

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K10396

研究課題名（和文）上腹部領域のMRI撮像における超時短プロトコルの標準化

研究課題名（英文）Standardization of shortened abdominal MR imaging protocol

研究代表者

河合 信行（Kawai, Nobuyuki）

岐阜大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：20724561

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：高速MRI撮像では、画質劣化を抑えながら短い時間でいかに効率的に画像情報を収集するか、が重要となる。肝臓ダイナミック造影高速撮像では撮像時間を従来の約1/2に短縮しても画質劣化を最小限に止めることに成功し、呼吸停止困難な患者への応用が期待される結果であった。高速磁気共鳴胆管膵管撮像（MRCP）では撮像時間を従来の約1/4に短縮しても診断画像として十分な画質が担保されることを示した。肝細胞相における高速撮像においては従来に比し約2倍の空間分解能とすることで、診断能向上が期待された。また、撮像シーケンスそのものを省略しプロトコルのスリム化を行うことで、超時短プロトコルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

上腹部領域のMRI撮像において、圧縮センシングとパラレルイメージングを相補的に併用した技術が臨床応用可能であることを示した。上腹部MRI撮像では複数回の呼吸停止や長い撮像時間が問題とされているが、我々の研究成果は患者の苦痛軽減や臨床現場における検査効率（スループット）改善に寄与するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：It is important that magnetic resonance (MR) imaging with fast acquisition needs to acquire the image data effectively in less time under control of deterioration of image quality. Dynamic MR imaging of the liver with the Compressed SENSE achieved one-half of acquisition time compared to conventional methods without deterioration of image quality, the result of which was supposed to be applied to patients with compromised breath-hold capacity, such as young children or critically ill adults. We demonstrated that MR cholangiopancreatography (MRCP) with the Compressed SENSE was comparable with conventions in one-quarter of acquisition time. Hepatobiliary phase imaging with the Compressed SENSE achieved double spatial resolution compared with conventional methods in a same acquisition time, which indicated improvement of diagnostic performance. Furthermore, we constructed a shortened abdominal MR imaging protocol, which abbreviated sequences of no importance for diagnostic imaging.

研究分野：放射線医学

キーワード：MRI 圧縮センシング 腹部

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

核磁気共鳴画像(MRI)はコンピュータ断層画像(CT)と並んで現代医療に必須の技術である。特に MRI では高いコントラスト分解能により非侵襲的に生体情報を取得できる点から日常診療や研究に広く用いられている。しかし数分で撮像可能な CT に対して MRI では 15-30 分程度の撮像時間が必要であり、特に複数の撮像シーケンスを必要とする上腹部領域では検査時間が 40 分を超える場合もある。さらに体動や呼吸停止不良によるアーチファクトが強い場合には再撮像によりさらに撮像時間が延長する。これらの問題点を解決するためには k-space におけるデータ sampling 法を工夫することで、より高速化が可能となる。

本研究で着目した圧縮センシングとは、対象となる MRI 信号をできるだけ少ない k-space データ sampling から復元する技術のことであり、2007 年に初めて報告されている[1]。k-space のデータを不規則(random)に under sampling することでデータ収集数の削減を可能としている。規則的な under sampling より得た k-space データから再構成した画像には規則的なアーチファクトが出現する。しかし、不規則に under sampling した k-space のデータから画像を再構成する場合には、規則性を欠いた弱いアーチファクトが画像全体に出現する。この特徴を利用し、wavelet 変換による周波数解析やノイズ除去のための繰り返し演算(逐次近似)を行う。圧縮センシングではパラレルイメージングと異なり、高速化をしても信号強度の低下や画像劣化の程度が少ないことが特徴とされる。これらを踏まえ、圧縮センシングとパラレルイメージングを相補的に併用することで、高周波成分および低周波成分の両者を補う高速 MRI 撮像が可能となる。次世代の MRI 装置で臨床応用が始まる段階であり、国内外の関心は非常に高い。

