

• 影像医学研究 •

基于压缩感知的3D CS-SPACE序列在肩锁关节损伤诊断中的应用价值

赵如盛¹, 王梦悦¹, 徐露露¹, 徐磊¹, 郝绍伟², 邹月芬^{1*}¹南京医科大学第一附属医院放射科, 江苏 南京 210029; ²西门子数字医疗科技(上海)有限公司应用培训部, 上海 200120

[摘要] 目的: 探讨三维可变翻转角快速自旋回波(sampling perfection with application optimized contrast using different flip angle evolution, SPACE)序列联合压缩感知(compressed sensing, CS)技术在肩锁关节损伤诊断中的应用价值。方法: 前瞻性纳入2023年5月—2024年2月在南京医科大学第一附属医院就诊的有肩部外伤史、临床怀疑肩锁关节损伤的患者34例, 对患者分别进行常规二维(two-dimension, 2D)磁共振序列和基于CS的3D CS-SPACE序列扫描。分别在两组图像上测量肱二头肌长头腱和肱骨骨髓腔的信号强度和标准差, 并计算出信噪比(signal to noise ratio, SNR)、对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR); 3位医生分别通过两组图像评估肩锁关节的损伤情况并给出其诊断信心评级。比较两组图像骨髓腔、肱二头肌长头腱的SNR、CNR以及诊断信心评级; 分别分析3位医生在常规2D图像中的诊断一致性和3D CS-SPACE图像中的诊断一致性, 最后评估两组图像之间的诊断一致性。结果: 图像质量的客观评价中, 3D CS-SPACE图像的SNR和CNR均明显优于常规2D图像; 两组图像诊断信心的评级, 2位医生的3D CS-SPACE图像评级明显高于常规2D图像, 1位医生评级差异无统计学意义; 3位医生在常规2D图像和3D CS-SPACE图像上对肩锁关节损伤的评估均具有较高的一致性(κ 均 >0.6), 两组图像对肩锁关节的损伤评估具有较高的一致性(κ 均 >0.6)。结论: 对于肩锁关节损伤的诊断, 3D CS-SPACE图像与常规2D图像具有较高的一致性, 且3D CS-SPACE序列能够在缩短扫描时间的同时获得更好的图像质量。

[关键词] 磁共振; 压缩感知; 肩锁关节; 损伤; 诊断**[中图分类号]** R445.2; R684**[文献标志码]** A**[文章编号]** 1007-4368(2024)09-1250-07**doi:** 10.7655/NYDXBNSN240473

Application value of 3D CS - SPACE sequence based on compressed sensing in the diagnosis of acromioclavicular joint injury

ZHAO Rusheng¹, WANG Mengyue¹, XU Lulu¹, XU Lei¹, HAO Shaowei², ZOU Yuefen^{1*}¹Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029; ²Customer Service Application, Siemens Healthineers Digital Technology(Shanghai) Co. Ltd., Shanghai 200120, China

[Abstract] **Objective:** To assess the value of sampling perfection with application optimized contrast using different flip angle evolution (SPACE) sequence combined with compressed sensing (CS) technique in the diagnosis of acromioclavicular joint injury. **Methods:** Total 34 patients with a history of shoulder trauma and suspected acromioclavicular joint injury in the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University were prospectively included from May, 2023 to February, 2024. Conventional 2D magnetic resonance sequence and 3D CS-SPACE sequence scanning based on CS were performed on the patients. Signal intensity and standard deviation of long head tendon of biceps and bone marrow cavity of humerus were measured on two sets of images, and SNR and CNR were calculated. Three doctors assessed the injuries of the acromioclavicular joint through two sets of images and gave their diagnostic confidence rating. The SNR, CNR of bone marrow cavity and biceps long tendon, and diagnostic confidence ratings were compared between the two groups. The diagnostic consistency of the three doctors in conventional 2D images and 3D CS-SPACE images was analyzed respectively, and the diagnostic consistency between the two sets of images was evaluated. **Results:** In the objective evaluation of image quality, SNR and CNR of 3D CS-SPACE image were obviously better than that of conventional 2D image. For the two groups of images, two doctors' ratings of 3D CS-SPACE images were significantly higher than those of conventional 2D images, and

