

基于深度学习重建算法 HASTE 序列肝脏 MR 图像质量:与 BLADE 序列的对照研究

张楠, 刘锴, 傅彩霞, 陈财忠, 孙海涛, 曾蒙苏

【摘要】 目的:评估基于深度学习重建的半傅立叶采集单次激发快速自旋回波(HASTE_{DL})序列在肝脏检查中的应用价值。**方法:**使用 3.0T MR 对 36 例患者(男 28 例,女 8 例)行上腹部 MRI 扫描,扫描序列包括单次屏气 HASTE_{DL}和多次屏气刀锋伪影校正(BLADE)序列。由两位医师分别对肝脏成像质量(锐利度和伪影)进行五分制主观评分。分别在肝门水平肝脏的肝右叶和肝左叶、病灶显示最大层面及其相应层面同一相位方向的右侧背景区放置感兴趣区,测量两组图像上肝脏的信号强度(SI)及其标准差(SD,作为背景噪声),计算图像的信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)。测量病灶最大径($D_{\max}$),观察和记录图像错层率及病灶检出率。对两组图像上肝右叶和肝左叶内肝实质的 SNR、CNR,病灶的 SNR、CNR、D 值,以及图像错层率、图像质量评分结果分别使用 Wilcoxon 检验或卡方检验进行组间比较。**结果:**两位医师对两组图像(HASTE_{DL}和 BLADE 序列)的主观评分和客观测量数据的一致性均为良好(Kappa 和 ICC 值均大于 0.75)。两组之间图像锐利度主观评分的差异无统计学意义(4.62 ± 0.55 vs. 4.27 ± 0.65 , $P=0.289$),HASTE-DL 组图像伪影的主观评分显著高于 BLADE 组(4.78 ± 0.48 vs. 4.14 ± 0.98 , $P<0.001$)。HASTE_{DL}组肝左叶和肝右叶内肝组织的 SNR、病灶的 SNR 和 CNR 均显著高于 BLADE 组($P<0.001$)。两组之间病灶 $D_{\max}$ 的差异无统计学意义($P=0.978$)。BLADE 组的图像错层率明显高于 HASTE_{DL}组($P=0.014$)。两组中病灶检出率均为 100%。**结论:**基于深度学习重建的单次屏气 HASTE 序列能有效提高肝脏 T₂WI 图像质量而不会遗漏病灶,并可显著缩短扫描时间,优化肝脏扫描效率,有较好的临床应用前景。

【关键词】 半傅立叶采集;单次激发快速自旋回波序列;刀锋伪影校正技术;深度学习;肝脏;信号噪声比;对比噪声比;图像质量

【中图分类号】 R445.2;R735.7 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)12-1611-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.12.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Liver MR image quality based on deep learning reconstruction algorithm HASTE sequence:a comparative study with BLADE sequence ZHANG Nan, LIU Kai, FU Cai-xia, et al. Department of Radiology, Zhongshan Hospital of Fudan University, Shanghai Institute of Imaging Medicine, Shanghai 200032, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the clinical value of deep learning reconstruction combined with accelerated half-fourier acquisition single-shot turbo-spin-echo (HASTE_{DL}) sequence in liver imaging. **Methods:** 36 patients (28 males and 8 females) were scanned on the upper abdomen by single breath-holding HASTE_{DL} and multiple breath-holding BLADE sequences using a 3.0T MR scanner. The liver image quality (sharpness and artifacts) was scored on a 5-point scale by two observers, and the areas of interest were delimited in the anterior and posterior segments of the right lobe of the liver, the inner and outer segments of the left lobe of the liver, the focus and the right background area in the same phase direction of the corresponding plane of the liver at the level of the liver hilum. The signal intensity (SI) of the liver and erector spine muscle in the two groups of images were measured, standard deviation (SD) of the background noise, and signal to noise ratio (SNR) and contrast to noise ratio (CNR) were calculated, respectively. The maximum diameter ($D_{\max}$) of the lesion was measured.

