

临床研究

DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.004059

瓦氏屏气法改善钆塞酸二钠增强 MRI 动脉期运动伪影的价值

方良瑞¹, 赵 骏², 刘丽娟², 张志伟¹

(1.重庆医科大学附属第一医院放射科, 重庆 400016;

2.陆军军医大学第一附属医院7T磁共振转化医学研究中心/放射科, 重庆 400038)

【摘要】目的:探讨一种改良的“瓦氏”屏气策略,在降低钆塞酸二钠(gadoxetate disodium, Gd-EOB-DTPA)磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)动脉期瞬时严重运动伪影(transient severe motion artifact, TSM)及提升图像质量中的应用价值。**方法:**本研究回顾性纳入2019年4月至2020年8月149例首次接受钆塞酸二钠增强MRI检查的患者资料,所有患者对比剂注射速率均为1 mL/s。依据患者屏气不同的腹部收紧状态,被分为瓦氏屏气组(A组, $n=70$)和吸气末屏气组(B组, $n=79$)进行对比。由2名经验丰富的放射科医师用5分制对动脉期的呼吸运动伪影和肝动脉、门静脉、腹主动脉及肝实质的图像质量进行主观盲评,计算这些半定量评分总分及TSM发生率(呼吸伪影评分 ≥ 4 分定义为TSM)。客观测量并计算动脉期图像中的门静脉、腹主动脉及肝实质的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)和对比信噪比(contrast-to-noise ratio, CNR)。采用卡方检验和Mann-Whitney U 检验进行组间统计学比较,检验水准 $\alpha=0.05$ 。**结果:**2组患者的基线资料(包括年龄、性别、身高、体质量及疾病类型)差异无统计学意义($P>0.05$)。呼吸伪影评分、门静脉评分、肝实质评分及其总分差异有统计学意义(均 $P<0.05$),且A组评分低于B组,有明显优势。TSM发生率A组低于B组(2.86% vs. 11.39%, $P=0.047$),率差RD(95%CI)=-8.54% (-16.55%~0.52%)。门静脉SNR、腹主动脉SNR、肝实质SNR及门静脉-肝实质CNR差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),且A组优于B组。**结论:**对于首次接受钆塞酸二钠增强MRI检查的患者,在采用1 mL/s低速注射方案的同时,联合应用瓦氏屏气法,可有效降低动脉期TSM的发生率,并显著提升图像质量。

【关键词】钆塞酸二钠;屏气策略;动脉期成像;图像优化;瞬时严重运动伪影

【中图分类号】R445.2

【文献标志码】A

Value of the Valsalva maneuver breath-holding strategy in reducing transient severe motion artifact in the arterial phase of Gd-EOB-DTPA-enhanced magnetic resonance imaging

Fang Liangrui¹, Zhao Jun², Liu Lijuan², Zhang Zhiwei¹

(1.Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University;

2.Research Center for 7T Magnetic Resonance Translational Medicine/Department of Radiology,

The First Affiliated Hospital of Army Medical University)

【Abstract】Objective: To investigate the value of a modified Valsalva breath-holding strategy in reducing transient severe motion artifact (TSM) and improving image quality during the arterial phase of gadoxetate disodium (Gd-EOB-DTPA)-enhanced magnetic resonance imaging (MRI). **Methods:** A retrospective analysis was performed for the data of 149 patients who underwent Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI for the first time from April 2019 to August 2020, and the contrast agent was injected at a rate of 1 mL/s for all patients. According to the state of abdominal tightening during breath-holding, the patients were divided into Valsalva breath-holding group (group A with 70 patients) and end-inspiratory breath-holding group (group B with 79 patients). Two radiologists subjectively evalu-

作者介绍:方良瑞, Email: Fairy_921@163.com,

研究方向:钆塞酸二钠MRI、心脏MRI。

通信作者:张志伟, Email: zhangzhiwei@qmu@163.com。

基金项目:重庆市研究生教育教学改革研究资助项目(编号: YJG232020)。

优先出版: <https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20260302.1025.012>

