

# 新時代へ繋ぐ

## 整形外科領域のMRI撮像



大阪大学医学部附属病院  
仲宗根進也

### ～ 本日の内容 ～



1. 整形外科領域の撮像
  - 肩関節
  - 膝関節
  - 脊椎
2. トピックス
  - ディープラーニング画像再構成
  - MR Bone imaging

## 肩関節：コイル



### 肩専用コイル



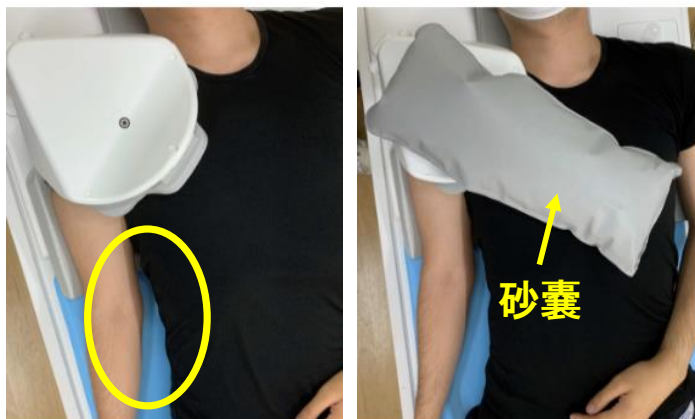
### フレキシブルコイル



写真：GE Healthcare

2023年度 春季勉強会

## 肩関節：ポジショニング

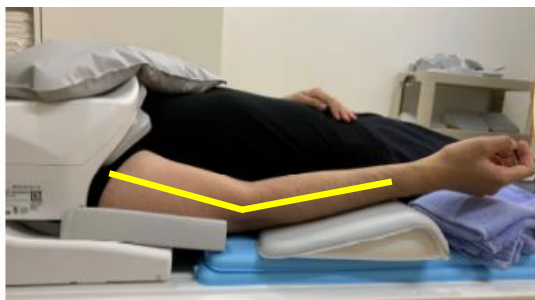


- ✓ 肘関節が正面を向く程度の外旋位（中間位）
- ✓ 上腕部と胸郭を離す
- ✓ 呼吸による胸郭の動きを抑制  
⇒ コイルから胸骨にかけておもりを置く

引用：日本磁気共鳴専門技術者認定機構 HP

2023年度 春季勉強会

## 肩関節：ポジショニング



- ✓ 前腕部を**軽度挙上**する
- ✓ 前腕部の回内外による**動きを抑制**  
⇒前腕部におもりを置く

引用：日本磁気共鳴専門技術者認定機構 HP

2023年度 春季勉強会

## 肩関節



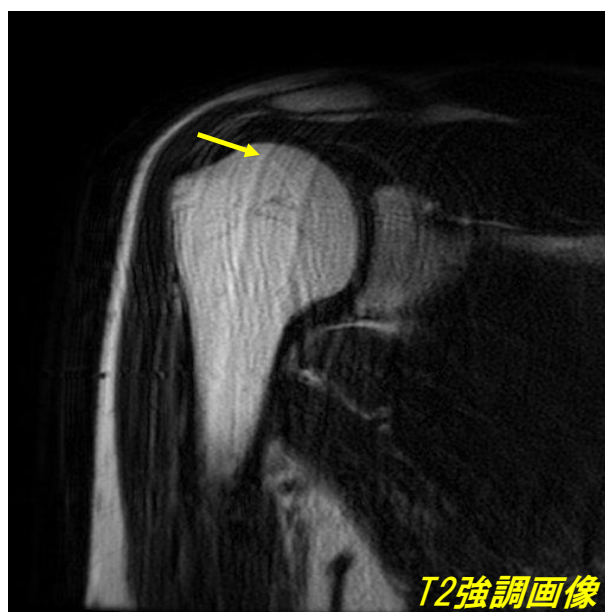
### <健常ボランティア>

- 動かないよう指示（静かな呼吸）
- 動きの抑制なし



モーションアーチファクト

動きを抑制することが  
大事



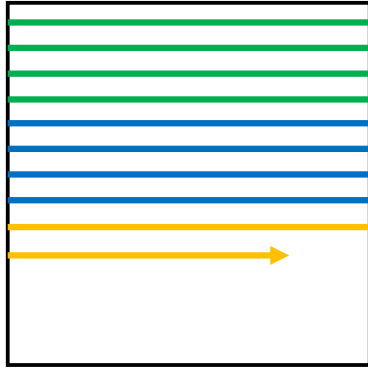
2023年度 春季勉強会

# 肩関節

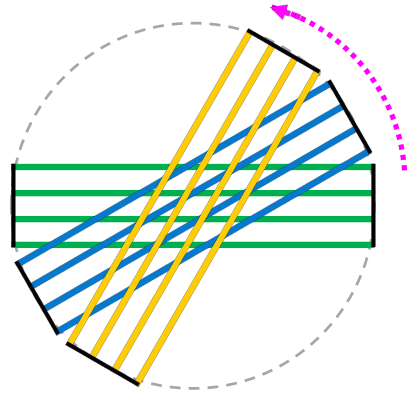


## ***PROPELLER***

- ・ 高速スピネコー法による帯状領域(ブレード)の取得
- ・ それを繰り返し時間ごとに回転してk空間を埋めていく



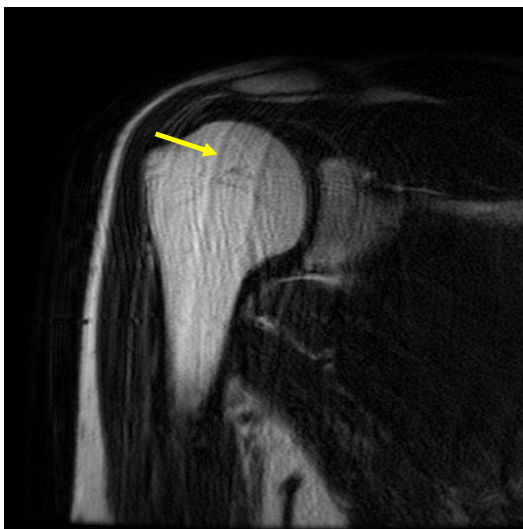
Cartesian



PROPELLER

2023年度 春季勉強会

# 肩関節



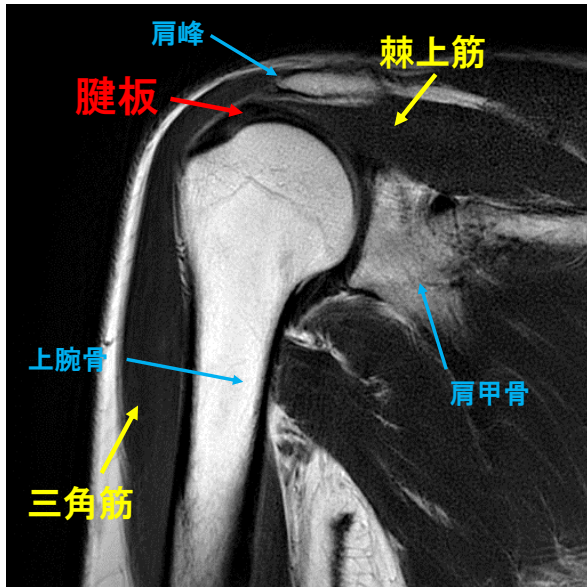
Cartesian



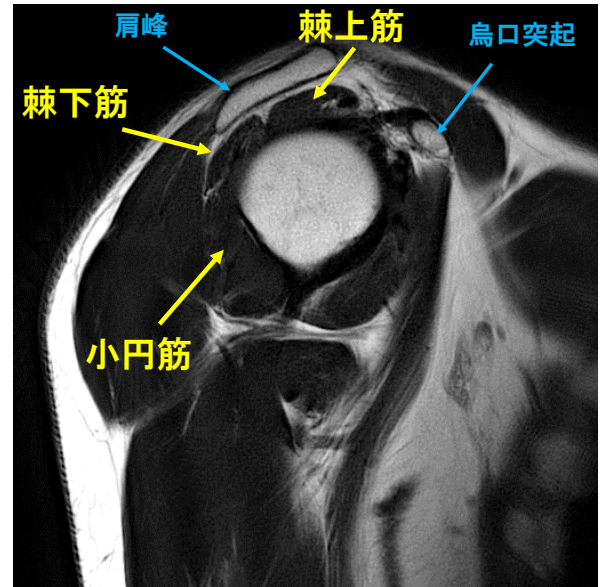
PROPELLER

2023年度 春季勉強会

# 肩関節：解剖



右肩正面



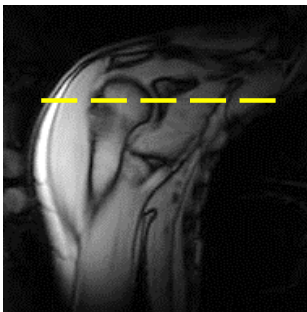
右肩側面

2023年度 春季勉強会