[基金项目] 国家自然科学基金(81701652)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: zou_yf@163.com

one doctor's ratings had no significant difference. The three doctors demonstrated a strong agreement in the evaluation of acromioclavicular joint injury on both conventional 2D images and 3D CS-SPACE images ($\kappa > 0.6$), and there was a high consistency in the evaluation of acromioclavicular joint injury between the two groups of images ($\kappa > 0.6$). **Conclusion:** For the diagnosis of acromioclavicular joint injury, 3D CS-SPACE sequence images has high consistency with conventional 2D images, and 3D CS-SPACE sequence can shorten the scanning time and obtain better image quality.

[Key words] magnetic resonance imaging; compressed sensing; acromioclavicular joint; injury; diagnosis

[J Nanjing Med Univ, 2024, 44(09): 1250-1256]

肩锁关节是由肩胛骨肩峰关节面和锁骨肩峰端组成的微动关节,对手臂的运动起着重要的协同作用,其损伤在运动医学和创伤学中经常遇到,约占肩部损伤的12%^[1-2],目前,主要利用X线检查或磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)检查对其进行诊断。既往文献报道X线检查对低级别损伤的诊断具有局限性^[3],而MRI因具有较高的软组织分辨率,可以实现对肩锁关节脱位的准确Rockwood分型^[4-5]。在常规肩关节损伤的MRI检查中,主要利用二维(two-dimension, 2D)快速自旋回波(turbo spin echo, TSE)序列分别在轴、冠、矢3个平面进行T1加权像(T1-weighted image, T1WI)和质子密度加权像(proton density weighted image, PdWI)的扫描,因其扫描时间较长,容易产生运动伪影。三维可变翻转角快速自旋回波序列(sampling perfection with application optimized contrast using different flip angle evolution, SPACE)通过体积激励在相位编码的z轴方向上可以产生比2D更薄的切片^[6],继而允许在任意切面方向上进行多平面重建(multiplanar reconstruction, MPR);然而,受限于传统并行采集的加速倍数,SPACE的扫描时间亦较长,因此导致了其在MRI检查中难以常规开展^[7]。压缩感知(compressed sensing, CS)技术是近年来广泛应用于MRI中的快速成像技术,在既往研究中,CS与3D SPACE相结合的3D CS-SPACE序列在颅内血管壁、内耳、膝关节等方面均有应用^[8-10],而在肩锁关节损伤中鲜有报道,故本研究尝试对3D CS-SPACE序列和2D常规序列进行比较,以评估其在肩锁关节损伤诊断中的应用价值。

1 对象和方法

1.1 对象

收集2023年5月—2024年2月在南京医科大学第一附属医院就诊的有肩部外伤史或临床怀疑肩锁关节损伤的患者34例,其中,男20例、女14例,

年龄(45.4±13.4)岁(范围20~83岁)。本研究经南京医科大学第一附属医院伦理委员会批准(2023-SR-700),所有受检者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 MRI检查方案

所有扫描均采用西门子 Vida 3.0T 超导型磁共振和12通道相控阵肩部专用线圈,体位采用仰卧位头先进,手臂置于身体一侧,掌心向内并采用沙袋对患侧上肢进行固定。所有患者分别行常规2D轴、冠、矢3个平面的T1WI和PdWI扫描以及3D CS-SPACE冠状位的T1WI和PdWI序列扫描。上述PdWI均采用脂肪抑制技术;2D和3D CS-SPACE冠状位扫描均平行于喙突和肱骨小结节连线^[2]。2D序列总扫描时间为752 s,3D CS-SPACE序列总扫描时间为451 s,具体扫描参数见表1。

1.2.2 图像质量的客观评价

先由1位具有10年以上MRI扫描经验的技师将所得3D冠状位T1WI-SPACE和PdWI-SPACE图像沿常规2D轴位扫描方向进行MPR得到1 mm层厚的3D轴位T1-SPACE和Pd-SPACE图像^[11],然后由1位具有5年以上工作经验的医师在2D和3D轴位T1WI和PdWI图像上的肱骨结节间沟层面的肱二头肌长头腱和肱骨骨髓腔上勾画感兴趣区(region of interest, ROI),测量ROI的信号强度(signal intensity, SI)以及标准差(standard deviation, SD),其中肱二头肌长头腱ROI为2~5 mm²,骨髓腔ROI为1~2 cm²,ROI的勾画方法见图1。分别计算肱二头肌长头腱、骨髓腔的信噪比(signal to noise ratio, SNR)以及长头腱-骨髓腔的对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。计算公式如下^[12-13]:

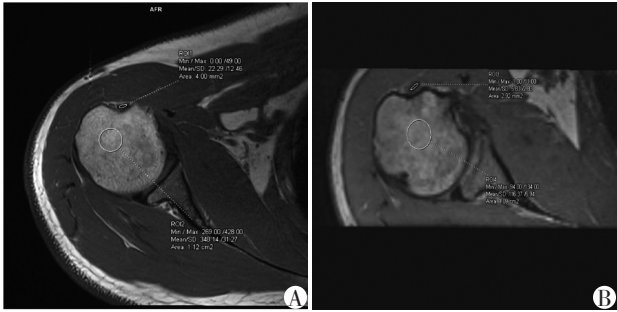
$$\text{SNR}_{\text{长头腱}} (\text{SNR}_L) = \frac{\text{SI}_{\text{长头腱}}}{\text{SD}_{\text{长头腱}}}; \text{SNR}_{\text{骨髓腔}} (\text{SNR}_B) = \frac{\text{SI}_{\text{骨髓腔}}}{\text{SD}_{\text{骨髓腔}}}; \text{CNR} = \frac{\text{SI}_{\text{骨髓腔}} - \text{SI}_{\text{长头腱}}}{\sqrt{\text{SD}_{\text{骨髓腔}}^2 + \text{SD}_{\text{长头腱}}^2}}。上述ROI测量均重复3次,取其均值后纳入公式计算。$$

表1 磁共振扫描参数

Table 1 Magnetic resonance scanning parameters

Parameter	2D						3D CS-SPACE	
	Axial		Coronal		Sagittal		Coronal	
	PdWI	T1WI	PdWI	T1WI	PdWI	T1WI	PdWI	T1WI
TR(ms)	3 050	512	3 450	470	2 790	470	1 000	400
TE(ms)	39	10	32	12	26	12	22	21
FOV(mm)	160×160	160×160	180×180	180×180	180×180	180×180	220×220	220×220
Thickness(mm)	3	3	3	3	3	3	1	1
Interval (mm)	0.6	0.6	0.9	0.9	0.6	0.6	0	0
Matrix(mm)	320×256	320×256	320×240	320×240	384×512	384×512	224×224	224×224
Time(s)	106	140	146	110	140	110	234	217
Accelerated factor(PI/CS)	2	2	2	2	2	2	3	3

Conventional 2D sequences were accelerated through parallel acquisition, whereas 3D CS-SPACE sequences employed compressed sensing for acceleration. PI: parallel imaging; CS: compressed sensing.



A: T1WI image of conventional 2D image. B: T1WI image of 3D CS-SPACE.

图1 感兴趣区域勾画示意图

Figure 1 Diagram of outlining the region of interest

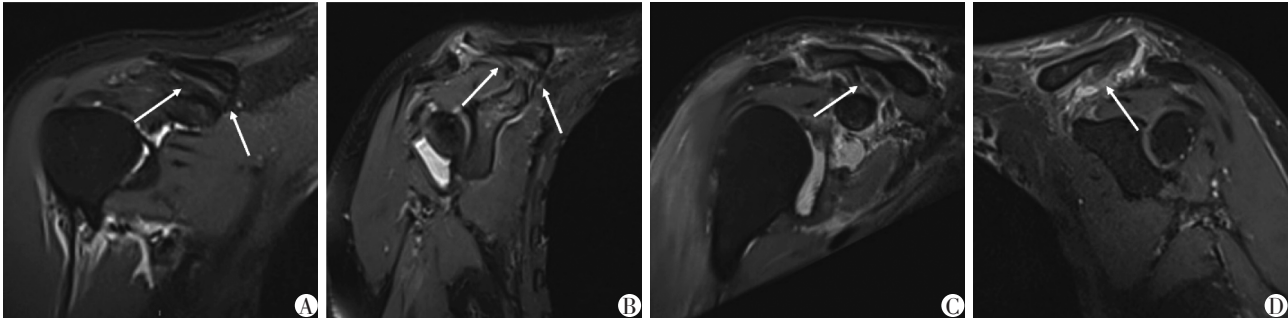
1.2.3 肩锁关节损伤的主观评价

由3位分别具有3年、5年和10年以上肌骨影像学阅片经验的放射科医师对肩锁关节的上肩锁韧带(superior acromioclavicular ligament, sACL)、下肩锁