(2026-03-02)

ated the image quality scores of respiratory motion artifact, hepatic artery, portal vein, abdominal aorta, and liver parenchyma using a 5-point scale and calculated the total semi-quantitative scores and the incidence rate of TSM (a respiratory artifact with a score of ≥ 4 was defined as TSM). The signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of the portal vein, abdominal aorta, and liver parenchyma were measured and calculated. The chi-square test and

the Mann-Whitney U test were used for comparison between groups. The significance level was set at $\alpha=0.05$. **Results:** There were no significant differences in baseline features (age, sex, body height, body weight, and disease type) between the two groups (all $P>0.05$), while there were significant differences between the two groups in the scores of respiratory artifact, portal vein, and liver parenchyma and the total semi-quantitative score (all $P<0.05$), and group A had significantly lower scores than group B. Group A had a significantly lower incidence rate of TSM than group B (2.86% vs. 11.39%, $P=0.047$), with a risk difference of -8.54% (95%CI=-16.55% to -0.52%). There were significant differences between the two groups in the SNR of the portal vein and abdominal aorta and the CNR of the portal vein and liver parenchyma (all $P<0.05$), and group A had significantly higher scores than group B. **Conclusion:** For patients undergoing Gd-EOB-DTPA-enhanced liver MRI examination for the first time, a low injection rate of 1 mL/s combined with the Valsalva end-inspiratory breath-hold strategy can effectively reduce the incidence rate of TSM during the arterial phase and significantly improve image quality.

【Key words】Gd-EOB-DTPA; breath-holding strategy; arterial phase imaging; image optimization; transient severe motion artifact

钆塞酸二钠 (gadoxetate disodium, Gd-EOB-DTPA) 是一种常用的肝胆特异性磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 对比剂, 其 MRI 动脉期图像能够清晰展示肿瘤的供血动脉、范围以及与周围血管的关系, 并兼具肝胆期的功能性信息^[1-2], 在诊断肝细胞癌等方面已被证明优于计算机断层扫描 (computed tomography, CT)^[3]。然而, 钆塞酸二钠增强 MRI 容易发生瞬时严重运动伪影 (transient severe motion artifact, TSM), 这是由于对比剂注射时血浆峰值浓度的急性短暂升高, 患者产生急性呼吸困难^[4], 进而引发膈肌非自主运动所致^[5], 其 TSM 发生率为 8%~20%, 明显高于其他 MRI 对比剂^[6]。这种伪影通常在动脉期尤其是动脉晚期产生, 不仅会影响图像质量^[7], 可能因扫描失败而增加患者的经济负担与时间成本^[8], 还可能使临床对肿瘤边界的判断产生偏差, 或掩盖病灶造成漏诊^[9], 影响诊断和疗效评估。

三维 T1 脂肪抑制容积内插单次屏气序列 (T1-weighted three-dimensional gradient-echo volumetric interpolated breath-hold examination, 3D-VIBE) 采集方式为国内外常规钆塞酸二钠动脉期扫描序列, 注射方案和屏气方法是 TSM 发生的独立相关因素^[10], 注射方案 1 mL/s 的低注射速率已被国际共识推荐用于延缓血药浓度峰值^[11-12], 在屏气方式上, 目前国内未有专家共识给出指导性建议。尽管呼气末屏气早在 20 世纪因其理论上膈肌相对稳定而被国外提出^[13], 但其会显著缩短患者的有效屏气时长^[14], 尤其在注射钆塞酸二钠后, 患者屏气能力可能进一步

下降^[8]。难以满足实际检查时长 14~18 s 的高分辨率 3D 序列采集需求^[10]。因此, 临床实践中仍普遍采用可提供更长屏气时间的吸气末屏气法^[14]。然而, 吸气末屏气时膈肌仍可能存在不稳定位移, 无法完全规避 TSM 风险^[13]。

本研究中提出的瓦氏屏气法 (Valsalva maneuver)^[15], 其核心在于指导患者深吸气后屏住呼吸, 同时腹部主动用力向下挤压。本研究回顾性比较该改良屏气法与吸气末屏气法在抑制 TSM 及提升动脉期图像质量方面的效果, 以期为临床评估提供更可靠的诊断依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料

本文采用回顾性研究, 方案已通过陆军军医大学第一附属医院伦理委员会的批准 [批号: (B)KY2022122], 并豁免了患者知情同意。回顾性收集 2019 年 4 月至 2020 年 8 月, 在本院首次接受钆塞酸二钠增强 MRI 检查的患者影像与临床资料。纳入标准: ①年龄 18~80 岁; ②首次接受钆塞酸二钠增强 MRI 检查; ③无金属异物伪影。排除标准: ①2019 年 4 月之前做过此检查的患者; ②人口基线资料不完整; ③对比剂注射方式非 1 mL/s 的患者; ④未采用 2 种指定屏气方法者。回顾策略如图 1 所示, 最终纳入 149 例患者, 根据指导的屏气方式分为采用瓦氏屏气法的 A 组 ($n=70$) 和采用吸气末屏气法的 B 组 ($n=79$)。人口统计学信息见表 1。

1.2 MRI 检查技术

所有检查均使用西门子 3.0 T Trio MRI 扫描仪及 1 个 6 通道体部相控阵线圈完成。动脉期成像采用 3D-VIBE 序列, 其关键参数如下: TR/TE=3.42/1.45 ms, 翻转角=12°, 矩

