

令和 5 年 5 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K10314

研究課題名（和文）Compressed sensingを用いた頭頸部病変の高時間分解能血流動態評価

研究課題名（英文）High temporal resolution hemodynamic evaluation of head and neck lesions using compressed sensing

研究代表者

加美 由紀子（Kami, Yukiko）

九州大学・歯学研究院・助教

研究者番号：60552023

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：近年登場したMRIの高速撮像法であるCompressed Sensing(CS)を用いて頭頸部領域の病変が正確に描出されることを証明するために、まず、CSを用いて撮像した画像が、従来のMR画像と比較して同等あるいは高いSNRを保ち、病変の検出やイメージクオリティに関して遜色ない画質であることを確認して国際雑誌に発表した（Acta Radiologica Open 2020）。さらに、CSを使用して取得した3Dデータから再構成した2D画像が、従来の2D画像やCTで取得した画像と比較して十分な信頼性を有することを証明し、国際雑誌で発表した（European Radiology 2023）。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、CSという新たな高速撮像法を顎顔面領域に取り入れ、2D撮像の1/3以下の時間で3D画像を取得し、その画像が臨床的に十分有用であることを示した。過去研究ではMRIは口腔癌の浸潤範囲をoverestimateしていると報告されているが、本手法では、病理所見との比較によりoverestimateが抑制されていることを示した。この要因として、高速撮像により口腔癌の造影タイミングに合わせたデータ取得が可能となったことが考えられた。我々が示した手法は腫瘍の浸潤範囲を正確に描出するための標準的な画像診断法となる可能性があり、その臨床的意義は大きく、口腔癌の画像診断の発展に大きく寄与すると考える。

研究成果の概要（英文）：To prove that lesions in the head and neck region can be accurately delineated using Compressed Sensing (CS), a recently introduced high-speed MRI imaging method, we first confirmed that images taken using CS have comparable or higher SNR than conventional MR images and are comparable in terms of lesion detection or image quality. The results were published in an international journal (Acta Radiologica Open 2020). Furthermore, we proved that 2D images reconstructed from 3D data acquired using CS are sufficiently reliable compared to conventional 2D images and images acquired using CT, and the results were published in an international journal (European Radiology 2023).

研究分野：歯科放射線学

キーワード：MRI compressed sensing 口腔癌

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年登場した MRI の高速撮像法である Compressed Sensing (CS) を用いて、撮像時間を大幅に短縮した画像取得が可能となった。しかしながら、顎顔面領域の病変に対して CS を用いた画像が臨床的に有用であるかを検証した研究は無い。顎顔面領域は、歯科用金属や副鼻腔などの空気によるアーチファクト、舌や顎の動きによるアーチファクトなどの影響が大きく、それらの影響等も確認する必要がある。

従来の MR 画像と遜色ない画像が短時間で取得できれば、スループットの向上や患者負担の軽減が期待される。

(2) これまで、MRI は顎顔面領域の腫瘍性病変の浸潤範囲を過大評価する傾向にあると報告されてきた。これは、MRI の撮像時間が長く、腫瘍に到達した造影剤が腫瘍周囲の炎症や浮腫領域に移行し、この領域も腫瘍と同等の信号で描出されているためだろうと考えられている。高速撮像により、Time Intensity Curve (TIC) 研究で明らかとなった造影剤の腫瘍到達時間にあわせた信号変化を捉えることができれば、造影剤が腫瘍周囲に移行する前の画像、すなわち腫瘍の浸潤範囲を正確に描出した画像を取得できるのではないかと考えた。

### 2. 研究の目的

CS を用いて、従来よりも短時間で高速撮像した頭頸部病変の画像が、十分な信頼性をもち、臨床的に有用であることを証明する。そのために、

(1) CS の画像評価をおこない、頭頸部領域において高速撮像した CS 画像が従来の画像と比較して十分な画質を有するか否かを検討する。

(2) CS を使用して取得した 3D 画像データから再構成した 2D 画像が、従来のシーケンスで取得された 2D 画像や CT で取得した画像と比較して信頼性を有するか否かを検討する。また、病理組織と比較して、CS 画像が病変を正確に描出し、臨床的に十分有用であるかを検討する。

### 3. 研究の方法

(1) 3D T1 turbo field echo with compressed SENSE (CS-3D-T1TFE) シーケンスと、従来の multi-slice spin echo (MS-SE) シーケンスとを比較することで、顎顔面領域における CS 併用 MRI の有用性を検証した。