韧带(inferior acromioclavicular ligament, iACL)、斜方韧带(trapezoid ligament, TL)、锥状韧带(conoid ligament, CL)进行诊断评估,并给出诊断信心评分。韧带损伤采用4分法进行评估(图2)。评估标准如下:1,正常;2,损伤肿胀;3,部分撕裂;4,完全撕裂。诊断信心评级同样采用4分法,其评级标准为:1,信心欠佳;2,信心一般;3,信心较足;4,信心充足。将常规2D图像和3D CS-SPACE图像分别交由上述3位医师进行诊断评估并得到各自的评分结果,然后由3位医师共同商量决定得到2D图像和3D CS-SPACE图像的诊断评估结果。上述医师进行个人评估时,均先对常规2D图像进行评估,间隔2周后再对3D CS-SPACE图像进行评估,评估时允许对3D CS-SPACE图像进行MPR。

1.3 统计学方法

使用SPSS 24.0统计软件进行分析,符合正态分



A: Grade 1(normal): the trapezoid ligament and conoid ligament indicated by arrows run continuously with normal signal. B: Grade 2(injury and swelling): ligament indicated by arrows runs continuously, with slightly elevated signal intensity in and around it. C: Grade 3(partial tear): the fiber bundles of the trapezoid ligament indicated by the arrow are still continuous. D: Grade 4(complete tear): the normal course of the trapezoid ligament indicated by the arrow is not visible, and the broken end is locally visible.

图2 韧带损伤分级示意图

Figure 2 Schematic diagram of ligament injury classification

布的计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)的形式表示,不符合正态分布的数据以中位数(四分位数)[$M(P_{25}, P_{75})$]表示。根据数据的正态性与否,统计学方法采用配对 t 检验或 Wilcoxon 配对秩和检验。采用肯德尔和谐系数来检验3位医生评估结果的一致性;利用 Kappa 检验分析2D和3D诊断结果的一致性。 κ 值的判断标准为: $\kappa < 0.4$ 时一致性较差; $0.4 < \kappa \leq 0.6$ 时一致性一般; $0.6 < \kappa \leq 0.8$ 时一致性较高; $\kappa > 0.8$ 时一致性近乎完美。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 图像客观评价结果

两组图像在PdWI序列扫描中的SNR_B、SNR_L、

CNR,及T1WI序列扫描中的SNR_B、SNR_L、CNR的 比较中,3D重建轴位图像均明显高于2D轴位图像,差异均具有统计学意义($P < 0.01$,表2)。

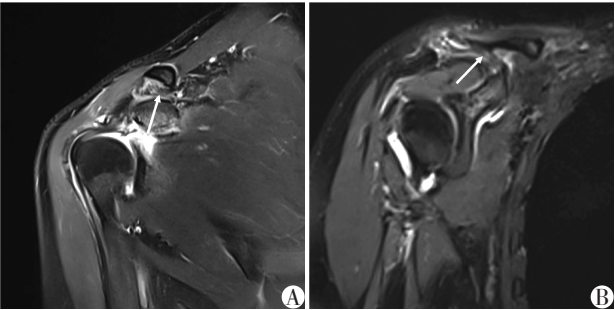
2.2 肩锁关节韧带损伤一致性评估结果

3位观察者在两组图像诊断信心的评级方面,其中两位低年资医师的评级结果显示3D CS-SPACE 图像高于常规2D图像(P 均 < 0.01 ,图3,表3),另一位高年资医师的评级结果显示两组图像的诊 断信心评级差异无统计学意义($P > 0.05$,表3)。在常规2D图像和3D CS-SPACE图像中,3位评估者对sACL、iACL和CL的评估结果均具有近乎完美的一致性(κ 均 > 0.8);3位评估者对TL的评估中,在常规2D图像上具有较高的一致性($\kappa = 0.80$),在3D CS-SPACE图像上具有近乎完美的一致性($\kappa = 0.90$,