作者单位:200032 上海,复旦大学附属中山医院放射科,上海市影像医学研究所(张楠、刘锴、陈财忠、孙海涛、曾蒙苏);
518000 广东深圳,西门子(深圳)磁共振有限公司(傅彩霞)
作者简介:张楠(1995-),女,山西太原,硕士,技师,主要从事磁共振技术。
通讯作者:刘锴, E-mail:liu.kai@zs-hospital.sh.cn

The staggered rate of the image was observed. Wilcoxon test and Kappa test were used to analyze the SNR, CNR, D, splitter rate and image quality scores of the two groups. **Results:** Both the objective measurement and the subjective score of the two groups of images were in good agreement between the two observers (Kappa and ICC values were greater than 0.75). There was no significant difference in subjective sharpness score between BLADE group and HASTE_{DL} group (4.62 ± 0.55 vs. 4.27 ± 0.65 , $P=0.289$). The subjective of HASTE_{DL} group was significantly higher than that of BLADE group (4.78 ± 0.48 vs. 4.14 ± 0.98 , $P<0.001$). The SNRs of the hepatic tissue in left lobe and right lobe, the SNR and CNR of the focal lesion in HASTE_{DL} group were significantly higher than those in BLADE group ($P<0.001$). There was no significant difference in the $D_{\max}$ of the lesion between the two groups ($P=0.978$). The ration of slice discontinuity with HASTE_{DL} was significantly lower than that with BLADE group ($P=0.014$). **Conclusion:** The single breath holding HASTE sequence based on deep learning reconstruction can effectively improve the quality of liver T₂WI images without missing lesions. It can significantly shorten the scanning time and optimize the efficiency of liver scanning, and has a good clinical application prospect.

【Key words】 Half-fourier acquisition; Single shot turbo spin echo; BLADE technique; Deep learning; Liver; Signal-to-noise ratio; Contrast noise ratio; Image quality

肝脏 T₂WI 对于显示肝脏解剖结构和病灶形态至关重要。常规 T₂WI 通常使用快速自旋回波序列在呼吸导航下进行,但易受到呼吸模式的影响从而导致扫描时间长、图像质量不稳定等问题^[1]。刀锋伪影矫正(BLADE)序列的应用可以降低呼吸运动的影响,但仍然需要使用呼吸触发或多次屏气来完成全肝扫描,因此无法保证每次激发时肝脏位置保持一致,从而使得图像扫描层面的连续性受到影响,最终会影响到对病灶的显示。另外,多次屏气方法不仅扫描时间长^[2],而且身体比较虚弱的患者很难配合完成。半傅立叶采集单次激发快速自旋回波(half-fourier acquisition single-shot turbo-spin-echo, HASTE)序列由于采集时间较短,对运动不敏感^[2]。但 HASTE 序列因为采用了非常长的回波链长度,同时采用半傅立叶采集,导致图像模糊且信噪比低^[3]。怎样能在最短时间内得到符合临床检查要求的图像是目前 MRI 检查中遇到的主要困难。基于深度学习的图像重建是继并行成像和压缩感知之后的又一革命性的 MR 成像加速方法,并已被证明在临床上可行的^[3-7]。本研究拟探讨基于深度学习重建方法的 HASTE(deep learning HASTE, HASTE_{DL})序列在肝脏检查中的应用价值。

材料与方法

1. 临床资料

2022 年 6 月—12 月前瞻性纳入有肝脏占位性病变的患者。纳入标准:①完成腹部增强 MRI 检查;②经病理检查确诊为肝细胞肝癌(hepatocellular carcinoma, HCC)或肝内胆管细胞癌(intrahepatic cholangiocarcinoma, ICC),或综合临床资料和典型影像学表

现而诊断为肝脏转移瘤、肝血管瘤或肝脏局灶性结节增生(focal nodular hyperplasia, FNH)。排除标准:①综合临床资料和典型影像学表现确诊为肝脏囊肿;②腹内有金属植入物。最终纳入 36 例患者,男 28 例,女 8 例,平均年龄(57.3 ± 12.8)岁;36 例共计 45 个病灶,经手术或穿刺活检取得病理学诊断,包括 HCC 22 个、ICC 4 个、肝脏转移瘤 6 个、肝血管瘤 9 个和 FNH 4 个;肿瘤最大直径(3.24 ± 2.12)cm。