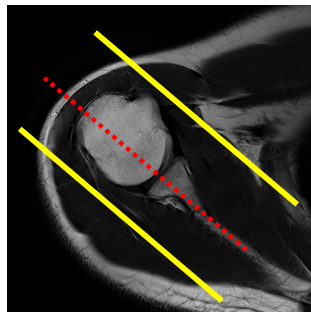
# 肩関節：プランニング



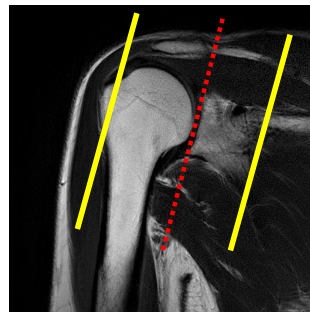
① 位置決め画像



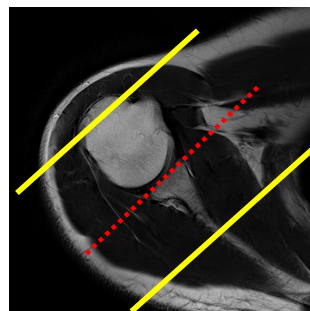
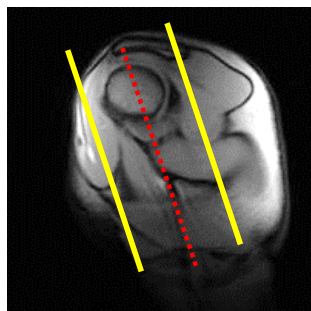
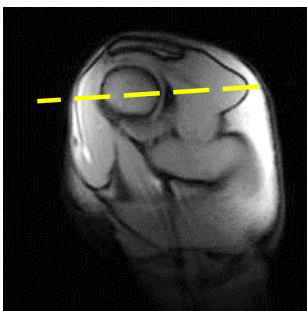
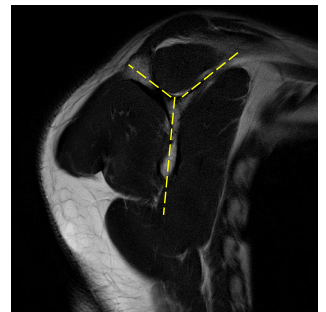
② Axial画像



③ Coronal画像



④ Sagittal画像



2023年度 春季勉強会

# 肩関節：推奨撮像条件



撮像順序	1	2	3	4	5	6	7	8	option
撮像法	localizer	T2WI	T2WI-脂肪抑制	T2WI	T1WI	T2WI-脂肪抑制	T2WI	T2*WI	T2WI-脂肪抑制
シーケンス名		2D-FSE	2D-FSE	2D-FSE	2D-FSE	2D-FSE	2D-FSE	2D-GRE	2D-FSE
撮像断面 (赤点線)	3-Plane	<b>Coronal</b> Axial画像より関節高に垂直になる角度に設定し、Sagittal画像よりYの部分に傾きを合わせ骨頭を全て含むスライス数を設定する。	<b>Coronal</b> Axial画像より関節高に垂直になる角度に設定し、Sagittal画像よりYの部分に傾きを合わせ骨頭を全て含むスライス数を設定する。	<b>Sagittal</b> Axial画像の関節高に対して平行にする。関節高を中心に前後12スライスとなるよう設定し、筋実質を十分に含むように撮影する。	<b>Sagittal</b> Axial画像の関節高に対して平行にする。関節高を中心に前後12スライスとなるよう設定し、筋実質を十分に含むように撮影する。	<b>Sagittal</b> Axial画像の関節高に対して平行にする。関節高を中心に前後12スライスとなるよう設定し、筋実質を十分に含むように撮影する。	<b>Axial</b> Coronal画像より関節高に対して垂直とし、Sagittal画像から肩甲骨軸に傾きを合わせる。肩鎖関節から棘下筋と小円筋の境目辺りまで含む。	<b>Axial</b> Coronal画像より関節高に対して垂直とし、Sagittal画像から肩甲骨軸に傾きを合わせる。肩鎖関節から棘下筋と小円筋の境目辺りまで含む。	<b>Axial</b> Coronal画像より関節高に対して垂直とし、Sagittal画像から肩甲骨軸に傾きを合わせる。肩鎖関節から棘下筋と小円筋の境目辺りまで含む。