上腹部領域の実質臓器診断においては gradient echo を用いたダイナミック撮像や呼吸同期法による T2 強調像、拡散強調像、磁気共鳴胆管膵管撮像(MRCP)等がルーチン撮像に含まれるため、呼吸停止時間や検査時間の延長に影響している。高齢、腹水症例、小児、悪性腫瘍などを有する患者では、長い呼吸停止が困難な症例も少なくない。また肝臓造影 MRI で用いられる肝細胞性造影剤ガドキセト酸ナトリウムについても、最近の Topics として、その使用自体で 17%-39%の症例に肝動脈優位相での呼吸停止不良によるアーチファクト(transient severe motion (TSM) アーチファクト)が生じたとの報告[2, 3]がなされ、健常者を対象とした多施設共同プラセボ対照試験でも同様の結果が示されている[4]。

我々はこれまでに、肝細胞癌診断におけるダイナミック造影 MRI 撮影時間の最適化[5]、転移性肝癌と肝血管腫の鑑別[6]、肝線維化診断[7-9]など、ガドキセト酸ナトリウム造影 MRI を用いた肝画像診断において多くの研究成果を発表してきた。また最近では高速 MRI 撮像法の応用に関しても積極的に取り組んできた。我々は次世代への挑戦的研究として、MRI 製造元である Philips 社の技術協力を得て、圧縮センシングとパラレルイメージングを併用した高速 MRI 撮像技術(Compressed SENSE)の臨床応用段階に入っており、そのプロトコル構築が大いに期待されている。この技術は MRI で撮像されるほぼ全てのシーケンスに応用が可能であるため、最も撮像時間の長い上腹部領域で最適化と標準化を行うことで、多くの撮像領域に用いることが出来る横断的なプロジェクトとなる可能性が非常に高い。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上腹部領域の MRI 撮像において Compressed SENSE を臨床応用し、撮像シーケンスの最適化を推進することで、超時短プロトコルを構築することである。

3. 研究の方法

本研究では、撮像シーケンスの最適化の観点から、(1)肝臓ダイナミック造影高速撮像、(2)高速 MRCP、(3)肝細胞相高速撮像、を推進した。また、最終的に(4)超時短プロトコルを構築した。

(1) 肝臓ダイナミック造影高速撮像

ガドキセト酸ナトリウム造影 MRI を施行された症例のうち、傾向スコアマッチングにて一致が得られた、高速撮像群 (CS-eTHRIVE ; n = 61) と従来法群 (eTHRIVE ; n = 61) を比較した。撮像パラメータは同一とし、reduction factor をCS-eTHRIVE にてeTHRIVE の2倍 (CS-eTHRIVE; 3.45 vs. eTHRIVE; 1.7) とすることで、acquisition time を1/2 (10秒 vs.20秒) とした。画質を定量および定性評価し、肝動脈優位相におけるTSMアーチファクトの出現率を比較した。

(2) 高速 MRCP

MRCP を撮像された連続症例のうち、基準を満たした58症例を対象とし、同一症例に対し、呼吸停止下従来撮像 (BH-MRCP)、呼吸同期従来撮像 (RT-MRCP)、呼吸同期高速 MRCP 撮像 (RT-MRCP_{cs}) の3撮像を行った。RT-MRCP_{cs} の reduction factor をBH-MRCP とRT-MRCP に対し3.75倍とすること (RT-MRCP_{cs}; 7.5 vs. BH-MRCP; 2 vs. RT-MRCP; 2) で、acquisition time はRT-MRCP_{cs} では45秒、BH-MRCP では23秒 (1呼吸停止)、RT-MRCP では3分21秒とした。画質を定量および定性評価し、3撮像法間で比較検討した。

(3) 肝細胞相高速撮像

ガドキセト酸ナトリウム造影 MRI を施行された連続60症例を対象とし、同一症例に対し、従来法 (eTHRIVE)、高速撮像法 (CS-eTHRIVE_{4mm})、高分解能高速撮像法 (CS-eTHRIVE_{2mm}) の3撮像を行った。Reduction factor をCS-eTHRIVE_{4mm} とCS-eTHRIVE_{2mm} にてeTHRIVE の2倍 (CS-eTHRIVE_{4mm}; 3.45 vs. CS-eTHRIVE_{2mm}; 3.45 vs. eTHRIVE; 1.7)、スライス厚をCS-eTHRIVE_{2mm} にてCS-eTHRIVE_{4mm} とeTHRIVE の1/2 (CS-eTHRIVE_{2mm}; 2mm vs. CS-eTHRIVE_{4mm}; 4mm vs. eTHRIVE; 4mm) とすることで、acquisition time をeTHRIVE では20秒、CS-eTHRIVE_{4mm} では10秒、CS-eTHRIVE_{2mm} では20秒とした。画質を定量および定性評価し、3撮像法間で比較検討した。