本研究经本院伦理委员会审核通过(B2021-425R),所有志愿者签署了知情同意书。

2. MRI 检查方法

使用 Siemens Magnetom Prisma 3.0T 超导磁共振仪和 18 通道腹部线圈,对 36 例临床拟诊为肝脏实质性占位的患者行上腹部 MRI 扫描。嘱患者在检查前禁食、禁水 4 h。扫描方式为仰卧位、头先进。扫描序列包括 HASTE_{DL}、BLADE 及临床常规扫描序列(T₂WI, T₁WI, DWI, MRCP), HASTE_{DL} 和 BLADE 序列的主要扫描参数见表 1。

表 1 HASTE_{DL}和 BLADE 序列扫描参数

扫描参数	HASTE _{DL}	BLADE
呼吸方式	单次屏气	4 次屏气
扫描时间/s	16	90
TR/ms	587	3000
TE/ms	103	114
矩阵	320×320	320×320
视野/mm ²	380×380	380×380
层厚/mm	6.0	6.0
层间距/mm	0.6	0.6
脂肪抑制技术	SPAIR	SPAIR

注:SPAIR 为频率衰减反转恢复(spectral attenuated inversion recovery)序列。

HASTE_{DL}序列所用图像重建方法包括固定的迭

代重建方案或变分网络^[8-9],在数据保真和基于卷积神经网络(convolutional neural networks,CNN)正则化之间交替进行。其中,正则化模型基于迭代网络层级设计,即经过多次编码和解码过程来提升或降低特征图的分辨率,从而可获得比传统神经网络更高效的模型。目前该模型已被超过 1 万帧的 1.5T 和 3.0T 常规 HASTE 和 TSE 图像进行了训练。

3. 图像处理及分析

图像质量的主观评分:由两位观察者(分别具有 MR 诊断经验 3 和 6 年)采用双盲法在一定的条件下(窗宽 240 HU,窗位 226 HU)对图像质量进行主观评分,主要评估内容为肝脏病灶边缘的锐利度和图像伪影两方面,采用 5 分制,评分标准详见表 2。

表 2 图像质量评分标准

评分	锐利度	伪影
1 分	肝脏病灶边缘和细小结构显示不清,无法满足诊断要求	图像伪影非常重,无法满足诊断要求
2 分	肝脏病灶边缘较为清晰,细小结构显示不清,不能满足诊断要求	图像伪影明显,不能满足诊断要求
3 分	肝脏病灶边缘清晰,细小结构较清晰,图像尚可满足诊断要求	图像存在伪影,尚可满足诊断要求
4 分	肝脏病灶边缘锐利,细小结构显示较清晰,图像满足诊断要求	伪影较少,不影响诊断
5 分	肝脏病灶边缘锐利,细小结构显示清晰,图像满足诊断要求	图像清晰无伪影

此外,对层面的连续性进行评分,采用 2 分制(0 分:发生层面不连续;1 分:没有发生层面不连续),并计算图像错层率(发生层面不连续的患者数量与患者总数的比值)。

图像质量的客观评价:将图像传至西门子工作站 syngo.via。两位观察者分别于肝门水平的肝右叶和肝左叶、病灶显示最大层面及其相应层面同一相位方向的右侧背景区放置 ROI(肝内 ROI 大小约为 210 mm²,背景区约为 310 mm²),ROI 放置于信号均匀处,应避免血管和肝管,测量两组图像上肝右叶和肝左叶实质、病灶信号值(signal,SI)及背景区 SI 的标准差(standard deviation,SD)作为噪声(noise,N),计算肝实质(肝左叶和肝右叶的平均值)和病灶的信噪比(signal to noise ratio,SNR)和病灶的对比噪声比(contrast to noise ratio,CNR),计算公式:

$$SNR_{\text{肝脏}} = \frac{SI_{\text{肝脏}}}{N}$$
(1)

$$SNR_{\text{病灶}} = \frac{SI_{\text{病灶}}}{N}$$
(2)

$$CNR_{\text{病灶}} = \frac{|SI_{\text{病灶}} - SI_{\text{肝脏}}|}{N}$$
(3)