TR(ms)		3000以上	2500以上	3000以上	400~700	2500以上	3000以上	400以上	2500以上
TE(ms)		80~100	60~70	80~100	10~12	60~70	80~100	13.81	60~70
FA(°)		90	90	90	90	90	90	30	90
ETL		15~17	11~13	15~17	3~4	11~13	15~17	-	11~13
NEX		1	1	1	1	1	1	1	1
over sampling		+	+	+	+	+	+	+	+
FOV(mm)	200	160	160	160	160	160	160	160	160
Matrix		320*260	248*200	320*260	320*260	248*200	320*260	320*320	248*200
pixel size (mm)		0.5*0.6	0.65*0.8	0.5*0.6	0.5*0.6	0.65*0.8	0.5*0.6	0.5*0.5	0.65*0.8
Parallel imaging		+	+	+	+	+	+	+	+
スライス厚(mm)		3.5	3.5	4	4	4	3.5	3.5	3.5
スライスギャップ(mm)		0.35	0.35	0.4	0.4	0.4	0.35	0.35	0.35
スライス枚数		16~	16~	24	24	24	16~	16~	16~
バンド幅(Hz/pixel)		200~240	180~270	200~240	180	180~270	240	240	180~270
脂肪抑制		-	+	-	-	+	-	-	+
撮像時間		2:00~2:30	2:30~3:00	2:00~2:30	2:00~2:30	2:30~3:00	2:00~2:30	2:30~3:00	2:30~3:00
位相方向		R-L	R-L	A-P	A-P	A-P	R-L	R-L	R-L
その他	2回	腫れ関節の初期を工とし、棘上筋の長軸方向の観察ならびに上腕二頭筋長頭腱の観察を目的とする。	腱板断裂の診断に用いられ、主に腱内断裂・不全断裂の描出に優れる。 Philips:SPAIR GE:SPECIAL	Goutallier分類(脂肪変性)を評価する場合は棘上筋の最大筋腹を超えるあたりまで撮像。		肩甲上神経麻痺などによる神経絞扼性筋萎縮が認められる場合は脂肪抑制の追加を推奨する。	関節唇損傷(Bankart-lesion, SLAP-lesion等)が疑われる場合。 マルチエコー収集可能なら3エコー収集。	肩甲上神経麻痺などによる神経絞扼性筋萎縮が認められる場合は、脂肪抑制の追加を推奨する。	

