间。每位研究参与者的总体图像质量得分根据读者的平均得分计算。Chisquire分析用于确定不同组间主观图像质量评分的差异。

2 结 果

2.1 基线信息 本研究最终将100位患者纳入实验。两组患者的年龄、性别、体重、身高和体重指数均无明显差异(P均>0.05)。两组患者的延迟时间具有明显统计学差异(组A：11s vs组B：18.7s；P<0.01)。

2.2 客观质量评估 动脉期中，与A组相比，B组在肝脏、胰腺、主动脉和门静脉的CT值均较高且具有统计学意义(P均<0.05)，噪声值均无明显差异(P均>0.05)。在SNR的比较中，B组的SNR均高于A组，其中在肝脏及门静脉中有统计学差异(P均<0.01)。在CNR的比较中，B组CNR值均高于A组，且除主动脉其余均有统计学意义。静脉期中，A组的CT值略高于B组，仅在门静脉中有统计学意义(P=0.025)，而在噪声值、SNR及CNR中均无明显统计学差异(P均>0.05)。具体情况见表1。

表1 两组客观评分比较

参数	动脉期		t	P	静脉期		t	P
	A	B			A	B		
CT值								
肝	74.86±8.32	86.24±9.28	6.458	<0.01	112.92±12.36	110.91±10.63	-0.874	0.384
胰腺	104.00±12.05	117.62±18.65	4.337	<0.01	92.92±14.15	91.08±11.80	-0.705	0.482
主动脉	272.79±45.51	308.35±53.52	3.579	<0.01	153.32±17.80	145.97±19.32	-1.979	0.051
门静脉	122.72±25.69	157.77±26.98	6.654	<0.01	163.16±24.06	152.68±21.83	-2.281	0.025
SD值								
肝	17.06±2.41	16.53±2.86	-0.998	0.321	17.99±2.61	18.05±3.32	0.099	0.921
胰腺	19.03±3.53	19.85±3.95	1.098	0.275	19.07±3.35	19.52±3.27	0.669	0.505
主动脉	21.25±21.58	20.13±3.76	-0.362	0.718	18.62±3.36	18.12±3.60	-0.720	0.473
门静脉	21.84±4.87	23.50±6.16	1.494	0.138	19.45±3.75	18.89±3.63	-0.760	0.449
SNR								
肝	4.48±0.80	5.38±1.11	4.657	<0.01	6.38±1.02	6.36±1.44	-0.089	0.929
胰腺	5.62±1.10	6.15±1.56	1.968	0.052	5.04±1.26	4.82±1.15	-0.896	0.372
主动脉	15.21±4.52	15.70±3.53	0.606	0.546	8.54±2.00	8.41±2.20	-0.301	0.764
门静脉	5.91±1.89	7.08±1.84	3.141	<0.01	8.67±2.06	8.50±2.99	-0.336	0.738
CNR								
肝	1.08±0.82	1.92±0.98	4.599	<0.01	3.52±1.02	3.35±1.11	-0.772	0.442
胰腺	3.20±1.32	4.11±1.91	2.767	<0.01	2.20±1.05	2.11±0.97	-0.455	0.650
主动脉	15.40±5.55	17.40±6.98	1.593	0.114	6.17±1.54	5.59±1.97	-1.642	0.104
门静脉	4.56±2.26	6.93±3.04	4.442	<0.01	6.84±2.00	6.05±2.36	-1.802	0.075

2.3 主观图像质量 主观图像分析结果见表2。无论是在动脉期还是在静脉期，图像质量评分均等于或大于3分，这表明整体图像质量能够满足诊断要求。两组图像在动静脉期的主观评分均无统计学差异(P=0.406；P=0.333)。同时，两组图像在总体图像质量和总体诊断信心方面也没有统计学差异(P=1.000；P=0.917)。

表2 两组主观评分比较

	A组	B组	χ ²	P
动脉期	4.47±0.54	4.38±0.54	0.835	0.406
静脉期	4.58±0.48	4.67±0.45	-0.972	0.333
总体图像质量	4.53±0.40	4.53±0.31	0.000	1.000
总体诊断信心	4.57±0.47	4.56±0.48	0.105	0.917