表2 2D图像和3D CS-SPACE图像的SNR和CNR的比较
Table 2 Comparison of SNR and CNR for 2D images and 3D CS-SPACE images [M(P₂₅, P₇₅)]

Method	PdWI			T1WI		
	SNR _B	SNR _L	CNR	SNR _B	SNR _L	CNR
2D	5.64(4.81, 6.84)	1.08(0.79, 1.46)	3.64(2.84, 4.35)	14.09(10.98, 22.95)	2.32(1.83, 3.16)	12.70(10.23, 20.42)
3D CS-SPACE	12.33(9.96, 16.13)	2.58(1.90, 3.75)	4.77(3.84, 6.07)	30.02(22.18, 37.25)	3.80(2.61, 5.29)	23.65(17.20, 28.39)
z	5.09	4.98	4.81	5.03	3.43	5.00
P	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

SNR_B: SNR of bone marrow cavity; SNR_L: SNR of long head tendon.



A: The coronal position of conventional T2WI: the lateral trapezoid ligament indicated by the arrow was not clearly displayed locally, considering partial tear (grade 3), the diagnostic confidence was 2 points. B: 3D CS-SPACE PdWI coronal view: after MPR reconstruction of the image, it shows that the course of lateral trapezoid ligament indicated by the arrow remains continuous with increased signal, suggesting ligament damage and swelling (grade 2) and the diagnostic confidence was 4 points.

图3 2D图像和3D CS-SPACE图像的诊断信心评分示例图

Figure 3 Example diagram of diagnostic confidence rating for 2D images and 3D CS-SPACE images

表4);3位医生共同商讨后的韧带损伤评估结果见表5,评估结果显示在sACL、iACL、TL、CL的损伤评估中,常规2D图像与3D CS-SPACE图像之间均具有

表3 2D图像和3D CS-SPACE图像诊断信心的比较
Table 3 Comparison of diagnostic confidence between 2D images and 3D CS-SPACE images [M(P₂₅, P₇₅)]

Method	Observer 1	Observer 2	Observer 3
3D CS-SPACE	4(4,4)	4(4,4)	4(4,4)
2D	4(3,4)	3(3,3)	3(3,3)
z	1.94	5.21	5.20
P	>0.05	<0.01	<0.01

表4 不同观察者之间的一致性
Table 4 Consistency between different observers

Ligament	3D CS-SPACE		2D	
	κ	P	κ	P
sACL	0.96	<0.01	0.84	<0.01
iACL	0.97	<0.01	0.86	<0.01
TL	0.90	<0.01	0.80	<0.01
CL	0.95	<0.01	0.93	<0.01

较高的一致性(κ 均 > 0.6 ,表6),图4为1例41岁男性患者,外伤3 d后2D及3D CS-SPACE的MRI检查结果,3D CS-SPACE图像的评估结果与常规2D图像一致。

表5 2D图像和3D CS-SPACE图像评估韧带损伤的结果

Table 5 Evaluation of ligament injury results using 2D images and 3D CS-SPACE images

Ligament	2D				3D CS-SPACE			
	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4
sACL	4	7	10	13	4	7	10	13
iACL	7	10	4	13	6	8	5	15
TL	9	4	10	11	11	2	9	12
CL	11	5	5	13	13	3	6	12