引用：日本磁気共鳴専門技術者認定機構 HP

2023年度 春季勉強会

# 膝関節：コイル・ポジショニング



## 膝専用コイル



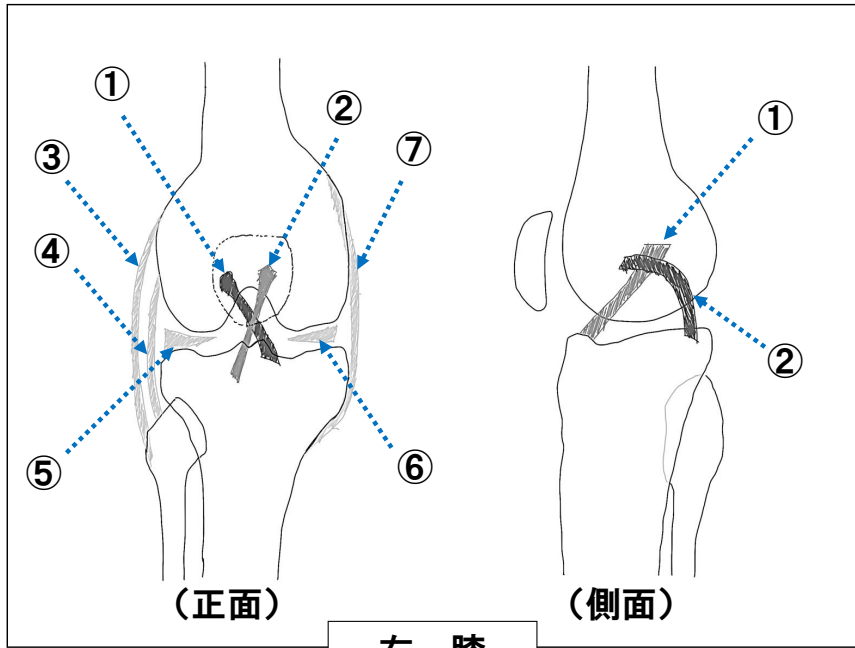
✓ 仰臥位で**軽度屈曲**(5° ~ 10° )  
↓  
**前十字靭帯と顆間窩骨が離れ**  
**描出しやすくなる**