対象は、顎顔面病変に対し MS-SE と CS-3D-T1TFE の撮像がおこなわれた患者 30 名。MS-SE と CS-3D-T1TFE のスキャン時間は、それぞれ 5 分 56 秒と 1 分 43 秒であった。定量分析ではそれぞれの画像の SNR を算出し、定性分析では 2 名の歯科放射線科医が 7 つのパラメータ (degree of lesion conspicuity, motion artifacts, metal artifacts, pulsation artifacts, quality of fat suppression, homogeneity of blood vessel signal intensity, and overall image quality) に対して 5 段階評価をおこなった。MS-SE と CS-3D-T1TFE の比較には paired t-test を用いた。

(2) 手術前に CS-3D-T1TFE を含む MRI と MDCT 検査を受けた下顎扁平上皮癌 (SCC) 患者 24 名を対象とした。CS-3D-T1TFE 画像は造影直後に撮像時間 1 分 43 秒で取得された。

CS-3D-T1TFE 画像、MDCT 骨モードおよび軟組織モードの水平断と、それぞれの画像データから作成した、0.5mm 厚の冠状断および歯列に対し垂直・水平な再構成画像を評価画像とした。

#### 骨浸潤評価

2 名の歯科放射線科医が皮質骨、海綿骨、下顎管を指標とした 3 つのカテゴリ (BI-1、BI-2、BI-3 BI: Bone Invasion) を用いた骨浸潤評価を行い、加重カッパ統計 ( ) により評価者間の一致度を検証した。また、24 例中手術を受けた 20 例については、病理医による同様の 3 つのカテゴリを用いた病理学的評価との相関をピアソンの相関係数 (r) により検証した。

#### 軟部組織浸潤評価

2 名の歯科放射線科医が顎舌骨筋、歯肉口唇 (頬) 溝移行部、咀嚼筋隙への浸潤の有無を診断し、カッパ統計 ( ) により評価者間の一致度を検証した。

### 4. 研究成果

(1) CS-3D-T1TFE の SNR は、MS-SE の SNR と同等以上であった。CS-3D-T1TFE の motion artifacts、pulsation artifacts、homogeneity of blood vessel signal intensity のスコアは、両観察者の評価において、対応する MS-SE スコアよりも高かった。脂肪抑制の MS-SE スコアは CS-3D-T1TFE

スコアと同等かそれ以上であった。lesion conspicuity, metal artifacts, overall image quality については、両シーケンス間で有意差はなかった。結論として、CS-3D-T1TFE は、MS-SE の30%以下のスキャン時間で、同等以上のSNR と画質を維持しながら、画像劣化がないことが確認された。

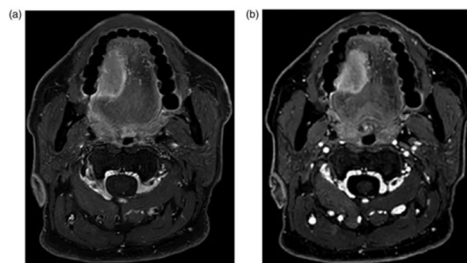


Fig. 2. A 60-year-old man with right tongue squamous cell carcinoma. Imaging was performed with the MS-SE sequence (a) and the CS-3D-T1TFE sequence (b). Both images delineate the tongue lesions clearly. Blood vessels are more clearly on the CS-3D-T1TFE image than the MS-SE. CS-3D-T1TFE, three-dimensional T1 turbo field echo with compressed SENSE; MS-SE, multi-slice spin echo.

Table 1. SNR of MS-SE and CS-3D T1TFE.

	SNR		
	MS-SE	CS-3D-T1TFE	P*
Right tongue root	20.92 ± 7.14	20.67 ± 8.11	0.8945
Left tongue root	20.26 ± 5.69	18.75 ± 7.00	0.2734
Right masseter muscle	15.36 ± 5.99	21.99 ± 9.10	0.0003
Left masseter muscle	15.67 ± 5.37	20.85 ± 6.79	<0.0001
Right medial pterygoid muscle	13.32 ± 4.76	18.46 ± 6.39	0.0002
Left medial pterygoid muscle	12.15 ± 5.32	19.23 ± 6.81	<0.0001

Values are given as mean ± SD.

\*Paired t-test.

CS-3D T1TFE, three-dimensional T1 turbo field echo with Compressed SENSE; MS-SE, multi slice spin echo; SD, standard deviation; SNR, signal-to-noise ratio.

Table 3. Kappa statistics between two observers.