对病灶的评估和测量:在病灶显示最大层面测量

病灶的最大径(diameter,D_{max})。分别计算两个序列的图像上病灶的检出率。以增强扫描观察到的病灶数作为金标准,并且至少两位专家分别计算,取得一致意见,若不一致,再由第三位专家进行仲裁的方法来确定总病灶数。病灶检出率为检出的病灶数与总病灶数的比值。

4. 统计学分析

使用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。应用组内相关系数(ICC)对两位医师的测量数据进行一致性分析,ICC≤0.4 表示一致性较差,0.4<ICC≤0.75 表示一致性良好,0.75<ICC≤1 表示一致性高。应用 Kappa 检验分析两位医师主观评分结果的一致性。采用 Shapiro-Wilk 检验分析定量数据的正态性,呈正态分布的数据采用均数±标准差表示,不符合正态分布的数据采用中位数(25 百分位数,75 百分位数)表示。正态分布的数据采用独立样本 t 检验,不符合正态分布的数据采用 Wilcoxon 检验分析两组间肝脏右叶和肝左叶实质的 SNR、病灶的 SNR、CNR 和 D_{max} 的差异性;采用精确概率法分析两组间图像质量评分和错层率的差异性。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一致性检验

两位医师对两组图像的主观评分、肝右叶和肝左叶实质及病灶的 SI 及图像噪声的测量结果的一致性均为良好(ICC 均>0.75)。取高年资医师的测量数据进行后续分析。

2. 图像质量主观评分的比较

HASTE_{DL}组和 BLADE 组中病灶边缘锐利度和图像伪影的主观评分结果见表 3 和图 1、2。两组之间锐利度的主观评分的差异无统计学意义(P>0.05),HASTE_{DL}组图像伪影主观评分显著高于 BLADE 组,差异有统计学意义(P<0.001)。

表 3 两个序列图像上图像质量主观评分结果

指标	HASTE _{DL} 组	BLADE 组	P 值
锐利度	4.27±0.65	4.62±0.55	0.286
伪影	4.78±0.48	4.14±0.98	<0.001

3. 图像质量客观评价结果

两组图像质量客观评价及组间比较的结果详见表 4 和图 3。HASTE_{DL}组肝左叶和肝右叶的 SNR、病灶的 SNR 和 CNR 均显著高于 BLADE 组(P<0.001)。两组间病灶的 D_{max} 的差异无统计学意义(P=0.978)。

4. 错层率和病灶检出率

BLADE 组中图像的错层率高于 HASTE_{DL} 组(44.4% vs. 13.8%),差异有统计学意义(P=0.029)。本研究中 36 例患者共 45 个病灶,两个序列