阵=320×225,视野为(400~420)mm×(280~300)mm,层厚为2.0~2.5mm,层厚=(2~2.5)mm,带宽=460Hz/pixel,单次屏气采集时间为15s。

对比剂注射方案遵循标准化流程:使用高压注射器经肘正中静脉注射钆塞酸二钠(剂量0.1mL/kg),注射速率恒定为1mL/s,随后以相同速率注射20mL生理盐水进行冲刷。动脉期扫描的延迟时间通过团注追踪技术(bolus tracking)个体化确定,通常在18~25s,语音指挥患者屏气,统一以看到患者捏住下鼻甲为屏气开始,随即触发扫描。

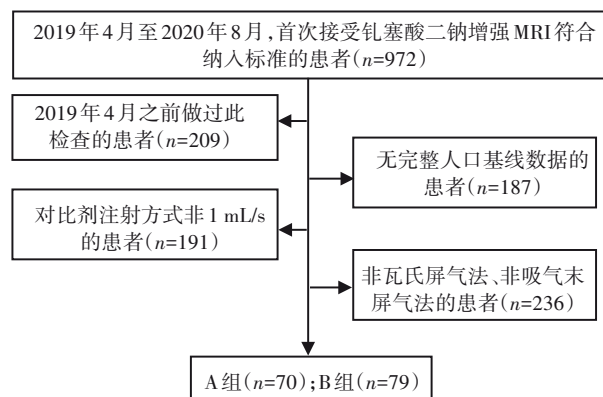


图1 纳入排除标准流程图

表1 人口统计学资料[n,%; $M_d(P_{25}, P_{75})$; $\bar{x} \pm s$]

患者信息	A组(n=70)	B组(n=79)	$\chi^2/t/Z$ 值	P值
性别			3.078	0.079
男	48(68.6)	64(81.0)		
女	22(31.4)	15(19.0)		
年龄(岁)	50.67 ± 12.66	53.92 ± 10.89	-1.686	0.094
身高(cm)	164.41 ± 7.50	164.08 ± 6.89	0.287	0.775
体质量(kg)	60(54.25, 66.5)	61(55, 70)	-0.575	0.565
疾病类型				
肝癌	30(42.9)	37(46.8)	0.237	0.626
血管瘤	9(12.9)	8(10.1)	0.274	0.601
肝炎	10(14.3)	17(21.5)	1.309	0.253
肝硬化	10(14.3)	18(22.8)	1.757	0.185
结肠直肠癌	0(0.0)	2(2.5)		
肝移植	0(0.0)	1(1.3)		
胆结石	0(0.0)	1(1.3)		

1.3 屏气训练方法

MRI检查前对患者进行呼吸训练。2种不同屏气法下的腹部状态如图2所示(所有患者仰卧位)。A组:即执行1次瓦氏动作(可有效延长屏气时间)^[15],患者被指导在1次充分深吸气后用手捏住下鼻甲屏住呼吸,做用力呼气但保持声门关闭,不呼出气体,此时下腹部肌肉收紧控制腹部运动(图2A)。B组:患者被指导执行吸气末用手捏住下鼻甲屏住呼吸动作,胸廓与腹部因气体吸入保持自然扩张状态(图2B)。



A. 按照A组屏气法下的腹部状态



B. 按照B组屏气法下的腹部状态

注:图为同一男性按照A、B组屏气时腹部不同状态做的屏气示范,A组吸气末下腹部肌肉主动控制收紧用力向下挤压,产生并维持一个持续的腹内压,以稳定膈肌位置,胸廓与上腹处于略微鼓起状态;B组吸气末腹部肌肉放松,胸廓与全腹部因气体吸入保持自然扩张隆起状态

图2 2种吸气末屏气腹部状态示意图

1.4 图像分析

1.4.1 主观评价 2位具有超过5年腹部MRI诊断经验的放射科医师,在对患者分组及屏气训练策略不知情的情况下,独立对动脉期图像质量进行主观评估。评估采用5分制Likert量表(1分,没有伪影;2分,轻度伪影对诊断无影响;3分,中度伪影但对诊断没有严重影响;4分,重度伪影但仍可诊断;5分,广泛的运动伪影,图像不可诊断^[16])。评分越低代表图像质量越好。评估内容包括:整体呼吸伪影、肝动脉、门静脉、腹主动脉的显示清晰度以及肝实质的强化均匀性。若2位医师评分不一致,则通过协商达成共识。腹主动脉和肝实质显示质量。根据文献标准^[16],呼吸伪影评分 ≥ 4 分定义为TSM。

