

论 著

3D-GRASE序列在老年患者磁共振胆胰管成像中的应用价值*

李华玲 杨 阳 胡成林
柳秋风*华中科技大学同济医学院附属同济医院
放射科 (湖北 武汉430030)

【摘要】目的 探讨三维梯度自旋回波(GRASE)序列在老年患者磁共振胆胰管成像(MRCP)中的应用价值。方法 纳入MRCP检查的老年患者63例。同时采集屏气2D-FSE、屏气3D-GRASE和呼吸触发3D-FSE序列。计算图像的信噪比、对比噪声比和对比度,并对图像质量进行主观评价,包括伪影、背景抑制、总体图像质量和胆胰管各分支的显示情况。组间比较采用单因素ANOVA检验或非参数Kruskal-Wallis检验。结果 GRASE序列的伪影评分高于2D-FSE序列,差异具有统计学意义(4.24 ± 0.69 vs 3.76 ± 1.03 , $P < 0.05$),但与3D-FSE序列之间差异无统计学意义($P > 0.05$)。GRASE序列背景抑制的评分高于2D-FSE序列($P < 0.05$)。在图像的总质量评分中,GRASE序列略高于3D-FSE序列,差异无统计学意义(4.29 ± 0.83 vs 4.16 ± 0.79 , $P > 0.05$),两者均高于2D序列,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。GRASE序列的CNR、CR与3D-FSE序列相近,差异无统计学意义($P > 0.05$),均高于2D-FSE序列,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。GRASE序列在胆总管、肝总管、右肝管后支、左肝管内、外支的显示的显示能力与3D-FSE序列无差别。GRASE序列在右肝管前支的显示能力不如3D-FSE序列($P < 0.05$)。结论 GRASE获得胆胰管的图像质量与3D-FSE序列接近,高于2D-FSE序列,为老年人疾病诊断提供影像学依据。

【关键词】磁共振; 胰胆管成像; 自旋回波;
胆道疾病; 老年

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】本课题为湖北省卫生健康委2023-2024年度科研项目基金资助项目(WJ2023M012)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.12.033

Application of 3D-GRASE Sequence in MRCP in Elderly Patients*

LI Hua-ling, YANG Yang, HU Cheng-lin, LIU Qiu-feng*.

Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, Hubei Province, China

ABSTRACT

Objective This paper discussed the application effect of 3D-GRASE sequence in MRCP in elderly patients. **Methods** A total of 63 patients (over 60 years old) undergoing MRCP examination in radiology department were included. 2D-FSE sequence of breath holding, 3D-GRASE sequence of breath holding and respiratory-triggered 3D-FSE sequence were scanned at the same patients using a 3.0T MRI scanner. SNR, CNR and CR were calculated according to images. The image quality was subjectively evaluated, including artifacts, background suppression, overall image quality and the display ability of each biliary and pancreatic duct branch. One-way ANOVA test and nonparametric Kruskal-Wallis test were used for comparison between groups. **Results** The artifact score of GRASE sequence was higher than that of 2D-FSE sequence, and the difference was statistically significant (4.24 ± 0.69 vs 3.76 ± 1.03 , $P < 0.05$), but there was no significant difference between 3D-FSE sequence and 3D-FSE sequence. The score of background suppression of GRASE sequence is higher than that of 2D-FSE sequence. For the overall image quality score, GRASE sequence was slightly higher than 3D-FSE sequence, and there was no significant difference (4.29 ± 0.83 vs 4.16 ± 0.79 , $P > 0.05$). Both of them were higher than 2D sequence, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). The CNR and CR of GRASE sequence was similar to that of 3D-FSE sequence, but higher than that of 2D-FSE sequence ($P < 0.05$). The display ability of GRASE sequence in common bile duct, common hepatic duct, left and right hepatic duct was not different from that of 3D-FSE sequence. The display ability of GRASE sequence on the anterior branch of right hepatic duct was not as good as that of 3D-FSE sequence (3.43 ± 1.27 vs 3.86 ± 1.13 , $P < 0.05$), but there was no difference between GRASE sequence and 3D-FSE sequence in displaying the posterior branch of right hepatic duct, the medial and lateral branches of left hepatic duct. **Conclusion** The image quality of GRASE sequence is close to 3D-FSE sequence, higher than 2D-FSE sequence, which can provide imaging basis for the diagnosis of diseases in the elderly.