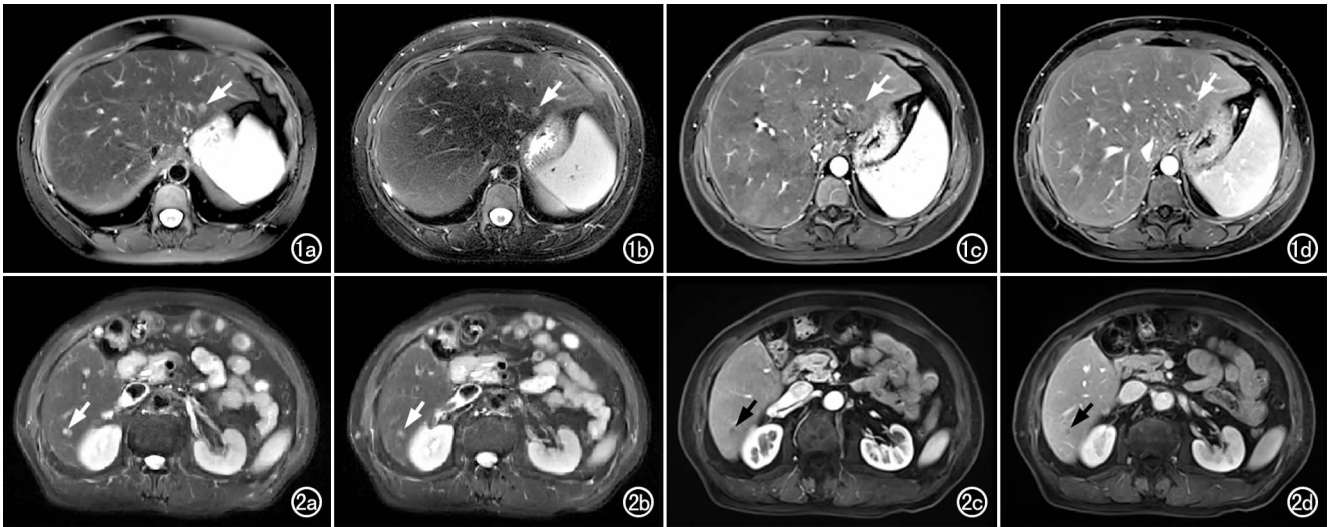


图 1 女性患者,40 岁,有肝肿瘤病史,肝内多发转移灶。a)单次屏气 HASTE_{DL}-T₂WI 图像,肝左叶内小结节灶显示清晰(箭);b)多次屏气 BLADE-T₂WI 图像,肝左叶近胃壁处病灶显示欠清(箭);c)同层面增强动脉期 T₁WI,病灶呈边缘强化(箭);d)同层面增强平衡期 T₁WI,显示呈环形强化的病灶(箭)。 图 2 男性患者,71 岁。手术病理证实为肝细胞癌 2~3 级。a)HASTE_{DL} 图像,肝右叶病灶显示清晰(箭);b)BLADE 图像,肝右后叶病灶显示欠清(箭);c)同层面增强动脉期图像,病灶边缘有较明显强化(箭);d)同层面增强平衡期图像,显示病灶强化减退(箭)。

对病灶的检出率均为 100%,没有遗漏病灶。

5. 扫描时间

相对于多次屏气 BLADE 序列,单次屏气 HASTE-E_{DL}序列扫描时间缩短约 82.3%(16s vs. 90s)。

讨 论

T₂WI 对肝脏局灶性病变的检出和定性诊断起着关键作用^[10],在肝脏恶性和良性肿瘤的鉴别以及肝脏恶性肿瘤分级的评估[如肝脏影像诊断和数据报告系统(Liver Imaging Reporting and Data System, LI-RADS)]等方面发挥着重要作用^[11]。尽管 T₂WI 序列在日常临床工作中经常应用,但在部分患者中由于采样时间与患者的呼吸运动难以协调,要获得满足诊断要求的图像质量仍然具有挑战性,尤其是在老年或重症患者中。呼吸运动伪影、图像模糊和层面错位等都有可能降低诊断的可信度,尤其是对于局灶性病变,其解剖结构的有效信息有可能被运动伪影所掩盖^[8],或者因层面错位而丢失。因此,腹部成像技术的发展方向集中在可在更具运动鲁棒性的自由呼吸状态下或更短屏气时间的成像技术上。目前常用于肝脏 T₂WI 的

屏气序列为基于自旋回波的多次屏气 TSE、BLADE 和 HASTE 序列等。与传统 TSE 序列相比,BLADE 序列应用螺旋填充 K 空间的方式提高了图像采集的运动鲁棒性,同时因为 K 空间中心数据多次累加而提高了图像信噪比。但与 TSE 序列一样,BLADE 序列采集时间也比较长,通常需要至少 4 次屏气才能完成全肝扫描,使得层面错位和病灶遗漏的风险增加。HASTE 序列采集时间较短,但通常图像较模糊,且也需要 2~3 次屏气才能完成全肝数据的采集。

我们的研究展示了使用基于深度学习重建算法的 HASTE 序列进行单次屏气 T₂WI 扫描的方案。该扫描方案同时利用了深度学习重建方法能够高效提高图像信噪比和清晰度,以及 HASTE 序列快速采样的优点,使得在单次屏气情况下完成全肝扫描能够获得满足诊断要求的 T₂WI 图像。与传统 BLADE 序列进行对比,基于深度学习重建的 HASTE 序列既能够实现更短的扫描时间,又能保证病灶的清晰显示。尤其是在扫描时间方面,HASTE_{DL} 序列的扫描时间较 BLADE 序列减少了 80%以上,这为工作流的优化和 MRI 临床使用效率的提高提供了有力的支持。