	Kappa statistics
Degree of lesion conspicuity	0.339
Motion artifact	0.416
Metal artifact	0.83
Pulsation artifact	0.759
Quality of fat suppression	0.38
Homogeneity of blood vessel signal intensity	0.796
Overall image quality	0.321

Table 2. Individual observer grades for MS-SE and CS-3D T1TFE

	Observer 1			Observer 2		
	MS-SE	CS-3D-T1TFE	P*	MS-SE	CS-3D-T1TFE	P*
Degree of lesion conspicuity	4.90 ± 0.31	4.83 ± 0.46	0.4888	4.83 ± 0.38	4.80 ± 0.48	0.5725
Motion artifact	4.30 ± 0.88	4.90 ± 0.40	0.0009613	3.83 ± 1.02	4.53 ± 0.73	<0.0001
Metal artifact	4.20 ± 0.76	4.13 ± 0.78	0.1608	4.33 ± 0.71	4.33 ± 0.66	1
Pulsation artifact	3.43 ± 1.07	5	<0.0001	3.17 ± 1.23	4.97 ± 0.18	<0.0001
Quality of fat suppression	5	4.90 ± 0.31	0.08307	4.97 ± 0.18	4.67 ± 0.48	0.001426
Homogeneity of blood vessel signal intensity	1.80 ± 0.66	4.93 ± 0.25	<0.0001	1.60 ± 0.50	4.87 ± 0.35	<0.0001
Overall image quality	4.10 ± 0.76	4.20 ± 0.61	0.3256	4.10 ± 0.96	4.17 ± 0.70	0.6015

Values are given as mean ± SD.

\*Paired t-test.

CS-3D T1TFE, three-dimensional T1 turbo field echo with Compressed SENSE; MS-SE, multi slice spin echo; SD, standard deviation.

## (2)

### 骨浸潤評価

評価者間の一致度は、CS-3D-T1TFE および MDCT とともに高い一致度を示した( =0.838、 =0.776 )。病理学的評価との一致度は、CS-3D-T1TFE および MDCT それぞれに対し、評価者 1 が r=0.859、r=0.898、評価者 2 が r=0.83、r=0.856 といずれも高い相関を示し、両者に大きな差はみられなかった。

### 軟部組織浸潤評価

CS-3D-T1TFE および MDCT における評価者間の一致度は、顎舌骨筋で =0.556、 =0.423、歯肉口唇(頬)溝移行部で =0.373、 =0.22、咀嚼筋隙で =1、MDCT では評価者 1 が 20 例中 0 例について浸潤あり、評価者 2 が 20 例中 2 例について浸潤ありと評価し、データ分布に歪みが生じたことで 値は算出されなかった。

下顎癌の骨浸潤評価において、CS-3D-T1TFE 画像の評価者間一致度は MDCT のそれよりも高く、病理所見との高い相関が認められた。高分解能の3D画像により partial volume effect が抑制されたことに加え、高速撮像により腫瘍の造影タイミングに合わせたデータ取得が行われたことや、この適切な時間に取得された3D画像データから再構成画像を作成したことで、造影剤が腫瘍周囲炎症領域に移行する前の様々な断面の画像が取得でき、従来 MRI の問題点であった腫瘍範囲の overestimate が抑制されたためと考えられた。

軟部組織浸潤評価において、CS-3D-T1TFE 画像の評価者間一致度は MDCT のそれよりも高かった。歯科用補綴物による金属アーチファクトの影響により軟部組織評価が困難な CT に対し、CS-3D-T1TFE では Dixon 法による局所磁場補正と広いバンド幅により、金属アーチファクトの影響が低

減でき、多くの症例で腫瘍が明瞭に描出されたためと考えられた。  
 以上より、CS-3D-T1TfE 再構成画像は、下顎癌の浸潤評価に有用であると考えられた。

**Table 1** The weighted kappa statistic for the interobserver agreement in bone invasion

	Bone invasion (95%CI)
CS-3D-T1TfE	0.838 (0.663–1.013)
MDCT	0.776 (0.570–0.981)

CI, confidence interval; CS-3D-T1TfE, 3D T1 turbo field echo with compressed SENSE; MDCT, multidetector computed tomography

**Table 4** Correlation between the image evaluation and the pathological evaluation

	CS-3D-T1TfE		MDCT	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Observer 1	0.859	< .001	0.898	< .001
Observer 2	0.83	< .001	0.856	< .001