Keywords: Magnetic Resonance Cholangiopancreatography; Gradient And Spin Echo; Fast Spin Echo; Elderly

随着老龄化的加剧,患有胆道疾病的老年人数量日益增长^[1]。磁共振胆胰管成像(magnetic resonance cholangiopancreatography, MRCP)是一种无创的检查方法,可清晰显示胆胰管系统的解剖结构,提供病灶信息,为疾病诊断提供影像依据^[2-6]。MRCP图像采集中应用最广泛的是快速自旋回波序列(fast spin echo, FSE)。2D-FSE序列具有扫描快速的优点,缺点是缺乏空间的深度信息,受器官重叠效应的影响严重^[7]。3D-FSE序列具有更高的空间分辨率和信噪比,同时可以提供三维原始图像^[8]。传统的3D序列通常采用呼吸触发的方法采集图像,存在采集时间较长的问题,且容易受呼吸不规则的影响,产生运动伪影^[9]。

梯度自旋回波序列(gradient and spin echo, GRASE)是一种三维的快速成像方法,它结合了梯度回波和自旋回波的优点,被用于脑部、心肌和肝脏的成像^[10-12]。最近有文献报道了GRASE序列在MRCP中的应用,该序列与传统的导航3D-FSE序列相比,在不降低图像质量的前提下,极大的减少了扫描时间。具有很大的应用前景^[13-20]。但受限于机器性能,这些研究均采用国外的磁共振设备,很少有国内设备的报告。老年患者身体虚弱,磁共振检查时间不宜过长,且容易出现呼吸不规则的问题。GRASE序列在老年患者的胆胰管成像应用具有很大的临床应用潜力。本研究采用3D-GRASE序列应用于老年患者的胆胰管成像中,旨在探索单次屏气的GRASE序列应用于老年患者的可行性和临床价值。

1 资料与方法

1.1 临床资料 纳入2021年5月至2022年3月期间,在我院放射科进行MRCP检查的老年患者63例,其中男26例,女37例,年龄范围60-80岁,平均年龄(64.63 ± 0.63)岁。

纳入标准:已知或临床疑似胆胰管疾病需要行MRCP的患者;可以在语音引导下完成屏气动作。排除标准:影像学资料和临床资料不全;存在大量腹腔积液、胸腔积液;对磁共振检查有禁忌症者,如幽闭恐惧症、体内有金属植入物等。本研究经医院伦理委员会批准,所有参与者均签署知情同意书。

1.2 设备与方法 检查设备采用联影医疗的3.0T 超导磁共振扫描仪(uMR790)。采用12通道腹部线圈。要求患者检查前空腹6小时,减少肠道伪影的干扰。患者采用仰卧位,检查前训练患者完成“吸气-呼气-屏气”动作。扫描序列包含三种MRCP序列,扫描顺序随机。详细扫描参数如表1所示。对3D-MRCP序列的原始影像进行最大强度投影(maximum intensity projection, MIP)。

1.3 图像质量评价 图像的评价分为客观评价和主观评价两部分,均由两位具有十年

【第一作者】李华玲,女,主管护师。主要研究方向:磁共振新技术应用。E-mail: 24589031@qq.com

【通讯作者】柳秋风,男,主管技师。主要研究方向:磁共振新技术应用。E-mail: 810380785@qq.com

以上工作经验的放射科医师完成。客观评价方法：测量胆总管和周边背景组织的信号强度(signal intensity, SI)和噪声的标准差(standard deviation, SD)并计算胆总管的信噪比(signal to noise ratio, SNR)、对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)和对比度(contrast ratio, CR)。2D序列选择胆总管显示最清晰的图像, 3D序列在原始图像中选择胆总管中心层面显示最清晰的层面测量。勾画圆形兴趣区(region of interest, ROI), 胆总管的ROI大小为5-6mm², 选取信号均匀、无伪影的中间区域; 周围组织SI测量的ROI固定为100mm², 置于邻近胆总管的信号均匀、无伪影的非病变区域。计算公式为:

SNR=SI_{胆总管}/SD_{胆总管} (1)

CNR = (SI_{胆总管}-SI_{背景})/{[(SD_{胆总管})² + (SD_{背景})²]/2}^{1/2} (2)

CR=(SI_{胆总管}-SI_{背景})/(SI_{胆总管}+SI_{背景}) (3)

主观评价包括图像的伪影、背景抑制、管腔显示、图像的总质量四个方面, 均采用5分制评分方法。图像伪影评分标准: 1分, 伪影严重, 无法诊断; 2分, 有明显伪影, 可导致错误诊断; 3分, 中度伪影, 影响诊断; 4分, 有轻微伪影, 不影响诊断; 5分, 无伪影。背景抑制评分标准: 1分, 有强烈的背景信号, 图像无法用于诊断; 2分, 有显著的背景信号, 难以诊断; 3分, 有明显的背景信号, 影响诊断; 4分, 有较弱的背景信号, 不影响诊断; 5分, 出色的背景抑制。总体图像质量评分标准: 1分, 差, 无法诊断; 2分, 较差, 诊断不明确; 3分, 一般; 4分, 良好, 满足诊断要求; 5分, 优秀。管腔显示评分标准: 1分, 不可见; 2分, 结构模糊, 无法识别; 3分, 部分可见; 4分, 大部分可见, 部分模糊; 5分, 全部清晰可见^[21]。对胆胰管各段显示情况进行独立评分, 包括胆总管、肝总管、右肝管、右肝管前支、右肝管后支、左肝管、左肝管内侧分支、左肝管外侧支、胰管近端和胰管远端共10个部分。

表1 三种MRCP序列的扫描参数

扫描参数	2D-FSE	3D-FSE	3D-GRASE
TR(ms)	5000	4000	600
TE(ms)	753.6	684.4	129.8
层厚(mm)	50	1.8	2.4
翻转角(°)	180	130	160
矩阵	414*552	396*526	352*440
视野(mm*mm)	300*300	352*352	352*352
回波链长度	214	184	19
脂肪抑制	Fat Sat	SPAIR	Fat Sat
回波间隔(s)	6.28	5.8	12.96
采集方式	单次屏气	呼吸触发	单次屏气
扫描时间(s)	20	190-260 (平均230)	15

1.4 统计学分析 采用 SPSS 23.0软件进行统计学分析。符合正态分布的主观评价数据的组间比较采用单因素ANOVA检验, 客观评价数据的组间比较采用非参数Kruskal-Wallis检验。对两位医师评分的一致性采用组内相关系数(intraclass correlation efficient, ICC)进行分析, ICC>0.75为一致性良好^[22]。以P<0.05为差异具有统计学意义。

2 结果

GRASE序列的扫描时间为15s, 低于2D-FSE序列的20s, 对比3D-FSE序列的3min50s, 扫描时间减少了约93%。在伪影方面, GRASE序列的评分高于2D-FSE序列, 差异具有统计学意义(4.24±0.69 vs 3.76±1.03, P<0.05, 图1), 但与3D-FSE序列之间差异无统计学意义(P>0.05)。GRASE序列背景抑制的评分与伪影类似, 高于2D-FSE序列的评分(4.19±0.67 vs 3.84±0.90, P<0.05)且低于3D-FSE序列的图像评分(4.19±0.67 vs 4.24±0.88, P>0.05)。在图像的总质量评分中, GRASE序列略高于3D-FSE序列, 差异无统计学意义(4.29±0.83 vs

4.16±0.79, P>0.05), 两者均高于2D序列, 差异均有统计学意义(4.29±0.83 vs 3.73±0.72, P<0.05; 4.16±0.79 vs 3.73±0.72, P<0.05)。详细结果见表2。此外, 三种序列图像的SNR差异无统计学意义(P>0.05), GRASE序列的CNR、CR与3D-FSE序列相近, 差异无统计学意义(P>0.05), 但均高于2D-FSE序列, 差异均有统计学意义(P均<0.05)。综合主观评价和客观评价可以看出, GRASE序列的图像质量与3D-FSE序列接近, 高于2D-FSE序列。