✓ 動かないよう砂嚢などで**固定**

写真：フィリップスヘルスケア

2023年度 春季勉強会

# 膝関節：解剖



- ①前十字靭帯
- ②後十字靭帯
- ③外側側副靭帯
- ④膝窩筋腱
- ⑤外側半月板
- ⑥内側半月板
- ⑦内側側副靭帯

参考：超実践マニュアルMRI

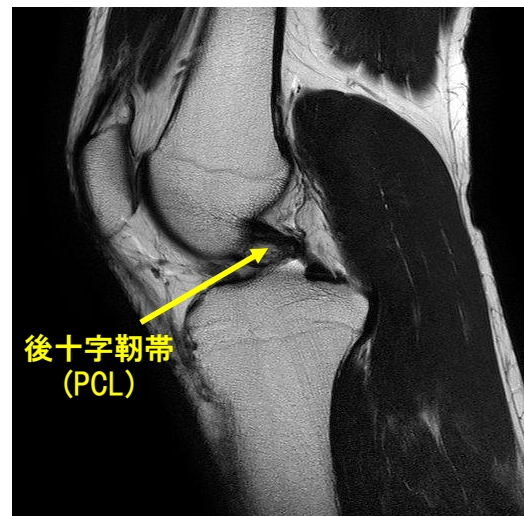
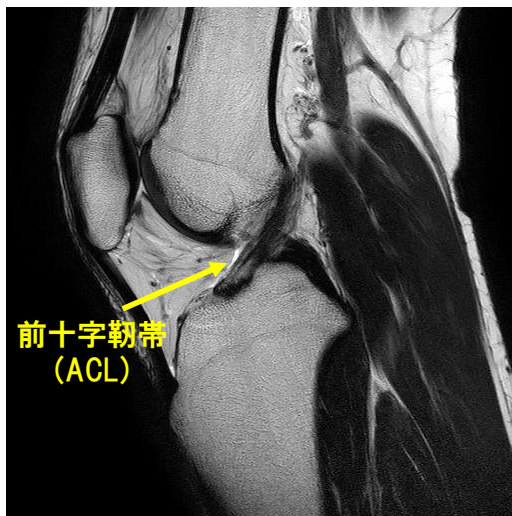
右膝