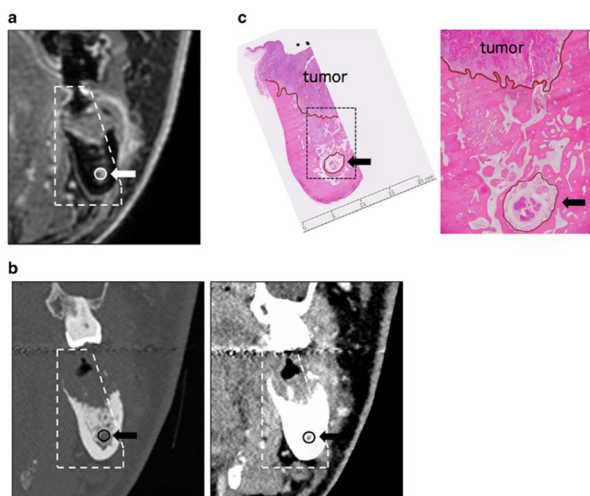
*r*, Pearson's correlation coefficient; *p*, *p*-value

**Table 2** The kappa statistic for the interobserver agreement in soft-tissue invasion

	Soft-tissue invasion (95%CI)		
	Mylohyoid muscle	Gingivobuccal fold	Masticator space
CS-3D-T1TfE	0.556 (0.17–0.941)	0.373 (0.003–0.743)	1 (1–1)
MDCT	0.423 (0.19–0.827)	0.22 (–0.162–0.601)	—*

CI, confidence interval

\**p* value could not be estimated due to the skewed distribution of the data



**Fig. 3** Example of BI-2 (case 2). A 55-year-old man with squamous cell carcinoma of the left mandible (T4aN2bM0). Reconstructed CS-3D-T1TfE (a) and MDCT (b) cross-sections perpendicular to the dentition. Histopathological section of the area surrounded by the white dotted line in the images (c). Right panel: magnification of the area indicated by the black dotted line in (c). The tumor invaded the cancellous bone but did not extend into the mandibular canal (MC) in either CS-3D-T1TfE or MDCT bone algorithm images, which was very similar to the histopathological section. In the MDCT soft-tissue algorithms, tumors were distorted due to metal artifacts. Arrows: MC

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 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kami Yukiko, Chikui Toru, Togao Osamu, Ooga Masahiro, Yoshiura Kazunori	4. 巻 9
2. 論文標題 Comparison of image quality of head and neck lesions between 3D gradient echo sequences with compressed sensing and the multi-slice spin echo sequence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Radiologica Open	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/2058460120956644	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Yukiko Kami, Toru Chikui, Osamu Togao, Shintaro Kawano, Shinsuke Fujii, Masahiro Ooga, Tamotsu Kiyoshima, Kazunori Yoshiura	4. 巻 33(2)
2. 論文標題 Usefulness of reconstructed images of Gd-enhanced 3D gradient echo sequences with compressed sensing for mandibular cancer diagnosis: comparison with CT images and histopathological findings	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 European Radiology	6. 最初と最後の頁 845-853
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00330-022-09075-w	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 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 加美 由紀子、筑井 徹、梅尾 理、大賀 正浩、吉浦 一紀
2. 発表標題 Compressed SENSE を用いた頭頸部病変の画像評価
3. 学会等名 日本歯科放射線学会第60回学術大会・第16回定例総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加美 由紀子、筑井 徹、川野 真太郎、藤井 慎介、梅尾 理、大賀 正浩、吉浦 一紀
2. 発表標題 Compressed SENSE併用3D-T1TFE法による下顎悪性腫瘍浸潤の評価 ~CT・病理画像との比較~
3. 学会等名 日本歯科放射線学会 第61回学術大会、第17回定例総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukiko Kami, Toru Chikui, Osamu Togao, Shintaro Kawano, Shinsuke Fujii, Masahiro Ooga, Tamotsu Kiyoshima, Kazunori Yoshiura
2. 発表標題 Usefulness for Imaging Diagnosis of Mandibular Cancer by reconstructed images of Gd-enhanced 3D gradient echo sequences with compressed sensing -Comparison with CT images and histopathological findings-
3. 学会等名 The 13th Asian Congress of Oral and Maxillo-Facial Radiology
4. 発表年 2022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	筑井 徹  (Chikui Toru)  (10295090)	九州大学・歯学研究院・准教授   (17102)	
研究分担者	梅尾 理  (Togao Osamu)  (10452749)	九州大学・医学研究院・准教授   (17102)	
研究分担者	大賀 正浩  (Ooga Masahiro)  (60380474)	九州大学・大学病院・診療放射線技師   (17102)	
研究分担者	吉浦 一紀  (Yoshiura Kazunori)  (20210643)	九州大学・歯学研究院・教授   (17102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------