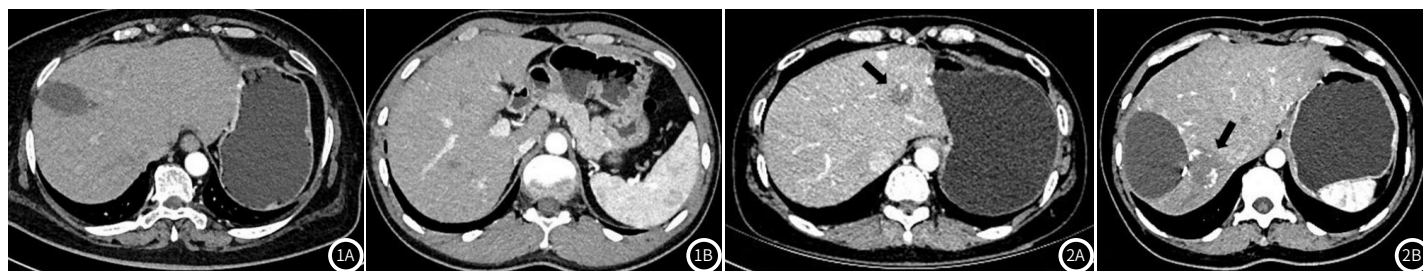


图1A-图1B 两组患者动脉期比较。所有图像均采用相同的标准腹窗设置(水平, 40 HU; 宽度, 220 HU)。图1A所示, 为A组使用常规团注追踪技术延迟固定时间所得图像。肝脏CT值为69.09HU, 噪声为17.32HU; 图1B所示, 为B组使用人工智能触发技术所得图像。肝脏CT值为84.69HU, 噪声为19.09HU。

图2A-图2B 两组患者肝血管瘤的比较, 两位患者未经治疗的肝血管瘤图像。扫描分别使用了两种不同的协议。其中, 图1A患者使用了固定的团注追踪触发后延迟扫描, 图2B患者使用人工智能触发技术扫描。所有图像均采用相同的标准腹窗设置(水平, 40 HU; 宽度, 220 HU)。图1A中图像显示部分高衰减边界, 血管瘤边界强化不清晰; 图2B清晰的显示了周围的结节状强化。

3 讨论

本研究尝试比较人工智能触发技术腹部增强CT与常规团注追踪技术的腹部增强CT的图像质量。研究结果发现, 使用B组方案可以更好的显示腹部的实质性器官和主要血管, 它们在个性化触发扫描团注追踪技术的辅助下可以获得更高的衰减。虽然两组之间主观评估图像质量没有明显差距, 但从客观数据分析中可以看出, 人工智能触发扫描团注追踪技术延迟后的图像SNR及CNR都有明显提升。

在腹部增强CT的多期扫描中, 扫描时机是决定图像感兴趣区与其周围结构或组织产生密度差别强弱的重要因素^[16]。而扫描时间的设定主要同组织器官的最大对比增强时机和对比剂的注射有关。赵明月等人的研究表明^[17], 由于心输出量、注射方案与其他相关因素之间的复杂关系, 最佳的延迟扫描时间较难确定。此次人工智能触发技术可以通过监测阶段测量的实时CT数据, 推导出该患者特定的动脉脉冲响应, 并与大量的动脉增强曲线数据库进行在线协调匹配, 以实现个性化的精确扫描。另外, 这项新技术由于无需人工干预, 从而消除了检查过程中人工造成的系统及随机误差。腹部增强扫描最理想的扫描时间是在增强的平台期进行, 这样可以最大程度的提高血管及器官与周围组织之间的图像对比度。而对于心功能较差的患者来说, 主动脉及腹部脏器的达峰时间均增加, 患者所需的延迟时间也相应增加。这种情况下仍使用常规的固定延迟时间的团注追踪技术会导致扫描过早, 从而影响图像质量。而人工智能触发技术可以更好地估计患者的达峰时间, 以弥补无法预测的患者特异性。

本研究显示, 人工智能触发团注追踪技术的延迟时间的平均值为18.7秒, 这明显高于A组的固定延迟时间11秒。在使用相同的对比剂注射方案下, B组的延迟时间明显较长, 但血管及器官的衰减值却较高。这表明, 在使用常规触发后固定延迟的扫描方案中, 对比剂增强的潜力没有充分被开发, 而人工智能触发技术已被应用于冠脉CT血管造影并取得了良好的效果^[18], 这同本次研究结果一致。低剂量对比剂研究目前已成为影像技术方面研究的热点, 由于人工智能触发技术可以在相同的对比剂注射方案下提升客观图像质量, 这为对比剂的减少的可能性提供了一种新的理论。