1.4.2 客观评价 在客观评估中,通过在3D-VIBE序列增强成像的动脉期图像上选取感兴趣区域(region of interest, ROI)来测量门静脉、腹主动脉、肝实质和背景的信号强度(signal intensity, SI)。所有ROI的选择方法参考经典的研究文献^[17]:放射科医生分别将ROI放置在以腹腔干为中心层面、腹腔干以上及以下水平3个连续平面上测量选择SI区域。其中肝实质SI测量于右、左内、左外侧叶并计算平均值,避开肝脏病变及圆形面积大于2cm²的血管。对于腹主动脉的SI计算,不包括血管壁,通过绘制约0.5cm²的圆形区域进行ROI平均信号强度测量。为了获得尽可能高的SI,在增强区域使用圆形光标评估指定组织的SI,同时排除囊性或坏死区域。背景信号标准差(standard deviation, SD)定义为使用1~2cm²的圆形ROI在动脉期图像进行四角区域本底SI

标准差测量,并计算平均SD。

定量参数计算:计算门静脉、腹主动脉、肝实质的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR):SNR=组织的SI/背景的平均SD。

用脏器A(门静脉或腹主动脉)的SI与脏器B(肝实质)的SI之差计算门静脉与肝实质、腹主动脉与肝实质的对比信噪比(contrast-to-noise ratio, CNR):CNR=|组织A的SI-组织B的SI|/背景的平均SD。

1.5 统计学方法

统计分析均在SPSS 27.0中完成,正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,偏态分布计量资料以中位数(四分位间距)[$M_d(P_{25}, P_{75})$]表示,计数资料以频数和百分比表示。计量资料的正态性通过Shapiro-Wilk检验进行评估;符合正态分布的计量资料采用独立样本 t 检验进行比较;非正态分布的计量资料则采用Mann-Whitney U 检验;计数资料组间比较采用卡方检验,并用Wald法计算2组TSM发生率差异(rate difference, RD)的95%置信区间。所有检验均为双侧检验,且检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

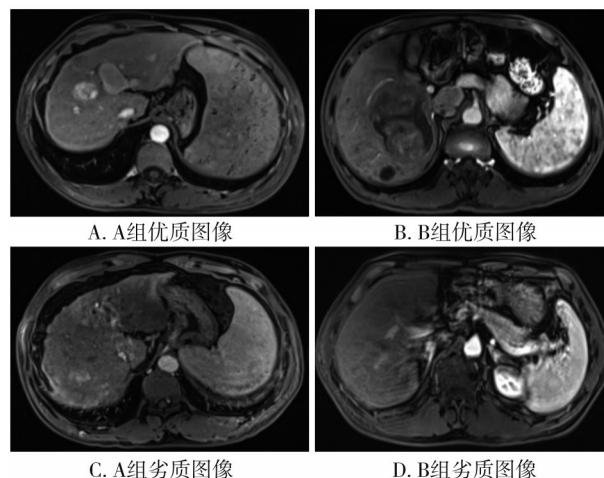
2.1 临床资料比较

年龄、身高符合正态分布,经 t 检验差异无统计学意义(P 值分别为0.094、0.775),体质量经Shapiro-Wilk检验不符合正态分布,Mann-Whitney U 检验显示差异无统计学意义($P=0.565$),性别分布经卡方检验差异无统计学意义($P=0.079$)。疾病分布中肝癌、血管瘤、肝炎、肝硬化卡方检验差异无统计学意义(P 值分别为0.626、0.601、0.253、0.185),见表1。

2.2 主观图像质量评估

A组在多项主观评分上显著低于B组,其分值越低,说明图像质量越好。A组与B组相比,其中呼吸伪影评分[1(1, 2) vs. 2(1, 3), $Z=-3.325$, $P=0.001$]、门静脉评分[1(1, 1) vs. 1(1, 2), $Z=-2.203$, $P=0.028$]、肝实质评分[1(1, 1) vs. 1(1, 2), $Z=-2.282$, $P=0.022$]、总分[5(5, 6.75) vs. 6(5, 9.5), $Z=-3.012$, $P=0.003$]差异均有统计学意义。肝动脉和腹主动脉评分两

组间差异无统计学意义(P 值分别为0.160、0.876)。见图3,表2。



注:4幅图皆为肝癌患者,图A与B分别为A、B 2组中随机抽取的呼吸伪影评分1~2分优质图像,病变清晰可见可诊断;图C与D为分别为A、B 2组随机抽取呼吸伪影评分3分以上较劣质图像,其中图C病变较图D更清晰易诊断,呼吸伪影较小

