

氏名（本籍）	加賀徹郎	（岐阜県）
学位の種類	博士（医学）	
学位授与番号	甲第1233号	
学位授与日付	令和5年3月25日	
学位授与要件	学位規則第4条第1項該当	
学位論文題目	Diffusion-weighted imaging of the abdomen using echo planar imaging with compressed SENSE: Feasibility, image quality, and ADC value evaluation	
審査委員	（主査）教授	松橋 延壽
	（副査）教授	森田 浩之 教授 千田 隆夫

論文内容の要旨

Magnetic resonance imaging (MRI) 検査における拡散強調像 (DWI) の有用性は、腫瘍の検出や良悪性の鑑別、急性期脳梗塞の診断などで広く認知されている。DWI の撮像シーケンスとして echo planar imaging (EPI) 法が広く普及しているが、低分解能、低信号雑音比、画像の歪みといった課題が存在する。

MRI 撮像において用いられているアンダーサンプリングとは MRI の撮像時間を短縮するための方法の一つであり、k 空間上での波形収集を間引いて収集回数を減らすことによって撮像速度を高めることができる。使用者は波形収集を間引く度合いに応じた Acceleration factor を任意に設定することができるが、Acceleration factor を高く設定した際には撮像時間短縮に対するトレードオフとして信号対雑音比の低下やアーチファクトが生じる。アンダーサンプリング法の一つであるパラレルイメージング (PI) は、複数のフェイズドアレイコイルを用いて k 空間上で等間隔にアンダーサンプリングを行うものである。EPI 法を用いた DWI に PI を併用 (PI-DWI) することによって、高速化だけでなく歪みを低減できることが知られている。一方、PI-DWI では過度の acceleration factor の設定により、geometric factor related noise と呼ばれる帯状のアーチファクトが生じることや、信号対雑音比が低下することも知られている。

近年、ランダムアンダーサンプリング法である Compressed Sensing が臨床応用可能となり、更なる撮像時間の短縮とノイズ低減が可能となった。加えて、Compressed Sensing の一つである Compressed SENSE (Philips Healthcare) がこれまで併用不可能であった EPI 法との併用が可能となった (EPICS; Philips Healthcare)。しかし、EPICS を用いて撮像された DWI (EPICS-DWI) の臨床応用についてまとめられた論文は現在ところ無い。そこで我々は、腹部領域における PI-DWI と EPICS-DWI の画質および apparent diffusion coefficient (ADC) 値について比較検討を行った。

【対象と方法】

2020年10月から2020年12月の間に当院で腹部MRIを撮像された46名を対象とした。対象患者に対してPI-DWIとEPICS-DWIをそれぞれ下記撮像条件において撮像し、それぞれに対して定性評価と定量評価を行った。

定性評価：ノイズ、肝臓輪郭描出、膵臓輪郭描出を2名の放射線科医がそれぞれ5段階で評価した。
定量評価：肝実質、膵実質、脾実質のADC値とその標準偏差を上記の2名の放射線科医がそれぞれ計

測し、変動係数を次式により算出した。

変動係数 = 標準偏差 / ADC 値

MRI 撮像条件 : 3.0T MR system (Ingenia 3.0T CX; Philips Healthcare) , repetition time/echo time, 5, 000/64 ms; matrix, 192 × 154; field of view, 38 × 30 cm; SENSE or Compressed SENSE factor, 3.0; b values, 0, 200, and 800 s/mm²; number of sample averaged, 2.0 for $b = 0$ and 200 s/mm² and 4.0 for $b = 800$ s/mm²; section thickness, 7 mm with 0-mm intersection gap; and acquisition time for 30 sections, 105 s

【結果】

ノイズ、肝臓輪郭描出、膵臓輪郭描出はいずれも PI-DWI と比較して EPICS-DWI が優れていた ($P < 0.001$)。ADC 値は肝実質、膵実質ともに PI-DWI と比較して EPICS-DWI で有意に高値を示した ($P < 0.001$)。一方、脾実質の ADC 値は両者に有意差を認めなかった ($P = 0.46$ and 0.059)。標準偏差は肝実質、膵実質ともに PI-DWI と比較して EPICS-DWI で有意に低値であった ($P < 0.001$)。変動係数は、肝実質では PI-DWI と比較して EPICS-DWI で有意に低値を示し ($P < 0.001$)、膵実質では放射線科医 2 でのみ EPICS-DWI で有意に低く ($P < 0.001$)、放射線科医 1 では有意差は認められなかった ($P = 0.09$)。

【考察】

EPICS-DWI では PI-DWI と比較し有意に画質が向上した。これは、Compressed SENSE の特徴である Wavelet 変換を基本としたノイズ除去によって geometric factor related noise が低減された結果、EPICS-DWI では画質が向上したと考えられる。また、EPICS-DWI では PI-DWI と比較して高い ADC 値及び低い標準偏差を示した。これは Compressed SENSE によるノイズ低減が ADC 値に影響を与えており、ノイズの影響を抑えることで正確な値に近づいているためと考える。ただし、EPICS-DWI による ADC 値の上昇が臨床利用に及ぼす影響については今後のさらなる評価が必要である。

【結論】

腹部領域での検討において、EPICS-DWI は PI-DWI に比較して有意に画質を向上させた。また、肝実質、膵実質における ADC 値は EPICS-DWI において PI-DWI と比較し有意に高く、ノイズ低減も確認された。

論文審査の結果の要旨

申請者 加賀 徹郎 は、MRI のシーケンスの 1 つである DWI において、EPICS という新たな撮像方法を用いた EPICS-DWI と従来法である PI-DWI を比較し、EPICS-DWI の腹部領域における有用性を明らかにした。EPICS-DWI は PI-DWI に比較して著明なノイズ低減を実現し、有意に画質を向上させた。また EPICS-DWI では PI-DWI に比較して ADC 値が高くなることを明らかにした。本研究の成果は、EPICS-DWI の臨床応用によって得られる利点と臨床応用に向けた課題を示唆するものであり、放射線医学、特に放射線画像診断学の発展に少なからず寄与するものと認められる。

[主論文公表誌]

Tetsuro Kaga, Yoshifumi Noda, Takayuki Mori, Nobuyuki Kawai, Hirota Takano, Kimihiro Kajita, Masami Yoneyama, Yuta Akamine, Hiroki Kato, Fuminori Hyodo, Masayuki Matsuo: Diffusion-weighted imaging of the abdomen using echo planar imaging with compressed SENSE: Feasibility, image quality, and ADC value evaluation

European Journal of Radiology, vol.142:109889 (2021). DOI: 10.1016/j.ejrad.2021.109889