表 4 组间肝脏定量数据差异性结果

指标	HASTE _{DL} 组	BLADE 组	P 值
肝左叶 SNR	161.14(120.09,193.42)	48.78(37.93,57.56)	<0.001
肝右叶 SNR	158.86(138.50,209.43)	39.67(30.56,48.18)	<0.001
病灶 SNR	384.71(280.50,720.62)	137.20(104.11,215.35)	<0.001
病灶 CNR	279.14(170.29,419.67)	116.10(61.71,195.15)	<0.001
病灶 D _{max}	2.11(1.18,3.26)	2.20(1.21,3.18)	0.978

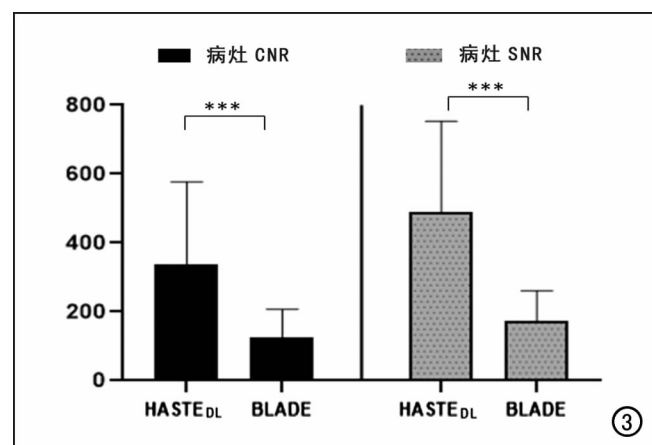


图3 两组图像上病灶 CNR 和 SNR 的箱式图及组间比较结果示意图。

本研究结果显示采用 HASTE_{DL} 序列进行 T₂WI 扫描仅需一次屏气,而 BLADE 序列需 4 次屏气;HASTE_{DL} 组中肝组织和病灶的 SNR 以及病灶-肝实质的 CNR 皆显著高于 BLADE 组($P < 0.05$),HASTE_{DL} 组的图像错层率显著低于 BLADE 组($P < 0.05$);病灶最大径的测量值在两组之间的差异无统计学意义($P > 0.05$)。此外,主观评价方面,HASTE_{DL} 组的图像锐利度与 BLADE 组无明显差异($P > 0.05$),但伪影较 BLADE 组显著减少($P < 0.05$);HASTE_{DL} 组层面连续性好,使得病灶在 HASTE_{DL} 图像上的显示更加清晰完整。

HASTE 序列使用长回波链和半傅里叶采集技术实现单次激发完成单层面采集,显著缩短了肝脏 T₂WI 的扫描时间,减少了呼吸运动可能带来的伪影。但长回波链会造成图像模糊,故通常 HASTE 序列并不适合于实质性脏器的成像。DL 技术的快速发展对传统成像技术带来了新的突破。基于深度学习的重建方法可提高短时间采集的高分辨图像的信噪比^[7,12],从而解决了传统 HASTE 序列图像质量不足的问题,为快速 T₂WI 提供一种新的高质量重建方法。本研究使用的 DL 技术是基于最为成熟的 CNN 算法,发挥了 DL 在重建中高清晰度和去伪影的优势。以 CNN 作为运算模块是以海量的高质量图像进行基础训练为前提的,从而保障了图像细节的完整表达,不会影响成像的细节。DL 的学习方法,通过训练深度神经网络来重建采样不足的 k 空间数据、它将 k 空间的测量值(或零填充重建)作为输入并产生重建的图像。这些方法实现更快的图像重建速度,同时又可保持相当高的图像质量,弥补了 HASTE 采样法 K 空间信息不足及可视化图像噪声水平大的问题。深度学习已经成为一个非常重要的研究和发展领域,具有深远的潜力^[13]。