图3 不同屏气方式下钆塞酸二钠磁共振增强动脉期优劣图

2.3 TSM发生率比较

组A瓦氏屏气组TSM发生率为2.86%(2/70),低于B组的11.39%(9/79)(2.86% vs. 11.39%, $\chi^2=3.954$, $P=0.047$), RD(95%CI)=-8.54%(-16.55%~0.52%)。见表2。

2.4 客观图像质量评估

定量分析显示下A组在多项SNR和CNR指标上显著优于B组(表3),其指标越高说明图像质量越优。A组与B组相比,门静脉SNR[307.40(215.25, 430.66) vs. 237.34(163.11, 313.48), $Z=-3.203$, $P=0.001$]、腹主动脉SNR[431.69(327.37, 549.55) vs. 365.07(255.69, 466.83), $Z=-2.278$, $P=0.023$]、肝实质SNR[154.09(125.75, 197.53) vs. 138.69(115.18, 167.98), $Z=-2.495$, $P=0.013$]、门静脉-肝实质CNR[141.90(65.22, 236.14) vs. 93.04(42.12, 146.16), $Z=-2.761$, $P=0.006$]均有统计学差异。腹主动脉-肝实质CNR 2组间差异无统计学意义($P=0.114$)。

表2 2组动脉期图像质量半定量评分及TSM发生率结果[$M_d(P_{25}, P_{75})$; n , %]

项目	A组($n=70$)	B组($n=79$)	Z/χ^2 值	P 值
呼吸伪影	1(1, 2)	2(1, 3)	-3.325	0.001
肝动脉	1(1, 1)	1(1, 2)	-1.405	0.160
门静脉	1(1, 1)	1(1, 2)	-2.203	0.028
腹主动脉	1(1, 1)	1(1, 1)	-0.156	0.876
肝实质	1(1, 1)	1(1, 2)	-2.282	0.022
图像质量总分	5(5, 6.75)	6(5, 9.5)	-3.012	0.003
TSM发生率	2(2.9)	9(11.4)	3.954	0.047

表3 2组 SNR 与 CNR 定量评分结果 $[M_d(P_{25}, P_{75})]$

项目	A 组(n=70)	B 组(n=79)	Z 值	P 值
SNR				
门静脉	307.40(215.25, 430.66)	237.34(163.11, 313.48)	-3.203	0.001
腹主动脉	431.69(327.37, 549.55)	365.07(255.69, 466.83)	-2.278	0.023
肝实质	154.09(125.75, 197.53)	138.69(115.18, 167.98)	-2.495	0.013
CNR				
门静脉—肝实质	141.90(65.22, 236.14)	93.04(42.12, 146.16)	-2.761	0.006
腹主动脉—肝实质	264.30(163.23, 375.44)	213.50(126.19, 330.86)	-1.578	0.114

3 讨论

3.1 瓦氏屏气策略的有效性

本研究首次系统评估了一种改良的“瓦氏”屏气策略在抑制钆塞酸二钠增强 MRI 动脉期 TSM 方面的有效性。研究表明,该策略使 TSM 发生率从 11.39% 降至 2.86%, 并大幅度降低了 TSM 发生率和呼吸伪影, 提升了动脉期图像质量。

3.2 与国内外研究进展比较

图 3 展示了本研究 2 组的动脉期优劣图像, 2 种屏气方法都可得到优质或劣质的动脉期图像(图 3A 与 3B), 只是 A 组由 TSM 发生和呼吸伪影导致的劣质图像发生率较低。TSM 导致的图像模糊, 可能使医生对肿瘤边界的判断产生偏差, 或无法发现微小的卫星灶, 从而影响手术范围的确定和患者预后。

MRI 检查注射钆塞酸二钠对比剂后形成的呼吸伪影和呼吸困难发生率分别为 8%~20% 和 7%~14%^[6,18]。本研究中, 对照组 11.39% 的 TSM 发生率在文献报道的 8%~20% 内, 再次证实了 TSM 是钆塞酸二钠 MRI 临床诊断中不可忽视的问题。

本研究所有患者均已采用国际研究推荐^[11-12]且国内专家共识的 1 mL/s 低流速注射方案, 该方案本身旨在低流速注射对比剂延长动脉期的有效采集时间降低对于人体大动脉化学感受器的毒性刺激作用^[12,19], 即通过减缓对比剂浓度峰值的出现来降低 TSM 风险。在此基础上, 通过简单的屏气方式改良实现了 TSM 发生率的进一步显著下降, 这凸显了屏气策略在抑制 TSM 中不可或缺的重要价值。