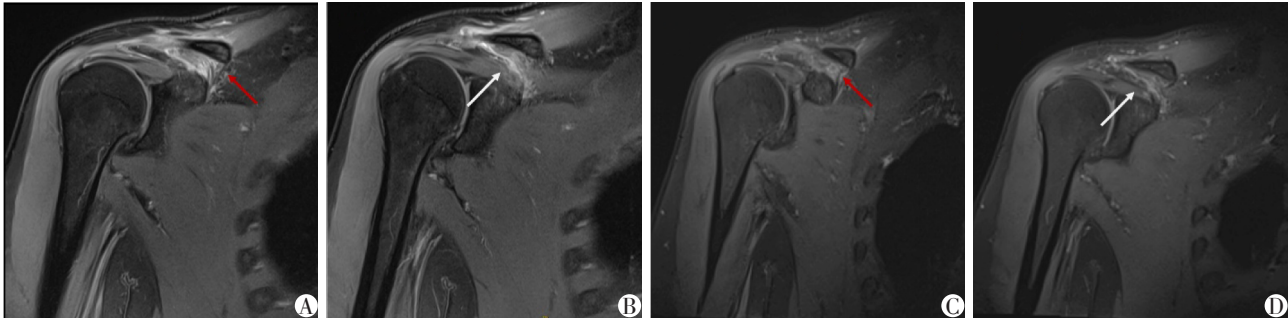
表6 2D图像和3D CS-SPACE图像诊断结果的一致性

Table 6 Consistency of diagnostic results between 2D images and 3D CS-SPACE images

Ligament	κ	P
sACL	1.00	<0.01
iACL	0.79	<0.01
TL	0.63	<0.01
CL	0.79	<0.01

3 讨论

SPACE序列是在传统的快速自旋回波序列基础上发展而来的3D扫描技术,采用<180°翻转角的重聚脉冲和非层面选择的射频脉冲,从而增加了回波链的长度,减少了射频能量吸收率(specific absorption rate, SAR)值,缩短了回波间隙,最终获得了高分辨率的三维容积数据。CS是一种新的MRI快



A, B: conventional PdWI images of 2D. C, D: PdWI images of 3D CS-SPACE. The conoid ligaments (red arrows) in images A and C were evaluated as grade 2 injury (swelling), while the trapezoid ligaments (white arrows) in images B and D were evaluated as grade 4 injury (complete tear).

图4 1例患者肩锁关节磁共振图像

Figure 4 The magnetic resonance image of the acromioclavicular joint in one patient

速成像技术,是对于具有可压缩性或者在某一变换域内具有稀疏性的信号,以远低于奈奎斯特采样定理标准的采样频率进行数据采集,同时利用k空间中心决定图像对比,k空间中心能量高度集中的特性,采用变化密度随机采样,使k空间中心数据采样密度高于周边密度,最后运用非线性迭代算法重建出无混叠伪影的高质量图像^[14]。在本研究中,将CS技术结合到SPACE序列中,成功地解决了单个SPACE序列扫描时间过长的弊端,继而使得本研究中3D CS-SPACE的扫描时间总计451 s,与常规2D序列三平面扫描总时间752 s相比,3D CS-SPACE序列缩短了40%的扫描时间。

3.1 常规2D和3D CS-SPACE图像质量的对比

在图像质量的客观评价中,定量测量时选择了肱二头肌长头腱作为测量目标,这是由于肩锁关节损伤

的患者其肩锁韧带和喙锁韧带多发生损伤或断裂,无法直接作为测量目标,因此选择信号强度与韧带相似的肱二头肌长头腱进行定量测量^[15]。在进行SNR和CNR的计算时采用所画ROI内组织信号的标准差作为该组织的噪声值,以此来代替背景噪声的大小,这样可以消除图像不同区域内背景信号不均匀带来的计算误差^[16]。基于以上方法,本研究结果显示,3D CS-SPACE图像的PdWI和T1WI的SNR_B、SNR_L、CNR均明显高于常规2D图像,此结果与王亚魁等^[17]的研究结果相同,其原因可能与CS技术有关^[18-20],其利用了信号稀疏性,通过设置阈值并反复进行非线性迭代运算,从而最大程度地去除噪声。