(4) 超時短プロトコル構築

ガドキセト酸ナトリウム造影 MRI での肝転移スクリーニングが必要とされた大腸癌68症例を対象とし、通常プロトコル (平均撮像時間27分; 21 - 44分) として in-phase/ opposed-phase T1 強調 GRE 像、脂肪抑制 3D T1 強調像 (非造影およびダイナミック)、呼吸同期下脂肪抑制 T2 強調像、heavily T2 強調像、拡散強調像を撮像した。肝細胞相はガドキセト酸ナトリウムの静脈注射後平均16分 (15 - 25分) で撮像され、得られた軸位断像から冠状断像を再構成した。短縮プロトコル (推定撮像時間10分以下) の画像セットとして heavily T2 強調像、軸位断および冠状断肝細胞相画像、および拡散強調像、通常プロトコルの画像セットは上記の通りとした (表1)。2名の放射線科医が2プロトコルそれぞれで肝結節の数、部位、および大きさを記録し、良悪性における確信度を5段階評価 (4または5を悪性) した。観察者内および観察者間の一致率評価に Weighted 検定を行った。また、2プロトコル間で肝転移検出における感度、陽性的中度 (PPV)、area under the curve (AUC) を比較した。

Sequence	abbreviated protocol	standard protocol
in-phase & opposed-phase T1-weighted GRE (axi)	×	○
3D FS T1-weighted FFE precontrast, 5, 45, 115 s post-contrast (axi)	×	○
respiratory-triggered FS T2-weighted (axi)	×	○
single-shot FS T2-weighted with TE of 150 ms (axi)	○	○
Diffusion-weighted with single-shot EP (b = 0, 800 & ADC map; axi)	○	○
3D FS T1-weighted FFE 15-25 min post-contrast (axi and reconstructed-cor)	○	○
acquisition time	< 10 min	27 min (21-44 min)

表1: 短縮プロトコルと通常プロトコルの比較

Note. -GRE = gradient echo. 3D = three dimensional. FS = fat suppressed. TE = echo time. EP = echo planar. ADC = apparent diffusion coefficient. FFE = fast field echo.

4. 研究成果

(1) 肝臓ダイナミック造影高速撮像

定量評価 (表2) では、CS-eTHRIVE はeTHRIVE とほぼ同等の結果であった。

定性評価 (表3) では、肝実質の視認性はCS-eTHRIVE はeTHRIVE とほぼ同等の結果であったが、モーションアーチファクトではCS-eTHRIVE にて改善を認め、総合画質評価にてCS-eTHRIVE に改善を認めた。

TSMアーチファクトの出現率はCS-eTHRIVE 9.8% (6/61) とeTHRIVE 18% (11/61) で、有意差を認めなかった (p = 0.191) が、高度のTSMアーチファクト (motion artifact score = 1) はCS-eTHRIVE 0% (0/61) に対しeTHRIVE 6.5% (4/61) と改善を認めた (p = 0.042) (図1)。

Parameter	Phase	CS-eTHRIVE	eTHRIVE	P value
SIR	NC	1.51 ± 0.20	1.51 ± 0.15	0.82
	HAP	1.72 ± 0.33	1.51 ± 0.29	0.002
	PVP	2.23 ± 0.34	2.03 ± 0.31	0.004
	LP	2.16 ± 0.29	2.02 ± 0.25	0.019
SNR	NC	17.8 ± 2.9	19.2 ± 6.0	0.18
	HAP	17.7 ± 3.4	14.9 ± 3.8	<0.001
	PVP	24.4 ± 4.7	26.0 ± 4.6	0.1
	LP	27.4 ± 6.0	27.7 ± 6.0	0.803

Note: Data are means ± 1 standard deviation. SIR = signal intensity ratio. SNR = signal-to-noise ratio. NC = noncontrast-enhanced phase. HAP = hepatic arterial phase. PVP = portal venous phase. LP = late phase.