在胆胰管各个分支的显示研究中, GRASE序列在胆总管、肝总管、左右肝管的显示能力与3D-FSE序列无差别。对于更细一级的小管道, GRASE序列在右肝管前支的显示能力不如3D-FSE序列(3.43±1.27 vs 3.86±1.13, P<0.05), 但在右肝管后支、左肝管内、外支的显示上, GRASE序列与3D-FSE序列无差别, 结果见图2。

两位医师之间图像分析的结果具有较好的一致性。图像伪影、背景抑制、总体质量的ICC分别为0.996、0.985和0.997, 各个胆胰管分支评分的ICC值最小值为0.781, 最大值为0.996, 均大于0.75。

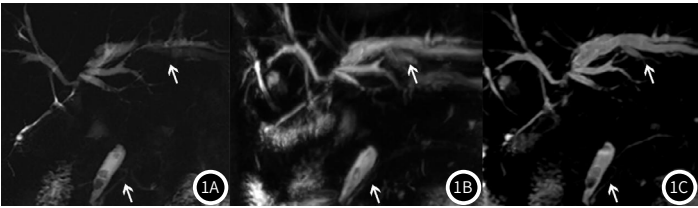


图1A-图1C 患者男, 65岁, 病史为胆囊切除术后, 肝内胆管多发结石, 伴肝内胆管扩张, 检查时存在呼吸不规则的问题。图1A 2D-FSE图像; 图1B 3D-FSE图像, 因患者呼吸不配合导致图像的运动伪影严重, 结石显示不清, 影响诊断效果; 图1C 3D-GRASE序列图像, 对胆胰管的分支和结石位置显示清晰, 诊断价值较高。

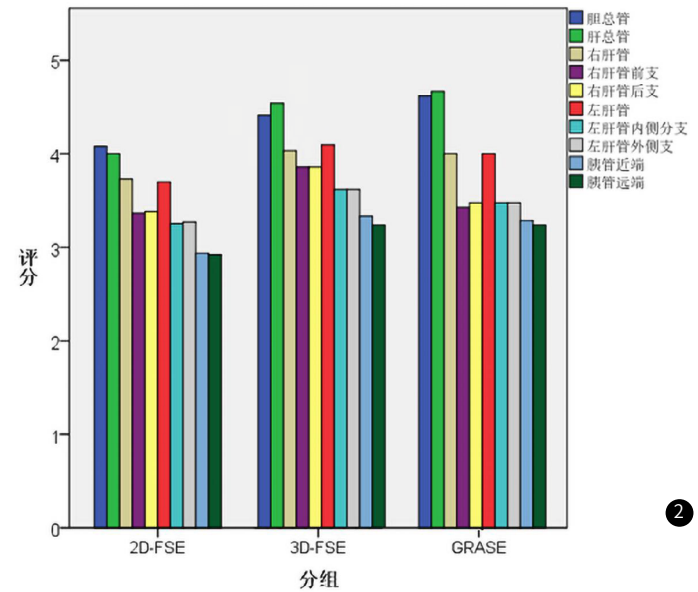


图2 三种序列胆胰管各个分支显示评分的柱状图

表2 三种序列图像的主观评分和客观评价结果

	2D-FSE(A)	3D-FSE(B)	GRASE(C)	P值		
				A vs B	A vs C	B vs C
SNR	17.16±6.34	18.29±9.93	17.71±9.25	0.466	0.721	0.709
CNR	19.65±11.27	24.39±13.33	24.23±12.22	0.032	0.038	0.941
CR	0.78±0.37	0.91±0.06	0.96±0.02	<0.001	<0.001	0.164
伪影	3.76±1.03	4.48±0.50	4.24±0.69	<0.001	0.001	0.085
背景抑制	3.84±0.90	4.24±0.88	4.19±0.67	0.007	0.018	0.745
总体质量	3.73±0.72	4.16±0.79	4.29±0.83	0.002	<0.001	0.363