本研究同样存在许多不足之处。首先, 本次研究样本量较小, 可能存在结果偏差的风险。其次, 本研究并未对某个特定部位进行深入分析, 仅仅对整体腹部图像质量进行评估。具体腹部病变的增强效果是下一步研究的重点。

综上所述, 与常规团注追踪技术相比, 在满足影像诊断图像的同时, 人工智能触发技术可以明显改善腹部增强CT的客观图像质量, 有较好的临床推广价值。

参考文献

- [1] 胡艳丽, 周怡, 邓辉, 等. (2024) PET-CT及CT增强联合诊断肝脏黏液性囊肿伴全身多发转移一例[J]. 罕少疾病杂志, 31: 10-11.
- [2] 吕丹丹. (2022) CT增强延迟扫描技术在鉴别肝脏肿瘤类型中与病理检查结果符合率分析[J]. 罕少疾病杂志, 29: 52-53.
- [3] 沈艺, 李露露, 宋建, 等. 低剂量条件下深度学习图像重组算法与多模型迭代重组算法对腹部增强CT图像质量的影响[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(3): 566-570.
- [4] 吉文伟, 魏璐璐, 宋展. 血清CA199、sICAM-1、CRP水平及腹部增强CT对胰腺癌的早期筛查价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(3): 102-104.
- [5] 潘馨梦, 付蓝琦, 胡娟, 等. 双层探测器光谱CT有效原子序数及碘浓度定量评估胃癌分化程度[J]. 中国医学影像学杂志, 2023, 31(3): 248-252.
- [6] 金长海, 王芳, 李艳红, 等. 双能CT扫描联合血清HMG2和STAT3检测对早期原发性肝癌患者的诊断价值分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(10): 125-127.
- [7] 刘海洋, 任英红, 王博, 等. 等渗对比剂碘克沙醇在腹部增强CT中图像质量及安全性评价[J]. 影像研究与医学应用, 2022, 6(11): 71-73.
- [8] 汪志亮, 胡磊, 刘啸峰. 多层螺旋CT对比剂注射速率对肝硬化患者门静脉成像延迟时间的影响[J]. 实用肝脏病杂志, 2020, 23(4): 564-567.
- [9] 邢艳, 潘存雪, 古丽娜·阿扎提, 等. 冠状动脉CT成像中个体化对比剂注射方案提高不同浓度对比剂强化均一性的价值[J]. 中华放射学杂志, 2015, 49(11): 853-857.
- [10] 周伟, 石倩倩, 李鑫, 等. 高浓度低流速对比剂联合低管电压方案行腹部CT血管成像的可行性[J]. 中国临床解剖学杂志, 2024, 42(1): 99-103.
- [11] Bae K T. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches[J]. Radiology, 2010, 256(1): 32-61.
- [12] 王笑, 乔建兰, 龚建中, 等. 双源CT动脉期增强图像上肝静脉和下腔静脉返流的影响因素分析[J]. 放射学实践, 2021, 36(12): 1548-1552.
- [13] 刘乐, 赵惠丽, 陈伟. 肝脏CT增强自动触发技术与延迟时间经验值法对比[J]. 影像研究与医学应用, 2021, 5(11): 113-114.
- [14] 陈标. 团注追踪技术在CT上腹部增强扫描中的应用[J]. 影像研究与医学应用, 2018, 2(2): 106-107.
- [15] 李莲, 陈伟, 杨克怪. 固定扫描延时对肝脏CT门脉期增强的影响[J]. 医学影像学杂志, 2018, 28(11): 1864-1867, 1871.
- [16] 闵鹏秋, 葛英辉, 宋彬, 等. 肝细胞癌螺旋CT扫描时间窗优化[J]. 临床放射学杂志, 2000, 19(9): 566-569.
- [17] 赵明月, 刘义军, 张子敬, 等. 影响腹部CT血管成像团注追踪触发时间的相关因素[J]. 中国医学影像学杂志, 2023, 31(7): 771-775.
- [18] Yuan D, Wang Y, Lin S, et al. Patient-specific post-trigger delay in coronary CT angiography: A prospective study comparing with fixed delay[J]. Eur J Radiol, 2023, 163: 110813.

(收稿日期: 2024-05-06)

(校对编辑: 翁佳鸿)