表 2: 定量評価

Parameter	Phase	CS-eTHRIVE	eTHRIVE	P value
Homogeneity of liver parenchyma	NC	3.5 ± 0.6 (2-5)	3.3 ± 0.6 (2-5)	0.146
	HAP	3.5 ± 0.6 (2-5)	3.0 ± 0.8 (1-5)	0.001
	PVP	3.8 ± 0.5 (3-5)	3.8 ± 0.6 (2-5)	0.623
	LP	3.9 ± 0.5 (3-5)	3.8 ± 0.7 (2-5)	0.607
Sharpness of liver edge	NC	3.2 ± 0.5 (2-4)	3.3 ± 0.5 (2-4)	0.785
	HAP	3.4 ± 0.6 (2-4)	3.2 ± 0.7 (1-4)	0.057
	PVP	4.1 ± 0.4 (3-5)	3.9 ± 0.7 (3-5)	0.034
	LP	4.4 ± 0.5 (3-5)	4.1 ± 0.6 (3-5)	0.026
Sharpness of left external lobe	NC	3.4 ± 0.5 (2-4)	3.3 ± 0.5 (3-5)	0.209
	HAP	3.3 ± 0.7 (2-5)	3.2 ± 0.7 (2-5)	0.24
	PVP	3.8 ± 0.7 (3-5)	3.7 ± 0.6 (3-5)	0.367
	LP	3.9 ± 0.6 (3-5)	3.8 ± 0.6 (3-5)	0.172
Motion artifacts	NC	4.0 ± 0.8 (2-5)	3.2 ± 0.7 (2-5)	<0.001
	HAP	3.6 ± 1.0 (2-5)	2.6 ± 0.9 (1-5)	<0.001
	PVP	4.2 ± 0.6 (3-5)	3.6 ± 0.8 (2-5)	<0.001
	LP	4.3 ± 0.6 (3-5)	3.9 ± 0.6 (3-5)	0.003
Overall image quality	NC	3.6 ± 0.7 (2-5)	3.2 ± 0.6 (2-5)	0.005
	HAP	3.3 ± 0.8 (2-5)	2.6 ± 0.8 (1-5)	<0.001
	PVP	4.1 ± 0.5 (3-5)	3.6 ± 0.8 (2-5)	<0.001
	LP	4.1 ± 0.5 (3-5)	3.9 ± 0.5 (3-5)	0.029

Note: Data are means ± 1 standard deviation. Numbers in parentheses are ranges. SIR = signal intensity ratio. SNR = signal-to-noise ratio. NC = noncontrast-enhanced phase. HAP = hepatic arterial phase. PVP = portal venous phase. LP = late phase.

表 3: 定性評価

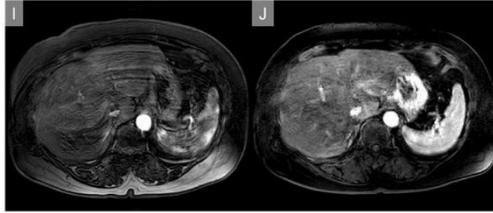


図 1: 同一症例における撮像シーケンス間での違い
eTHRIVE (I) では TSM アーチファクトを認めるが、CS-eTHRIVE (J) では認めない。

(2) 高速 MRCP

定量評価 (表 4) では、RT-MRCP、RT-MRCP_{CS}、BH-MRCP の順に高値を示した。

定性評価 (表 5) では、RT-MRCP と RT-MRCP_{CS} はほぼ同等の結果であったが、末梢胆管のみ RT-MRCP が優位であった (図 2)。BH-MRCP は総合画質評価にて RT-MRCP に対し有意に低値であった。

RCs	BH-MRCP	RT-MRCP	RT-MRCP _{CS}	P value
RHD	0.58 ± 0.12*	0.76 ± 0.14	0.64 ± 0.13†	<0.001
LHD	0.61 ± 0.09*	0.79 ± 0.10	0.68 ± 0.10†	<0.001
CBD	0.68 ± 0.06*	0.82 ± 0.07	0.72 ± 0.06†	<0.001
MPD (pancreatic head)	0.52 ± 0.16*	0.67 ± 0.15	0.58 ± 0.15†	<0.001
MPD (pancreatic body)	0.45 ± 0.17*	0.62 ± 0.16	0.53 ± 0.18†	<0.001
MPD (pancreatic tail)	0.31 ± 0.16*	0.53 ± 0.19	0.42 ± 0.20†	<0.001

Note: Data are means ± 1 standard deviation. RCs = relative duct-to-pancreatic contrast ratios, RHD = right hepatic duct, LHD = left hepatic duct, CBD = common bile duct, MPD = main pancreatic duct
*Value was significantly lower ($P < 0.0167$) than those of RT-MRCP and RT-MRCP_{CS} sequences.
†Value was significantly lower ($P < 0.0167$) than that of RT-MRCP sequence.