表3 胆胰管各个分支的显示效果评分

胆胰管分支	2D-FSE(A)	3D-FSE(B)	GRASE(C)	P值		
				A vs B	A vs C	B vs C
胆总管	4.08±0.75	4.41±0.73	4.62±0.58	0.007	<0.001	0.095
肝总管	4.00±0.74	4.56±0.56	4.67±0.57	<0.001	<0.001	0.259
右肝管	3.73±0.87	4.03±0.98	4.00±0.82	0.06	0.092	0.842
右肝管前支	3.37±1.21	3.86±1.13	3.43±1.27	0.023	0.768	0.047
右肝管后支	3.38±1.22	3.86±1.13	3.48±1.27	0.028	0.659	0.079
左肝管	3.70±0.94	4.10±0.93	4.00±0.88	0.016	0.067	0.561
左肝管内支	3.25±1.24	3.62±1.14	3.48±1.23	0.091	0.302	0.507
左肝管外支	3.27±1.25	3.62±1.14	3.48±1.23	0.106	0.339	0.507
胰管近端	2.94±1.20	3.33±1.30	3.29±1.40	0.088	0.134	0.837
胰管远端	2.92±1.20	3.24±1.24	3.24±1.39	0.165	0.165	0.999

3 讨 论

GRASE序列在FSE序列的基础上,通过施加类似于平面回波(echo planar imaging, EPI)序列的正负交替读出梯度来加快数据的采集速度,使GRASE具有快速成像且无变形的优点,满足3D-MRCP快速扫描的需求。但磁共振设备的性能极大地影响了GRASE序列的效果,该序列自1991年被报道后,逐渐应用于脑部、心肌和肝脏,随着近几年设备的发展,逐渐有飞利浦机型中GRASE序列应用于MRCP的报道,取得了很好的效果^[23-26],但很少有其他设备的报道。本文采用的设备为联影公司的3.0T磁共振扫描仪(uMR790),其具有高性能的梯度场,可以进一步缩短GRASE序列的TE值,降低扫描时间。本研究中GRASE序列的扫描时间为15s,低于2D-FSE序列的20s,对比3D-FSE序列的3min50s,扫描时间减少了约93%,对于老年患者,减少了检查时间,提高了患者的舒适度。

在磁共振胆胰管成像技术中,2D-FSE序列具有快速高效的特点,可以在一个屏气时间内获得高清的胆胰管图像,但其缺点是只能从特定方向观察胆胰管的形态,存在影像重叠,且无法获得薄层原始图像,容易受部分容积效应的影响^[27-28]。相关研究表明,3D序列具有较高的信噪比和空间分辨率^[7-9]。本研究中,GRASE序列的CNR(24.23±12.22 vs 19.65±11.27)和CR(0.96±0.02 vs 0.78±0.37)均高于2D-FSE序列,差异均有统计学意义($P<0.05$),与前人的研究结果相符。依靠呼吸触发采集图像的3D-FSE序列,具有扫描时间较长,容易产生膈肌漂移和运动伪影,且容易受到患者呼吸不规律的影响的缺点。因此,在不降低图像质量的前提下,尽可能地缩短扫描时间才能满足老年患者的临床需求^[29]。GRASE序列可以在满足屏气扫描的前提下获得较高质量的图像。GRASE序列的图像在伪影抑制和背景抑制方面表现较好,在总体质量上与3D-FSE序列差异无统计学意义,且高于2D-FSE序列。这是因为GRASE序列较短的扫描时间和憋气的采集方式可以有效减少运动干扰,且GRASE序列对磁场的不均匀性不敏感。

2D-FSE序列受限于采集的方向,存在与肠道重叠的问题,而GRASE序列可以获取三维空间的数据,在重建时可以减少肠道的干扰。但由于T2衰减效应,GRASE序列可能存在小管道成像模糊的问题^[20]。在胆胰管各个分支的显示研究中,GRASE序列在胆总管、肝总管、左右肝管的显示能力与3D-FSE序列无差别。对于更细一级的小管道,GRASE序列在右肝管前支的显示能力不如3D-FSE序列(3.43±1.27 vs 3.86±1.13, $P<0.05$),但在右肝管后支、左肝管内、外支的显示上,GRASE序列与3D-FSE序列无差别。总体来看,GRASE序列在胆胰管的显示中符合诊断要求。小管道显示效果的提升可能与机器性能提升有关。以上研究结果说明GRASE序列可以在极短的时间内获取MRCP的三维数据,从而获得与呼吸触发序列质量不相上下的高清图像。MRCP在老年人的胆胰管疾病诊断中具有很高的准确性^[30]。老年患者因自身身体状况虚弱,不适合长时间检查。对于呼吸不规律但可以完成憋气动作的老年患者,可以优先考虑使用GRASE序列,甚至取代3D-FSE序列,在扫描流程优化方面具有很高的临床价值和应用前景。