在医学成像领域,已有研究发现深度学习技术可

以应用于提高 MRI 图像重建速度等方面。通常加速图像重建的方法包括并行成像(parallel imaging, PI)和压缩感知(compressed sensing imaging, CS)成像,但这 2 种技术仍然存在欠采样伪影等缺点^[14]。传统的 CS 图像重建相当于并行成像、稀疏采样和图像去噪的组合。并行成像是通过数据一致性项,变换域稀疏假设驱动进行图像去噪。典型的迭代优化算法的模式研究数据一致性和图像正则化。DL 重建的架构复制了 PI 重建的迭代优化。然而,它使用可训练组件的数据与传统算法相比,可训练的数据可以实现更快的计算速度。深度学习使我们能够将优化的关键工作从在线重建阶段转移为预先的离线训练任务,在原始数据和图像之间进行合适的转换,从而实现逆变换关键参数的改进,使其可以作为模拟流程操作应用于所有新数据,在数据保真和基于 CNN 正则化之间交替进行,该模型已经在 HASTE 序列中完成训练。本研究结果显示 HASTE_{DL} 序列在肝脏占位性病变的检出和图像质量等方面均具有临床应用价值。

本研究存在的不足之处:一,纳入的样本量比较小,且为单中心研究;二,本研究中没有对肝占位性病变进行分类,不同病变的 SNR 和 CNR 等指标可能有不同表现。在今后可适当扩大样本量进一步论证,并对病变进行分类分析,以得到更客观可靠的结果。

综上所述,单次屏气 HASTE_{DL} 序列能显著缩短肝脏 T₂WI 的扫描时间,减少图像错层的情况,提升图像质量而不影响病灶的检出,具有较好的临床应用价值。

参考文献:

- [1] Schreiber-Zinaman J, Rosenkrantz AB. Frequency and reasons for extra sequences in clinical abdominal MRI examinations[J]. Abdom Radiol (NY), 2017, 42(1): 306-311.
- [2] Barat M, Soyer P, Dautry R, et al. Preoperative detection of malignant liver tumors: comparison of 3D-T₂-weighted sequences with T₂-weighted turbo spin-echo and single shot T₂ at 1.5T[J/OL]. Eur J Radiol, 2018, 100: e7-e13 [2018 Jan 11]. DOI: 10.1016/j.ejrad.2018.01.007.
- [3] Herrmann J, Gassenmaier S, Nickel D, et al. Diagnostic confidence and feasibility of a deep learning accelerated HASTE sequence of the abdomen in a single breath-hold[J]. Invest Radiol, 2021, 56(5): 313-319.
- [4] Herrmann J, Nickel D, Mugler JP, et al. Development and evaluation of deep learning-accelerated single-breath-hold abdominal HASTE at 3T using variable refocusing flip angles[J]. Invest Radiol, 2021, 56(10): 645-652.
- [5] Herrmann J, Wessling D, Nickel D, et al. Comprehensive clinical evaluation of a deep learning-accelerated, single-breath-hold abdominal HASTE at 1.5T and 3.0T[J]. Acad Radiol, 2023, 30(1): 93-102.
- [6] Sheng RF, Zheng LY, Jin KP, et al. Single-breath-hold T₂WI liver MRI with deep learning-based reconstruction: a clinical feasibility

study in comparison to conventional multi-breath-hold T₂WI liver MRI[J/OL]. Magn Reson Imaging, 2021, 81: e75-e81 [2021 Jun 18]. DOI:10.1016/j.mri.2021.06.014.

[7] Chandra SS, Bran Lorenzana M, Liu X, et al. Deep learning in magnetic resonance image reconstruction[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2021, 65(5): 564-577.

[8] Hammernik K, Klatzer T, Kobler E, et al. Learning a variational network for reconstruction of accelerated MRI data[J]. Magn Reson Med, 2018, 79(6): 3055-3071.

[9] Schlemper J, Caballero J, Hajnal JV, et al. A deep cascade of convolutional neural networks for dynamic MR image reconstruction [J]. IEEE Trans Med Imaging, 2018, 37(2): 491-503.

[10] Marrero JA, Kulik LM, Sirlin CB, et al. Diagnosis, staging, and management of hepatocellular carcinoma; 2018 practice guidance

by the American Association for the study of liver diseases[J]. Hepatology, 2018, 68(2): 723-750.

[11] Mamone G, Di Piazza A, Carollo V, et al. Imaging of primary malignant tumors in non-cirrhotic liver[J]. Diagn Interv Imaging, 2020, 101(9): 519-535.

[12] 严祥虎, 罗毅, 冉玲平, 等. 深度学习辅助压缩感知技术在心力衰竭患者心脏磁共振中的临床应用[J]. 放射学实践, 2023, 38(3): 267-272.