针对 TSM 的干预屏气策略, 早期研究主张采用呼气末屏气(认为此时膈肌运动缓慢)以及更短的获取时间在降低 TSM 方面有重要贡献^[10,20], 但呼气

末屏气有以下弊端:①呼气末肺内氧分压降低, 二氧化碳分压升高可能会导致患者主观不适, 且在缺氧状态下平均屏气时间几乎减半^[14];②钆塞酸二钠注射后可能进一步降低屏气时长(与钆喷酸葡胺相比, 最大屏气时长缩短了大概 10 s)使患者屏气失败率增加^[8]。③目前广泛使用动脉期图像空间分辨率最佳的单次屏气 3D 序列采集法时长为 14~18 s^[10], 患者在前 2 个条件下很难有足够稳定的时间窗去配合屏气完成此检查。相反地, 由于屏气时间随着肺通气量的增加而增加^[14], 吸气末屏气肺容积最大化, 氧储备充足, 屏气时间可比呼气末延长^[14], 更能满足 MRI 采集需求。

3.3 生理学角度因素

该方法之所以有效, 可能源于“生理-心理”双重机制。生理上, 根据 Davenport MS 等^[21]对 TSM 的描述, 患者主观呼吸困难可能激活膈肌非自主运动, 导致动脉期图像质量显著下降。有研究表明, 肋间肌和大部分吸气腹肌的传入神经通常不会对屏气持续时间作出重要贡献^[14], 因此, 本课题组认为影响屏气时间的主要肌肉是膈肌。

但吸气末屏气时膈肌运动较复杂, 其运动幅度为 0.1~7.9 mm/s^[13], 仍可能加剧 TSM 风险。瓦氏屏气法早在 17 世纪被意大利解剖学家 Antonio Maria Valsalva 提出, 现常用于心血管评估、神经功能测试及力量训练等领域。本研究中, 可见 A 组(表 2 与表 3)中呼吸伪影评分、半定量总分、门静脉、腹主动脉及肝实质 SNR、门静脉—肝实质 CNR 与 TSM 发生率指标均体现出屏气法对图像质量提高的优势。相关文献指出瓦氏动作可有效延长屏气时间, 而且可增加腹腔内压, 氧饱和度恢复更快^[15]。收紧下腹部肌肉可能抑制吸气肌带动膈肌运动, 可能降低了吸气末的膈肌偏移。与此同时, 腹横肌和腹直肌的协同收缩可以影响腹部压力和膈肌的运动速度^[22],

可能降低了膈肌收缩速度。这些可能是 TSM 发生率下降的原因之一。动脉晚期图像采集于腹主动脉中下段对比剂显影时,此时瓦氏动作持续屏气会使得腹内压显著提高,从而对血管的血流有显著的影响^[23]。具体而言,对于腹主动脉的影响为血流速度降低,使得带有对比剂的血液流出延迟,表现为 A 组的腹主动脉 SNR 提高。对于肝实质,在动脉晚期已出现强化,瓦氏动作所致的腹内压升高增大了肝静脉流出道阻力,导致细胞间隙的动脉血流出受阻,信号下降过程延缓,因而 A 组肝实质的 SNR 亦相应提高。就门静脉而言,动脉晚期为其初期强化阶段,瓦氏动作可显著降低其流出血流,甚至使之趋于停滞;尽管流入血流速度有所减缓,但整体仍处于增加态势,因此 A 组门静脉的 SNR 显著高于 B 组。在动脉晚期瓦氏动作使得 A 组门静脉和肝实质血流动力学的变化,或许是其肝实质和门静脉 CNR 差异的一个主要原因。

3.4 心理学角度因素

心理学上,患者在 MRI 检查中需长时间屏气,但检查环境的压迫感及对病情的担忧易诱发紧张或焦虑情绪。这种情绪状态是导致屏气不稳的关键因素,可能引发呼吸运动伪影增加。

“瓦氏屏气法”可将患者注意力从对呼吸不适的被动感知转移至对下腹核心肌群的主动控制^[24],这种注意力转移能有效缓解对比剂对患者的刺激影响。有研究显示,屏气时间也可以通过运动任务(如瓦氏动作中下腹肌肉收紧向下用力)会增加 13%~19%,或通过连续试验(本文为呼吸训练)增加 37%^[14]。

从心理学机制看,Bandura 的自我效能理论为此提供了理论支撑^[25]:①控制感增强:主动控制腹部肌肉的行为,提升了患者对屏气任务的掌控感,延长屏气耐受时间^[26];②自我效能感增强:可能减少焦虑引发的行为中断,使屏气状态更稳定。