表 4: 定量評価

Parameter	BH-MRCP	RT-MRCP	RT-MRCP _{CS}	P value
Visibility				
central RHD	3.9 ± 1.0 (1-5)	4.1 ± 1.1 (1-5)	3.9 ± 1.0 (1-5)	0.06
central LHD	4.0 ± 0.9 (1-5)	4.2 ± 1.1 (1-5)	4.0 ± 1.0 (1-5)	0.14
peripheral RHD	3.5 ± 0.9* (2-5)	4.1 ± 1.1 (2-5)	3.5 ± 1.0* (2-5)	<0.001
peripheral LHD	3.5 ± 1.0* (2-5)	4.1 ± 1.0 (2-5)	3.5 ± 1.0* (2-5)	<0.001
CHD	4.2 ± 1.0 (1-5)	4.4 ± 1.0 (1-5)	4.4 ± 0.9 (1-5)	0.16
cystic duct	3.7 ± 0.9 (1-5)	3.7 ± 1.1 (1-5)	3.5 ± 1.1 (1-5)	0.39
CBD	4.4 ± 0.8 (1-5)	4.4 ± 0.9 (1-5)	4.4 ± 0.8 (1-5)	0.93
MPD	3.8 ± 0.9* (2-5)	4.2 ± 0.9 (2-5)	4.1 ± 1.0 (2-5)	0.004
pancreatic cystic lesion	3.9 ± 0.9 (2-5)	4.3 ± 0.9 (2-5)	4.3 ± 0.7 (3-5)	0.047
Motion artifacts	4.3 ± 1.1 (2-5)	4.3 ± 1.0 (2-5)	4.3 ± 0.9 (2-5)	0.77
Overall image quality	3.8 ± 0.8* (2-5)	4.3 ± 0.9 (2-5)	4.0 ± 0.9 (2-5)	0.001

Note: Data are means ± 1 standard deviation. Numbers in parentheses are ranges. RHD = right hepatic duct, LHD = left hepatic duct, CHD = common hepatic duct, CBD = common bile duct, MPD = main pancreatic duct
*Value was significantly lower ($P < 0.0167$) than that of RT-MRCP sequence.

表 5: 定性評価

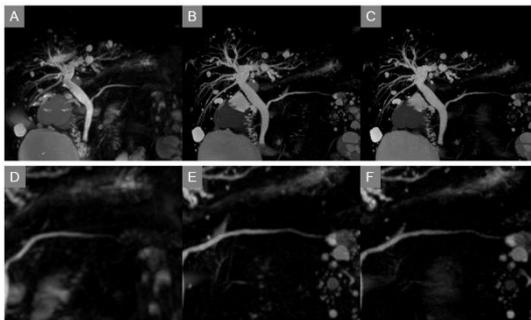


図 2: 同一症例における撮像シーケンス間での違い
約 1/4 の撮像時間で RT-MRCP_{CS} (C, E) は RT-MRCP (B, E) と同等の画質が得られた。一方、BH-MRCP (A, D) は前 2 者に比しやや劣る結果であった。

(3) 肝細胞相高速撮像

定量評価 (表 6) では、eTHRIVE、CS-eTHRIVE_{4mm}、CS-eTHRIVE_{2mm} の順に高値を示した。

定性評価 (表 7) では、CS-eTHRIVE_{2mm} が eTHRIVE、CS-eTHRIVE_{4mm} に比し有意に高値であった (図 3)。

Parameter	eTHRIVE	CS-eTHRIVE _{4mm}	CS-eTHRIVE _{2mm}	P value
SIR	2.98 ± 0.61	2.98 ± 0.54	3.11 ± 0.97	0.416
SNR	21.6 ± 5.54*	17.6 ± 3.74†	16.0 ± 3.71	<0.001

Note: Data are means ± 1 standard deviation. SIR = signal intensity ratio. SNR = signal-to-noise ratio.
*Value was significantly higher ($P < 0.001$) than those of CS-eTHRIVE_{4mm} and CS-eTHRIVE_{2mm} sequence.
†Value was significantly higher ($P < 0.0001$) than that of CS-eTHRIVE_{4mm} sequence.