[13] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning[J]. Nature, 2015, 521(7553): 436-444.

[14] Hollingsworth KG. Reducing acquisition time in clinical MRI by data undersampling and compressed sensing reconstruction[J]. Phys Med Biol, 2015, 60(21): 297-322.

(收稿日期: 2023-04-15 修回日期: 2023-08-27)

本刊可直接使用的医学缩略语

医学论文中正确、合理使用专业名词可以精简文字, 节省篇幅, 使文章精炼易懂。现将放射学专业领域为大家所熟知的专业名词缩略语公布如下(按照英文首字母顺序排列), 以后本刊在论文中将对这一类缩略语不再注释其英文全称和中文。

ADC (apparent diffusion coefficient): 表观扩散系数
ALT: 丙氨酸转氨酶; AST: 天冬氨酸转氨酶
BF (blood flow): 血流量
BOLD (blood oxygenation level dependent): 血氧水平依赖
BV (blood volume): 血容量
b: 扩散梯度因子
CAG (coronary angiography): 冠状动脉造影
CPR (curve planar reformation): 曲面重组
CR (computed radiography): 计算机 X 线摄影术
CT (computed tomography): 计算机体层成像
CTA (computed tomography angiography): CT 血管成像
CTPI (CT perfusion imaging): CT 灌注成像
DICOM (digital imaging and communication in medicine): 医学数字成像和传输
DR (digital radiography): 数字化 X 线摄影术
DSA (digital subtraction angiography): 数字减影血管造影
DWI (diffusion weighted imaging): 扩散加权成像
DTI (diffusion tensor imaging): 扩散张量成像
ECG (electrocardiography): 心电图
EPI (echo planar imaging): 回波平面成像
ERCP (endoscopic retrograde cholangiopancreatography): 经内镜逆行胰胆管造影术
ETL (echo train length): 回波链长度
FLAIR (fluid attenuation inversion recovery): 液体衰减反转恢复
FLASH (fast low angel shot): 快速小角度激发
FOV (field of view): 视野
FSE (fast spin echo): 快速自旋回波
fMRI (functional magnetic resonance imaging): 功能磁共振成像
IR (inversion recovery): 反转恢复
Gd-DTPA: 钆喷替酸葡甲胺
GRE (gradient echo): 梯度回波
HE 染色: 苏木素-伊红染色

HRCT (high resolution CT): 高分辨率 CT
MPR (multi-planar reformation): 多平面重组
MIP (maximum intensity projection): 最大密(强)度投影
MinIP (minimum intensity projection): 最小密(强)度投影
MRA (magnetic resonance angiography): 磁共振血管成像
MRI (magnetic resonance imaging): 磁共振成像
MRS (magnetic resonance spectroscopy): 磁共振波谱学
MRCP (magnetic resonance cholangiopancreatography): 磁共振胰胆管成像
MSCT (multi-slice spiral CT): 多层螺旋 CT
MTT (mean transit time): 平均通过时间
NEX (number of excitation): 激励次数
PACS (picture archiving and communication system): 图像存储与传输系统
PC (phase contrast): 相位对比法
PET (positron emission tomography): 正电子发射计算机体层成像
PS (surface permeability): 表面通透性
ROC 曲线 (receiver operating characteristic curve): 受试者操作特征曲线
SPECT (single photon emission computed tomography): 单光子发射计算机体层摄影术
PWI (perfusion weighted imaging): 灌注加权成像
ROI (region of interest): 兴趣区
SE (spin echo): 自旋回波
STIR (short time inversion recovery): 短时反转恢复
TACE (transcatheter arterial chemoembolization): 经导管动脉化疗栓塞术
T₁ WI (T₁ weighted image): T₁ 加权像
T₂ WI (T₂ weighted image): T₂ 加权像
TE (time of echo): 回波时间
TI (time of inversion): 反转时间
TR (time of repetition): 重复时间
TOF (time of flight): 时间飞跃法
TSE (turbo spin echo): 快速自旋回波
VR (volume rendering): 容积再现
WHO (World Health Organization): 世界卫生组织
NAA (N-acetylaspartate): N-乙酰天门冬氨酸
Cho (choline): 胆碱
Cr (creatinine): 肌酐

(本刊编辑部)