3.5 改良屏气法的临床意义

我国是肝癌高发国家,肝癌死亡率高居恶性肿瘤前列^[27]。目前,钆塞酸二钠增强 MRI 是检测和分折肝部局灶性病变最有效的方法^[11]。尤其对小肝癌(≤ 1 cm)的检出^[28]、肝细胞癌早期诊断^[29]、肝转移瘤筛查^[30]、肝功能定量评估^[28]、肝肿瘤识别和表征、帮助评估治疗和肝纤维化^[11]以及根治性治疗影像学随访等方面具有重要的价值^[31]。而 TSM 是影响其图

像质量的重要障碍。本研究提出的瓦氏屏气法优势在于操作简便,无需额外成本易于推广,通过有效抑制 TSM 来确保高质量动脉期图像的的稳定获取,对提升肝脏疾病尤其是肝癌等富血供病变的早期精准诊断有重要的临床价值。

3.6 本研究的不足与展望

本研究的不足之处如下:首先研究设计是回顾性的,由于观察者被告知了研究目的,他们在观测 MR 图像时可能对 TSM 的发生敏感。其次,样本量相对较小,且未与呼气末屏气进行直接比较。再次,本研究仅基于 3.0 T 磁共振扫描仪进行,结论能否外推至 1.5 T 等其他场强设备尚需验证。最后,该方法适用于配合度良好的患者,瓦氏屏气法是否在其他医院也同样适用,有待多中心验证。

综上所述,本研究回顾性分析并证实,在首次接受钆塞酸二钠增强 MRI 检查的患者中,联合采用 1 mL/s 的低注射速率与瓦氏屏气策略,是一种简单、实用且无需成本的优化方法,能有效降低钆塞酸二钠 MRI 动脉期 TSM 的发生率,提升图像质量。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 方良瑞:研究方案设计、实施研究、分析数据、论文撰写与修改;赵骏:数据收集、实验技术指导;刘丽娟:数据收集;张志伟:研究方案设计、实验技术指导、论文修改

参 考 文 献

- [1] Tang WJ, Xiao YQ, Kuang SC, et al. Intraindividual crossover comparison of gadobenate dimeglumine-enhanced and gadoxetate disodium-enhanced MRI for characterizing focal liver lesions[J]. Eur Radiol Exp, 2025, 9(1): 23.
- [2] Kim DW, Choi SH, Park T, et al. Transient severe motion artifact on arterial phase in gadoxetic acid-enhanced liver magnetic resonance imaging: a systematic review and meta-analysis[J]. Invest Radiol, 2022, 57(1): 62-70.
- [3] Yoon JH, Chang W, Kim YK, et al. Comparison of gadoxetic acid-enhanced liver MRI and contrast-enhanced CT for the noninvasive diagnosis of hepatocellular carcinoma[J]. Liver Cancer, 2025, 21(2): 1-38.
- [4] Poetter-Lang S, Dovjak GO, Messner A, et al. Influence of dilution on arterial-phase artifacts and signal intensity on gadoxetic acid-enhanced liver MRI[J]. Eur Radiol, 2023, 33(1): 523-534.
- [5] Davenport MS, Caoili EM, Kaza RK, et al. Matched within-patient cohort study of transient arterial phase respiratory motion-related artifact in MR imaging of the liver: gadoxetate disodium versus gadobenate dimeglumine[J]. Radiology, 2014, 272(1): 123-131.
- [6] Motosugi U, Bannas P, Bookwalter CA, et al. An investigation of transient severe motion related to gadoxetic acid-enhanced MR imaging