表 6: 定量評価

Parameter	eTHRIVE	CS-eTHRIVE _{4mm}	CS-eTHRIVE _{2mm}	P value
Homogeneity of liver parenchyma	3.9 ± 0.9 (2-5)	3.9 ± 0.9† (2-5)	4.0 ± 0.9 (2-5)	0.025
Sharpness of liver edge	3.6 ± 0.7* (2-5)	3.9 ± 0.6† (3-5)	4.6 ± 0.6 (3-5)	<0.001
Sharpness of intrahepatic vessels	3.3 ± 0.7* (2-5)	3.6 ± 0.6† (2-5)	4.3 ± 0.8 (2-5)	<0.001
Sharpness of left external lobe	3.3 ± 0.6† (2-5)	3.3 ± 0.6† (2-5)	4.1 ± 0.7 (3-5)	<0.001
Motion artifacts	3.9 ± 1.0* (2-5)	4.2 ± 0.8 (2-5)	4.3 ± 0.8 (2-5)	0.001
Overall image quality	3.4 ± 0.7* (2-5)	3.7 ± 0.7† (2-5)	4.3 ± 0.8 (2-5)	<0.001

Note: Data are means ± 1 standard deviation. Numbers in parentheses are ranges.
*Value was significantly lower ($P < 0.0167$) than those of CS-eTHRIVE_{4mm} and CS-eTHRIVE_{2mm} sequence.
†Value was significantly higher ($P < 0.0167$) than that of CS-eTHRIVE_{4mm} sequence.

表 7: 定性評価



図3：同一症例における撮像シーケンス間での違い
CS-eTHRIVE_{2mm} (I) では、eTHRIVE (G) やCS-eTHRIVE_{4mm} (H) に比し、肝転移(→)や門脈(➤)が肝内胆管とよく分離されており、視認性が向上している。

(4) 超時短プロトコル構築

観察者内一致率は、観察者1で0.835、観察者2で0.901、短縮プロトコルにおける観察者間一致率は0.693であった。短縮プロトコルにおける感度、PPV、およびAUCは、観察者1で0.90 (93/103)、0.97 (93/96)、および0.932、観察者2で0.88 (91/103)、0.97 (91/94)、および0.923と非常に高く、2プロトコル間で有意差を認めなかった。

上記(1) - (3)の研究成果は、上腹部領域のMRI撮像において、圧縮センシングとパラレルイメージングを相補的に併用した技術が臨床応用可能であることを示し、時間分解能や空間分解能の向上に寄与するものと考えられた。また、上記(4)の研究成果は、短縮プロトコルは約1/3の撮像時間で通常プロトコルと同等の肝転移検出能が得られるという点で臨床に与えるインパクトは非常に大きい。上腹部MRI撮像では複数回の呼吸停止や長い撮像時間が問題とされているが、我々の研究成果は患者の苦痛軽減や臨床現場における検査効率(スループット)改善に寄与するものと考えられる。