3.2 常规2D和3D CS-SPACE图像对肩锁关节损伤的诊断价值对比

在两种成像序列对肩锁关节的损伤评估方面,

3D CS-SPACE 图像与常规2D图像在评估sACL时获得了完全相同的评估结果($\kappa=1.00$),对iACL、TL、CL的损伤评估同样具有较高的一致性($\kappa>0.6$)。从3位观察者评估的一致性情况来看,3位观察者在3D CS-SPACE 图像和常规2D图像上对sACL、iACL、TL、CL的损伤评估均具有较高的一致性(κ 均 >0.6),且3D CS-SPACE 图像的一致性均高于常规2D图像。其可能因为观察者被允许对3D CS-SPACE 图像进行MPR,观察者可以根据评估需求沿目标韧带的走行方向进行重建。此外,在本研究中3D CS-SPACE 序列采用了 $1\text{ mm}\times 1\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ 的等体素扫描,这也避免了MPR时的解剖细节丢失。对于两组图像诊断信心的评级上,2位低年资医师对3D CS-SPACE 图像的診断信心高于常规2D图像,而高年资医师3D CS-SPACE 图像和常规2D图像的診断信心评级差异无统计意义,这可能与高年资医师有10年以上的阅片经验有关,丰富的阅片经验使其对常规2D图像的診断信心较高。

以上研究结果表明3D CS-SPACE 序列与常规2D序列之间具有较高的一致性,且3D CS-SPACE 序列具有更好的診断稳定性,使医生有更高的診断信心,在肩锁关节损伤診断中具有临床应用价值。

3.3 局限性

由于缺少临床手术结果作为金标准,本研究仅进行了不同观察者和不同方法间的一致性研究,对于两种成像方式的診断效能,还需在以后的研究中进一步探讨。

综上所述,3D CS-SPACE 序列能够缩短扫描时间,提高图像质量,且其診断结果与常规2D图像具有较高一致性,可以作为肩锁关节的扫描方法应用到临床診断中。

【参考文献】

[1] FLORES D V, GOES P K, GÓMEZ C M, et al. Imaging of the acromioclavicular joint: anatomy, function, pathologic features, and treatment[J]. Radiographics, 2020, 40(5): 1355-1382

[2] ALYAS F, CURTIS M, SPEED C, et al. MR imaging appearances of acromioclavicular joint dislocation[J]. Radiographics, 2008, 28(2): 463-479

[3] MANTRIPRAGADA S, BHAGWANI S, PEH W C, et al. Acromioclavicular joint injuries: imaging and management[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2020, 64(6): 803-813

[4] SCHAEFER F K, SCHAEFER P J, BROSSMANN J, et al. Experimental and clinical evaluation of acromioclavicular

joint structures with new scan orientations in MRI[J]. Eur Radiol, 2006, 16(7): 1488-1493

[5] ANTONIO G E, CHO J H, CHUNG C B, et al. Pictorial essay. MR imaging appearance and classification of acromioclavicular joint injury[J]. Am J Roentgenol, 2003, 180(4): 1103-1110

[6] FRITZ J, FRITZ B, THAWAIT G G, et al. Three-dimensional caipirinha space tse for 5-minute high-resolution MRI of the knee[J]. Invest Radiol, 2016, 51(10): 609-617

[7] DEL GRANDE F, DELCOGLIANO M, GUGLIELMI R, et al. Fully automated 10-minute 3d caipirinha space tse MRI of the knee in adults: a multicenter, multireader, multifield - strength validation study[J]. Invest Radiol, 2018, 53(11): 689-697

[8] ZHU C C, TIAN B, CHEN L G, et al. Accelerated whole brain intracranial vessel wall imaging using black blood fast spin echo with compressed sensing (CS-SPACE)[J]. Magma, 2018, 31(3): 457-467

[9] YUHASZ M, HOCH M J, HAGIWARA M, et al. Accelerated internal auditory canal screening magnetic resonance imaging protocol with compressed sensing 3-dimensional T2-weighted sequence[J]. Invest Radiol, 2018, 53(12): 742-747

[10] 宋春娟, 祁 良, 朱晓梅, 等. 基于3D-MATRIX序列的压缩感知技术在膝关节成像中的临床应用价值[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2019, 39(10): 1529-1532

[11] 陈 娇, 邹月芬, 宗 敏. 膝关节半月板损伤的磁共振诊断: 三维质子加权序列与二维序列的对比[J]. 临床放射学杂志, 2015, 34(1): 91-95

[12] 徐露露, 孙姗姗, 曹 达, 等. 几何校正平面回波成像用于改进颅脑弥散加权成像质量[J]. 中国医学影像技术, 2023, 39(8): 1234-1238