2023年度 春季勉強会

# 膝関節：解剖



## 右膝Sagittal



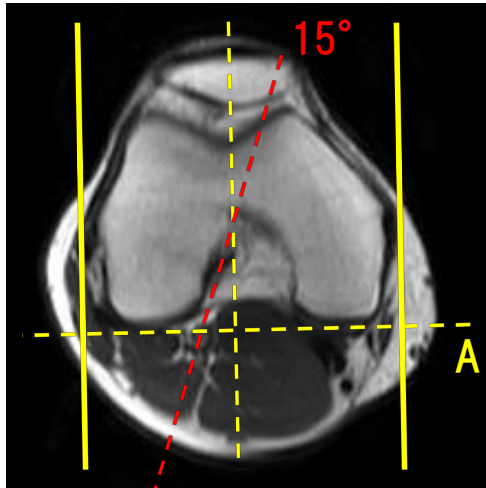
2023年度 春季勉強会

# 膝関節：プランニング

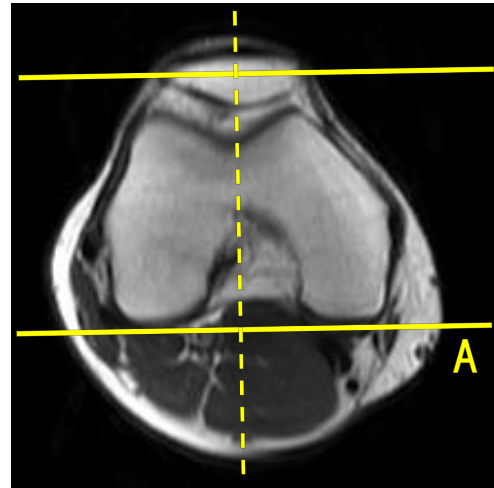


## 右膝Axial

Sagittal断面



Coronal断面



参考：超実践マニュアルMRI

2023年度 春季勉強会

# 膝関節：推奨撮像条件



撮像順序	1	2	3	4	5	6	7	8
Routine or Option	Routine	Routine	Routine	Routine	Routine	Routine	Routine	Option
撮像法	Scout	Scout	PDW	PDW	T1W	T2*W	T2W	3D-T2*W
パルスシーケンス	GRE	GRE	TSE	TSE	TSE	GRE (multi-echo)	TSE	GRE
撮像断面	Transverse	Sagittal, Coronal	Transverse	Coronal	Coronal	Sagittal	Sagittal	Sagittal
TR (ms)	6	6	2600	2500	600	750	5000	22
TE (ms)	2	2	30	30	10	17	90	16
FA/RFA (°)	15	15	90/150	90/150	90/120	25	90/150	12
ETL	-	-	6	6	3	-	13	-
FOV (read×phase) (mm)	350×350	250×250	160×160	160×160	160×160	160×160	160×160	160×160
Matrix (read×phase)	256×192	256×192	384×256	384×256	384×320	384×298	384×288	228×228
スライス厚 (mm)	6	6	3	3	3	3	3	0.7
スライス間隔 (mm)	3	6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
スライス枚数	3	3, 3	29	27	27	27	27	160
バンド幅 (Hz/pixel)	300	300	250	250	350	400	300	300
加算回数	1	1	1	1	1	1	1	1
Parallel imaging factor	-	-	2	2	2	2	2	3
位相方向	A-P	A-P, R-L	R-L	F-H	F-H	F-H	F-H	A-P
Saturation pulse	-	-	頭側, 尾側	-	-	-	-	-
Oversampling	-	-	+	+	+	+	+	-
脂肪抑制	-	-	CHESSE	CHESSE	-	-	-	Water Excitation
撮像時間	6秒程度	17秒程度	2分10秒程度	2分00秒程度	2分10秒程度	2分50秒程度	2分10秒程度	4分40秒程度
その他			Magic angle effect低減のためTEは長めに設定.		いずれか1方向で必須.	Multi-echoでなくても可.		