本研究的不足之处是样本量较小,在以后的研究中,会纳入更多符合条件的患者。15s的憋气时间仍有改进的空间,进一步

的研究内容是在保证图像质量的前提下,改变序列参数,将扫描时间缩短至10s甚至10s之内。

综上所述,本研究对比了3D-GRASE、2D-FSE序列和3D-FSE序列在老年患者MRCP中的应用效果,GRASE序列可以在一次憋气内,获得胆胰管的3D图像,且图像质量与3D-FSE序列接近,高于2D-FSE序列,具有很强的应用前景,改进后有望成为老年患者MRCP扫描的常规序列。

参考文献

- [1] 顾松红,雷海燕,朱文钟,等. MRCP和ERCP对老年病人胆道结石诊断的对比分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2012, 10(5): 48-50.
- [2] Taylor A, Little A F, Hennessy O F, et al. Prospective assessment of magnetic resonance cholangiopancreatography for noninvasive imaging of the biliary tree[J]. Gastrointest Endosc, 2002, 55(1): 17-22.
- [3] Pamuklar E, Semelka R C. MR imaging of the pancreas[J]. Magn Reson Imaging Clin North Am, 2014, 52(2): 757-777.
- [4] 王润榕,杨毅,雷海燕,等. MRCP在评价肝内胆管变异与肝内胆管结石相关性中的应用[J]. 临床放射学杂志, 2010, 29(1): 58-61.
- [5] Limanond P, Raman S S, Ghobrial R M, et al. The utility of MRCP in preoperative mapping of biliary anatomy in adult-to-adult living related liver transplant donors[J]. J Magn Reson Imaging, 2004, 19(2): 209-215.
- [6] Nakaura T, Kidoh M, Maruyama N, et al. Usefulness of the SPACE pulse sequence at 1.5T MR cholangiography: comparison of image quality and image acquisition time with conventional 3D-TSE sequence[J]. J Magn Reson Imaging, 2013, 38(5): 1014-1019.
- [7] Sodickson A, Mortelet K J, Barish M A, et al. Three-dimensional fast-recovery fast spin-echo MRCP: comparison with two-dimensional single-shot fast spin-echo techniques[J]. Radiology, 2006, 238(2): 549-559.
- [8] Choi J Y, Kim M J, Lee J M, et al. Magnetic resonance cholangiography: comparison of two- and three-dimensional sequences for assessment of malignant biliary obstruction [J]. European radiology, 2008, 18(1): 78-86.
- [9] Kinner S, Alexander Dechéne, Ladd S C, et al. Comparison of different MRCP techniques for the depiction of biliary complications after liver transplantation[J]. Eur Radiol, 2010, 20(7): 1749-1756.
- [10] Feinberg D A, Oshio K. GRASE (gradient- and spin-echo) MR imaging: a new fast clinical imaging technique[J]. Radiology, 1991, 181(2): 597-602.
- [11] Sprinkart A M, Luetkens J A, Traber F, et al. Gradient spin echo (GrASE) imaging for fast myocardial T2 mapping[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2015, 17(1): 12.
- [12] Yoshikawa T, Mitchell D G, Hirota S, et al. Focal liver lesions: breathhold gradient- and spin-echo T2-weighted imaging for detection and characterization[J]. J Magn Reson Imaging, 2010, 23(4): 520-528.
- [13] Morimoto D, Hyodo T, Kamata K, et al. Navigator-triggered and breath-hold 3D MRCP using compressed sensing: image quality and method selection factor assessment[J]. Abdom Radiol (NY), 2020, 45(10): 3081-3091.
- [14] Kromrey M L, Funayama S, Tamada D, et al. Clinical evaluation of respiratory-triggered 3D MRCP with navigator echoes compared to breath-hold acquisition using compressed sensing and/or parallel imaging[J]. Magn Reson Med Sci, 2019, 19(4): 318-323.