- [J]. Radiology, 2016, 279(1):93-102.
- [7] Ichikawa S, Motosugi U, Sato K, et al. Transient respiratory-motion artifact and scan timing during the arterial phase of gadoxetate disodium-enhanced MR imaging: the benefit of shortened acquisition and multiple arterial phase acquisition[J]. Magn Reson Med Sci, 2021, 20(3):280-289.
- [8] Kromrey ML, Hori M, Goshima S, et al. Gadoxetate disodium-related event during image acquisition: a prospective multi-institutional study for better MR practice[J]. Eur Radiol, 2020, 30(1):281-290.
- [9] 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.
- [10] Soo S, Jung C, Hae P, et al. Comparison of transient severe motion in gadoxetate disodium and gadopentetate dimeglumine-enhanced MRI: effect of modified breath-holding method[J]. Eur Radiol, 2018, 28(3):1132-1139.
- [11] Ichikawa S, Goshima S. Gadoteric acid-enhanced liver MRI: everything you need to know[J]. Invest Radiol, 2024, 59(1):53-68.
- [12] Kim YK, Lin W-C, Sung K, et al. Reducing artifacts during arterial phase of gadoxetate disodium-enhanced MR imaging: dilution method versus reduced injection rate[J]. Radiology, 2017, 283(2):429-437.
- [13] Holland AE, Goldfarb JW, Edelman RR. Diaphragmatic and cardiac motion during suspended breathing: preliminary experience and implications for breath-hold MR imaging[J]. Radiology, 1998, 209(2):483-489.
- [14] Parkes MJ. Breath-holding and its breakpoint[J]. Exp Physiol, 2006, 91(1):1-15.
- [15] DeAsís-Fernández F, Reina-Varona Á, Papotsidakis E, et al. Effects of hook maneuver on oxygen saturation recovery after-40 m apnea dive: a randomized crossover trial[J]. Sports, 2025, 13(1):24.
- [16] Park YS, Lee J, Kim JW, et al. Second shot arterial phase to overcome degraded hepatic arterial phase in liver MR imaging[J]. Eur Radiol, 2019, 29(6):2821-2829.
- [17] Kim SM, Heo SH, Kim JW, et al. Hepatic arterial phase on gadoteric acid-enhanced liver MR imaging: a randomized comparison of 0.5 mL/s and 1 mL/s injection rates[J]. Korean J Radiol, 2014, 15(5):605-610.
- [18] Pietryga JA, Burke LMB, Marin D, et al. Respiratory motion artifact affecting hepatic arterial phase imaging with gadoxetate disodium: examination recovery with a multiple arterial phase acquisition[J]. Radiology, 2014, 271(2):426-434.
- [19] Polanec SH, Bickel H, Baltzer PAT, et al. Respiratory motion artifacts during arterial phase imaging with gadoteric acid: can the injection protocol minimize this drawback? [J]. Magnetic Resonance Imaging, 2017, 46(4):1107-1114.
- [20] Luetkens JA, Kupezyk PA, Doerner J, et al. Respiratory motion artefacts in dynamic liver MRI: a comparison using gadoxetate disodium and gadobutrol[J]. Eur Radiol, 2015, 25(11):3207-3213.
- [21] Davenport MS, Viglianti BL, Al-Hawary MM, et al. Comparison of acute transient dyspnea after intravenous administration of gadoxetate disodium and gadobenate dimeglumine: effect on arterial phase image quality[J]. Radiology, 2013, 266(2):452-461.
- [22] Hodges PW, Gandevia SC. Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task[J]. J Physiol, 2000, 522(1):165-175.
- [23] Ipek-Uğay S, Tzschätzsch H, Braun J, et al. Physiologic reduction of hepatic venous blood flow by the Valsalva maneuver decreases liver stiffness: liver stiffness and hepatic venous blood flow[J]. J Ultrasound Med, 2017, 36(7):1305-1311.
- [24] Lazarus RS, Folkman S. Stress, appraisal, and coping[M]. New York: Springer, 1984:376-436.
- [25] Bandura A. Self efficacy: the exercise of control[M]. New York: W. H. Freeman, 1997:36-78.
- [26] Lazarus RS. Psychological stress and coping in adaptation and illness[J]. Int J Psychiatry Med, 1974, 5(4):321-333.
- [27] Llovet JM, Kelley RK, Villanueva A, et al. Hepatocellular carcinoma[J]. Nat Rev Dis Primers, 2021, 7:6.
- [28] Okada M, Murakami T, Kuwatsuru R, et al. Biochemical and clinical predictive approach and time point analysis of hepatobiliary phase liver enhancement on Gd-EOB-DTPA-enhanced MR images: a multicenter study[J]. Radiology, 2016, 281(2):474-483.
- [29] Park MJ, Kim YK, Lee MW, et al. Small hepatocellular carcinomas: improved sensitivity by combining gadoteric acid-enhanced and diffusion-weighted MR imaging patterns[J]. Radiology, 2012, 264(3):761-770.
- [30] Armbruster M, Zech CJ, Sourbron S, et al. Diagnostic accuracy of dynamic gadoteric-acid-enhanced MRI and PET/CT compared in patients with liver metastases from neuroendocrine neoplasms[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2014, 40(2):457-466.
- [31] Taouli B, Ba-Ssalamah A, Chapiro J, et al. Consensus report from the 10th global forum for liver magnetic resonance imaging: multidisciplinary team discussion[J]. Eur Radiol, 2023, 33(12):9167-9181.

(收稿:2025-09-08;修回:2025-11-18;录用:2026-01-22)

(责任编辑:周一青)

本文引用格式:

方良瑞, 赵 骏, 刘丽娟, 等. 瓦氏屏气法改善钆塞酸二钠增强 MRI 动脉期运动伪影的价值[J]. 重庆医科大学学报, 2026, 51(9):1307-1313.