引用：日本磁気共鳴専門技術者認定機構 HP

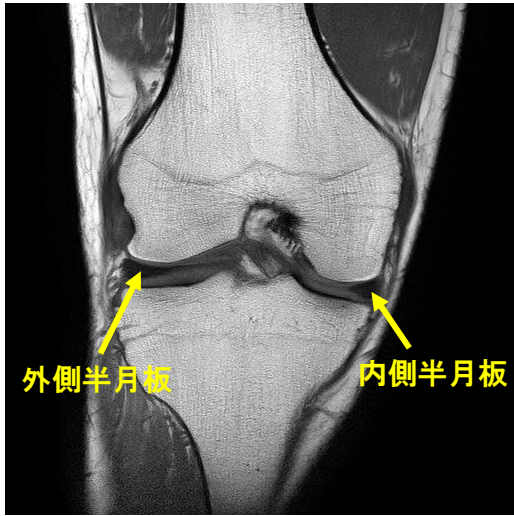
2023年度 春季勉強会



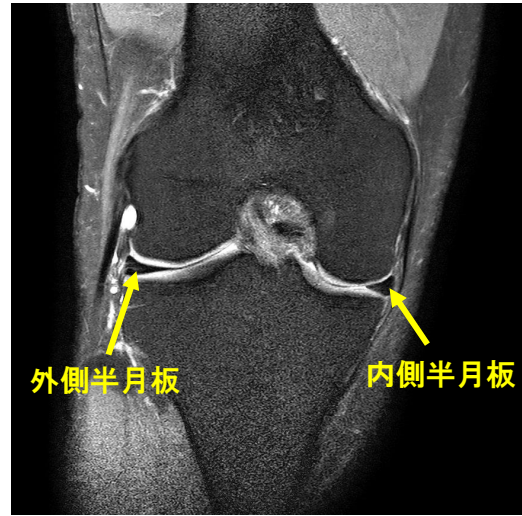
# 膝関節



## 右膝Coronal



T1WI



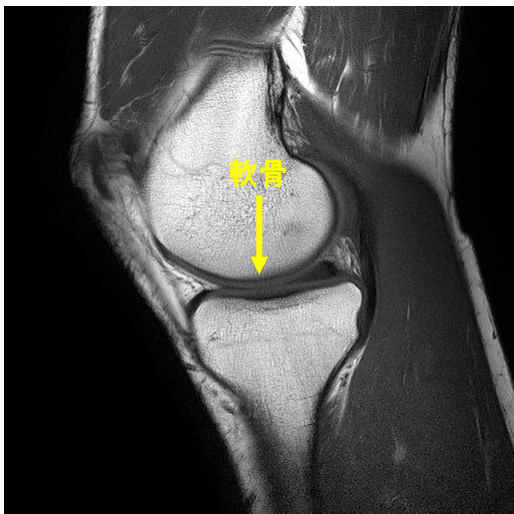
PDWI

2023年度 春季勉強会

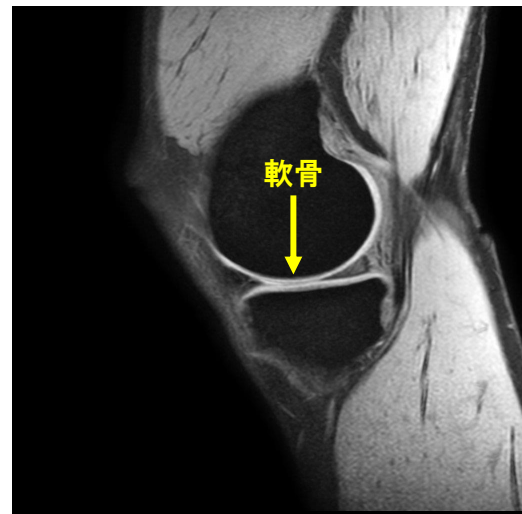
# 膝関節



## 右膝Sagittal



T1WI



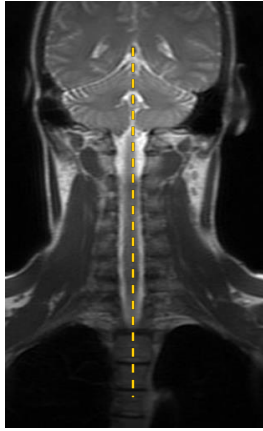
T2\*WI

2023年度 春季勉強会

# 脊椎：プランニング

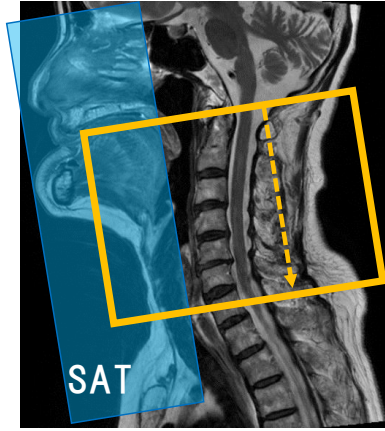


Sagittal断面



- ✓ 脊椎をまっすぐに
- ✓ 脊髄に**平行**に位置設定

頸椎Axial断面



- ✓ 椎体と**平行**に位置決め
- ✓ 椎体と椎間板を含める
- ✓ 椎体前面にプレサチレーションパルスを加える

腰椎Axial断面



- ✓ 椎間板を中心に設定

2023年度 春季勉強会

# 脊椎：撮像シーケンス



(コントラスト)

T1強調画像

T2強調画像

T1強調画像

T2強調画像

T2\* 強調画像

(撮像断面)

Sagittal

Sagittal

Axial

Axial

Axial

**必須**

**頸椎撮像で選択**  
(*flow void*現象)

脂肪抑制T2強調画像

Sagittal

腫瘍性病変や骨髄疾患

2023年度 春季勉強会

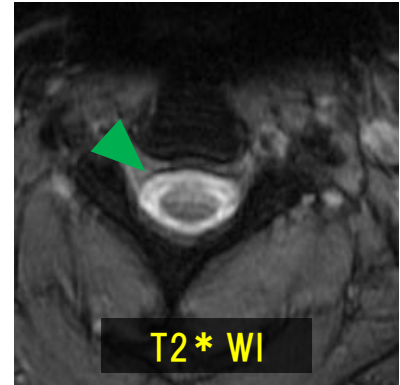
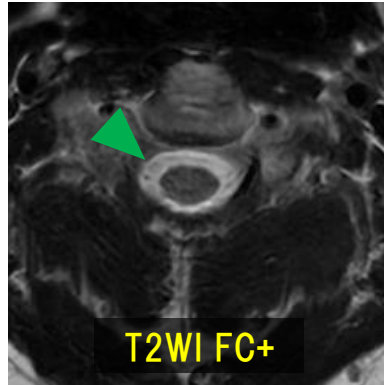
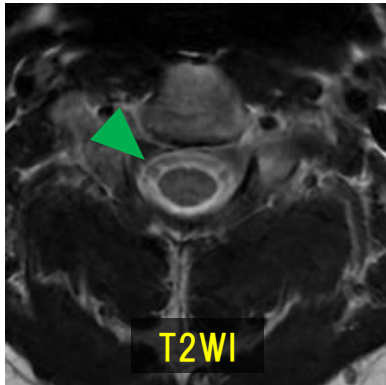
## 脊椎：flow void現象