引用文献

- [1] Lustig M, Donoho D, Pauly JM. Sparse MRI: The application of compressed sensing for rapid MR imaging. *Magnetic resonance in medicine* 2007;58(6):1182-95.
- [2] Davenport MS, Vigiante BL, Al-Hawary MM, Caoili EM, Kaza RK, Liu PS, et al. Comparison of acute transient dyspnea after intravenous administration of gadoxetate disodium and gadobenate dimeglumine: effect on arterial phase image quality. *Radiology* 2013;266(2):452-61.
- [3] Davenport MS, Caoili EM, Kaza RK, Hussain HK. Matched within-patient cohort study of transient arterial phase respiratory motion-related artifact in MR imaging of the liver: gadoxetate disodium versus gadobenate dimeglumine. *Radiology* 2014;272(1):123-31.
- [4] Motosugi U, Bannas P, Bookwalter CA, Sano K, Reeder SB. An Investigation of Transient Severe Motion Related to Gadoteric Acid-enhanced MR Imaging. *Radiology* 2016;279(1):93-102.
- [5] Goshima S, Kanematsu M, Kondo H, Shiratori Y, Onozuka M, Moriyama N, et al. Optimal acquisition delay for dynamic contrast-enhanced MRI of hypervascular hepatocellular carcinoma. *AJR American journal of roentgenology* 2009;192(3):686-92.
- [6] Goshima S, Kanematsu M, Watanabe H, Kondo H, Shiratori Y, Onozuka M, et al. Hepatic hemangioma and metastasis: differentiation with gadoxetate disodium-enhanced 3-T MRI. *AJR American journal of roentgenology* 2010;195(4):941-6.
- [7] Watanabe H, Kanematsu M, Goshima S, Kondo H, Onozuka M, Moriyama N, et al. Staging hepatic fibrosis: comparison of gadoxetate disodium-enhanced and diffusion-weighted MR imaging--preliminary observations. *Radiology* 2011;259(1):142-50.
- [8] Goshima S, Kanematsu M, Watanabe H, Kondo H, Kawada H, Moriyama N, et al. Gd-EOB-DTPA-enhanced MR imaging: prediction of hepatic fibrosis stages using liver contrast enhancement index and liver-to-spleen volumetric ratio. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI* 2012;36(5):1148-53.
- [9] Goshima S, Kanematsu M, Kobayashi T, Furukawa T, Zhang X, Fujita H, et al. Staging hepatic fibrosis: computer-aided analysis of hepatic contours on gadolinium ethoxybenzyl diethylenetriaminepentaacetic acid-enhanced hepatocyte-phase magnetic resonance imaging. *Hepatology (Baltimore, Md)* 2012;55(1):328-9.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nobuyuki Kawai, Satoshi Goshima, Yoshifumi Noda, Kimihiro Kajita, Hiroshi Kawada, Yukichi Tanahashi, Shoma Nagata, Masayuki Matsuo	4. 巻 57
2. 論文標題 Gadoxetic Acid-Enhanced Dynamic Magnetic Resonance Imaging Using Optimized Integrated Combination of Compressed Sensing and Parallel Imaging Technique	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Magnetic Resonance Imaging	6. 最初と最後の頁 111-117
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.mri.2018.11.004.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shoma Nagata, Satoshi Goshima, Yoshifumi Noda, Nobuyuki Kawai, Kimihiro Kajita, Hiroshi Kawada, Yukichi Tanahashi, Masayuki Matsuo	4. 巻 44(5)
2. 論文標題 Magnetic Resonance Cholangiopancreatography Using Optimized Integrated Combination With Parallel Imaging and Compressed Sensing Technique	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Abdominal Radiology	6. 最初と最後の頁 1766-1772
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00261-018-01886-0.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 河合信行, 五島聡, 梶田公博, 奥秋知幸, 本田真俊, 川田紘資, 野田佳史, 棚橋祐吉, 永田翔馬, 松尾政之
2. 発表標題 Gadoxetic acid-enhanced MRI with combined parallel imaging and compressed sensing reconstruction: part hepatobiliary phase imaging
3. 学会等名 第45回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河合信行, 五島聡, 梶田公博, 奥秋知幸, 本田真俊, 川田紘資, 野田佳史, 棚橋祐吉, 永田翔馬, 松尾政之
2. 発表標題 Gadoxetic acid-enhanced MRI with combined parallel imaging and compressed sensing reconstruction: part dynamic phase imaging
3. 学会等名 第45回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河合信行, 五島聡, 梶田公博, 奥秋知幸, 本田真俊, 川田紘資, 野田佳史, 棚橋祐吉, 永田翔馬, 松尾政之
2. 発表標題 Magnetic resonance cholangiopancreatography with combined parallel imaging and compressed sensing reconstruction compared to conventional MRCP