[13] ALTAHAWI F F, BLOUNT K J, MORLEY N P, et al. Comparing an accelerated 3D fast spin-echo sequence (CS-SPACE) for knee 3-T magnetic resonance imaging with traditional 3D fast spin-echo (SPACE) and routine 2D sequences[J]. Skeletal Radiol, 2017, 46(1): 7-15

[14] 武鹏飞, 鲁珊珊, 李 青, 等. 高分辨率压缩感知TOF-MRA技术对豆纹动脉成像的研究[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2023, 43(9): 1291-1294

[15] 向家鹏, 杨海燕, 杨 成, 等. MR 3D-FIESTA序列在显示肩关节周围韧带的价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2014, 20(4): 357-360

[16] LEE S H, LEE Y H, SUH J S. Accelerating knee MR imaging: compressed sensing in isotropic three-dimensional fast spin-echo sequence[J]. Magn Reson Imaging, 2018, 46: 90-97

- [17] 王亚魁,金笑,袁慧书. 压缩感知三维快速自旋回波序列诊断膝关节软骨损伤[J]. 磁共振成像, 2019, 10(5):352-355
- [18] AN L G, QIU J X, ZHOU Y, et al. Analysis of the sensitivity and specificity of compressed sensing magnetic resonance imaging in the diagnosis of heart failure[J]. J Thorac Dis, 2023, 15(4):1704-1715
- [19] TRAN A Q, NGUYEN T A, DOAN P T, et al. Parallel magnetic resonance imaging acceleration with a hybrid sensing approach [J]. Math Biosci Eng, 2021, 18(3):2288-2302
- [20] 赵红亮,唐小力,王亚魁,等. 优选膝关节压缩感知三维体素各向同性快速自旋回波采集序列成像加速系数[J]. 中国介入影像与治疗学, 2021, 18(9):553-557
- [收稿日期] 2024-05-08
(本文编辑:陈汐敏)

(上接第1249页)

- new cases and review of the literature[J]. Pediatr Neurosurg, 2001, 35(4):181-187
- [3] 姚阳,费小瑞,王林,等. 椎管内硬脊膜下蛛网膜囊肿的临床特点与外科手术治疗[J]. 立体定向和功能神经外科杂志, 2019, 32(4):211-214
- [4] JEREMY M V G, RORY M, KURTIS I A, et al. Extradural thoracic meningeal cyst without spinal dysraphism causing adulthood myelopathy: case illustration and review of the literature[J]. J Clin Neurosci, 2020, 78:433-438
- [5] 刘振武,刘利,颜继英. 胸腰段长节段硬膜外脊膜囊肿的诊断和治疗[J]. 中华神经外科杂志, 2012, 28(4):598-601
- [6] KOHEI T, TAKATO M, NOBUYA M, et al. Huge multiple spinal extradural meningeal cysts in infancy [J]. Childs Nerv Syst, 2019, 35(3):535-540
- [7] BARRETT B, CHRISTOPHER J L, GREGORY D S, et al. Extradural arachnoid cyst excision [J]. Clin Spine Surg, 2019, 32(10):E403-E406
- [8] 李新苗,傅林峰,王加伟,等. MRI脑脊液喷射征对椎管内硬膜外脊膜囊肿瘘口判断的价值[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(2):415-418
- [9] LIM M S, KHALIL A, OKAFO U, et al. Hemilaminectomy for large spinal extradural meningeal cysts: a case report and review of surgical techniques [J]. Ann R Coll Surg Engl, 2016, 98(8):e162-e164
- [10] 夏忠源,秦家骏,薛飞,等. 椎管内肿瘤半椎板切除后骨片回纳对患者的影响[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2021, 47(7):1033-1038
- [11] 孙志煌,江建,徐佳佳,等. 单侧双通道脊柱内镜下切除胸椎椎管内硬脊膜外蛛网膜囊肿1例报道并文献复习[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2024, 39(3):325-327
- [12] XU H, WANG L. Vertebral plate and ligament composite laminoplasty in spinal cord tumor surgery: analysis of 94 patients[J]. Transl Neurosci, 2021, 12:40-45
- [收稿日期] 2024-04-02
(本文编辑:唐震)