- [15] Nam J G, Lee J M, Kang H J, et al. GRASE revisited: breath-hold three-dimensional (3D) magnetic resonance cholangiopancreatography using a gradient and spin echo (GRASE) technique at 3T[J]. Eur Radiol, 2018, 28(9): 3721-3728.
- [16] He M, Xu J, Sun Z, et al. Comparison and evaluation of the efficacy of compressed SENSE (CS) and gradient and spin echo (GRASE) in breath-hold (BH) magnetic resonance cholangiopancreatography (MRCP) [J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 51(3): 824-832.
- [17] 方芳,彭卓,熊念,等. 1.5T磁共振屏气梯度-自旋回波MRCP与自由呼吸自旋回波MRCP技术的对比研究[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2020, 49(4): 495-499.
- [18] 马锋,张树桐,谢元亮,等. 梯度自旋回波容积扫描与快速自旋回波容积扫描两种磁共振胰胆管成像技术对比研究[J]. 实用医学杂志, 2019, 35(9): 1487-1491.
- [19] Yoen H, Lee J M, Sang M L, et al. Comparisons between image quality and diagnostic performance of 2D- and breath-hold 3D magnetic resonance cholangiopancreatography at 3T[J]. Eur Radiol, 2021, 31(11): 8399-8407.
- [20] Chien C P, Chiu F M, Shen Y C, et al. Magnetic resonance cholangiopancreatography at 3T in a single breath-hold: comparative effectiveness between three-dimensional (3D) gradient- and spin-echo and two-dimensional (2D) thick-slab fast spin-echo acquisitions[J]. Quant Imaging Med Surg, 2020, 10(6): 1265-1274.
- [21] Jang W, Song J S, Sang H K, et al. Comparison of compressed sensing and gradient and spin-echo in breath-hold 3D MR cholangiopancreatography: qualitative and quantitative analysis[J]. Diagnostics, 2021, 11(4): 634.
- [22] McClellan T R, Motosugi U, Middleton M S, et al. Intravenous gadoxetate disodium administration reduces breath-holding capacity in the hepatic arterial phase: a multi-center randomized placebo-controlled trial[J]. Radiology, 2017, 282(2): 361-368.
- [23] 谭云,何兰,罗维,等. 两种三维MR胆胰管成像技术的应用价值比较[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(12): 1296-1300.
- [24] 李伟,全硕,张晓东,等. 压缩感知及梯度自旋回波序列优化3D MR胆胰管成像图像质量的可行性研究[J]. 中国介入影像与治疗学, 2022, 19(11): 720-724.
- [25] 万承豪,郝斌,陆云峰,等. 3D-GRASE序列联合阴性对比剂在MRCP中的应用价值初探[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2022, 28(4): 372-378.
- [26] 王玮,杨俊哲,李伟,等. 单次屏气梯度-自旋回波在三维泌尿系尿路成像中的应用:与常规三维呼吸触发自旋回波技术的对比研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(2): 153-158.
- [27] 张月浪,强永乾,孙兴旺,等. 单次激发放射状MRCP临床应用[J]. 实用放射学杂志, 2005, 21(1): 45-47.
- [28] 王润榕,杨毅,雷海燕,等. MRCP在评价肝内胆管变异与肝内胆管结石相关性中的应用[J]. 临床放射学杂志, 2010, 29(1): 58-61.
- [29] Chandarana H, Doshi A M, Shanbhogue A, et al. Three-dimensional MR cholangiopancreatography in a breath hold with sparsity-based reconstruction of highly undersampled data[J]. Radiology, 2016, 280(2): 585-594.
- [30] 梁盛忠,秦海燕,贾长玲,等. 高场磁共振胆胰管成像技术在老年胆道梗阻性疾病诊断中的应用价值[J]. 实用老年医学, 2015, 29(12): 1031-1033, 1052.

(收稿日期: 2022-04-25)

(校对编辑: 韩敏求)