3. 学会等名 第45回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河合信行, 五島聡, 梶田公博, 奥秋知幸, 本田真俊, 川田紘資, 野田佳史, 棚橋祐吉, 永田翔馬, 松尾政之
2. 発表標題 Gadoxetic Acid-enhanced Dynamic MRI using Combined Parallel Imaging and Compressed Sensing Reconstruction Compared with Conventional Methods.
3. 学会等名 第77回日本医学放射線学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 永田翔馬, 五島聡, 河合信行, 梶田公博, 奥秋知幸, 本田真俊, 川田紘資, 野田佳史, 棚橋祐吉, 松尾政之
2. 発表標題 Magnetic Resonance Cholangiopancreatography with Combined Parallel Imaging and Compressed Sensing Reconstruction Compared with Conventional MRCP
3. 学会等名 第77回日本医学放射線学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyuki Kawai, Satoshi Goshima, Kimihiro Kajita, Tomoyuki Okuaki, Masatoshi Honda, Hiroshi Kawada, Yoshifumi Noda, Yukichi Tanahashi, Shoma Nagata, Masayuki Matsuo
2. 発表標題 Gadoxetic acid-enhanced dynamic MR imaging using optimized integrated combination with parallel imaging and compressed sensing technique.
3. 学会等名 26th Annual Meeting of International Society of Magnetic Resonance in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyuki Kawai, Satoshi Goshima, Kimihiro Kajita, Tomoyuki Okuaki, Masatoshi Honda, Hiroshi Kawada, Yoshifumi Noda, Yukichi Tanahashi, Shoma Nagata, Masayuki Matsuo
2. 発表標題 Hepatobiliary phase imaging using optimized integrated combination with parallel imaging and compressed sensing technique.
3. 学会等名 26th Annual Meeting of International Society of Magnetic Resonance in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyuki Kawai, Satoshi Goshima, Kimihiro Kajita, Tomoyuki Okuaki, Masatoshi Honda, Hiroshi Kawada, Yoshifumi Noda, Yukichi Tanahashi, Shoma Nagata, Masayuki Matsuo
2. 発表標題 Magnetic resonance cholangiopancreatography using optimized integrated combination with parallel imaging and compressed sensing technique compared with conventional MRCP.
3. 学会等名 26th Annual Meeting of International Society of Magnetic Resonance in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河合信行, 五島聡, 野田佳史, 梶田公博, 川田紘資, 棚橋祐吉, 松尾政之
2. 発表標題 Interface analysis of the liver and focal hepatic lesions in HBP: a comparison between free-breathing radial and conventional breath-hold acquisition technique.
3. 学会等名 第46回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河合信行, 五島聡, 野田佳史, 梶田公博, 川田紘資, 棚橋祐吉, 永田翔馬, 松尾政之
2. 発表標題 Interface analysis of the liver and focal hepatic lesions in HBP: a comparison between free-breathing radial and conventional breath-hold acquisition technique.
3. 学会等名 第78回日本医学放射線学会総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuyuki Kawai, Satoshi Goshima, Yoshifumi Noda, Kimihiro Kajita, Hiroshi Kawada, Yukichi Tanahashi, Shoma Nagata, Masayuki Matsuo
2. 発表標題 Interface Analysis of the Liver and Focal Hepatic Lesions in Hepatobiliary Phase Imaging: A Comparison between Freebreathing Radial and Conventional Breath-hold Acquisition Technique.
3. 学会等名 27th Annual Meeting of International Society of Magnetic Resonance in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuyuki Kawai, Yoshifumi Noda, Satoshi Goshima, Keita Fujimoto, Kimihiro Kajita, Hiroshi Kawada, Yukichi Tanahashi, Masayuki Matsuo
2. 発表標題 Optimized Colorectal Liver Metastasis Screening: Diagnostic Performance of an Abbreviated Gadoteric Acid-enhanced MR Imaging Protocol.
3. 学会等名 28th Annual Meeting of International Society of Magnetic Resonance in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nobuyuki Kawai, Yoshifumi Noda, Satoshi Goshima, Keita Fujimoto, Kimihiro Kajita, Hiroshi Kawada, Masayuki Matsuo
2. 発表標題 Optimized Colorectal Liver Metastasis Screening: Diagnostic Performance of an Abbreviated Gadoteric Acid-enhanced MR Imaging Protocol.
3. 学会等名 第48回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	五島 聡 (Goshima Satoshi) (90402205)	浜松医科大学・医学部・教授 (13802)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	野田 佳史 (Noda Yoshifumi) (60643020)	岐阜大学・医学部附属病院・助教 (13701)	
研究 分担者	棚橋 裕吉 (Tanahashi Yukichi) (40724563)	岐阜大学・医学部附属病院・助教 (13701)	
研究 分担者	川田 紘資 (Hiroshi Kawada) (00585276)	岐阜大学・医学部附属病院・講師 (13701)	
研究 分担者	子安 裕美 (Koyasu Hiromi) (70610426)	岐阜大学・大学院医学系研究科・非常勤講師 (13701)	削除：2019年6月24日
研究 分担者	松尾 政之 (Masayuki Matsuo) (40377669)	岐阜大学・大学院医学系研究科・教授 (13701)	