血流や脳脊髄液(CSF)のように、流れている組織が画像上で無信号となる現象



流れの速い**頸胸髄**領域で起こりやすい

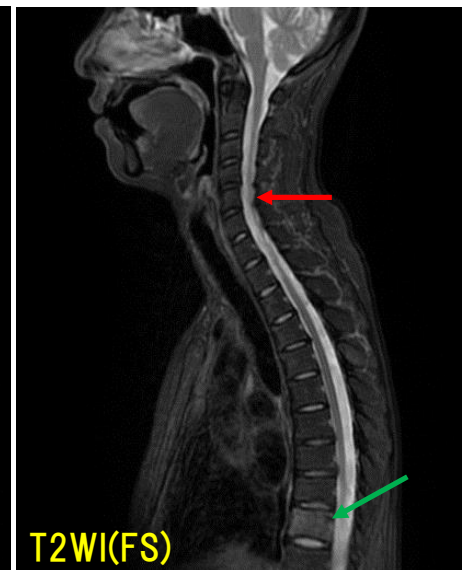
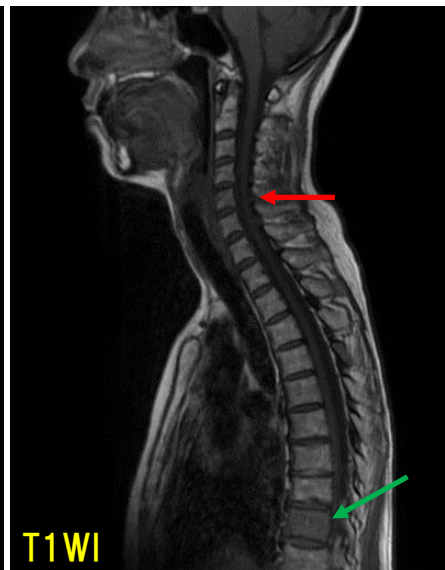
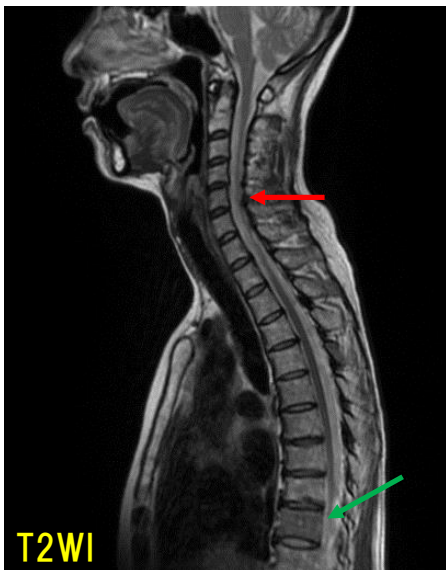


2023年度 春季勉強会

## 脊椎：脂肪抑制



- ・乳癌からの転移性脊椎腫瘍

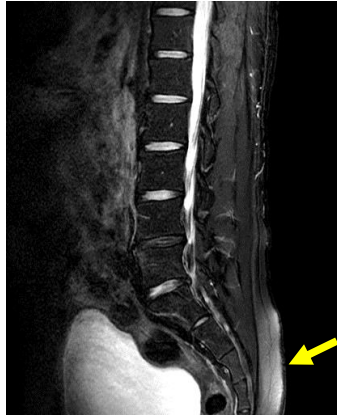


2023年度 春季勉強会

# 脊椎：脂肪抑制



脂肪抑制画像	STIR	CHESS	DIXON
長所	脂肪抑制の <b>均一性が良い</b>	SNRの低下が少ない	脂肪抑制の <b>均一性が良い</b>
短所	SNRが悪い	部位によって脂肪抑制の <b>均一性が悪い</b>	撮像時間が長い 水・脂肪の分離エラー

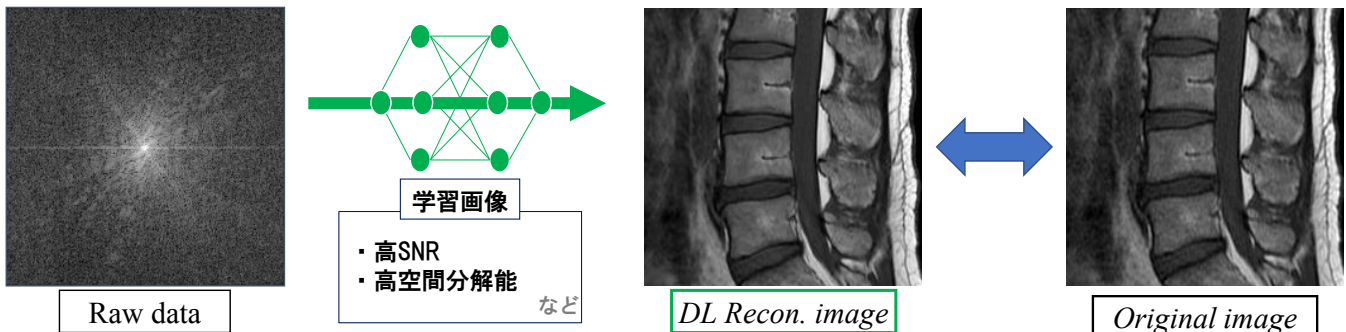


2023年度 春季勉強会

# ディープラーニング(DL)画像再構成



k-spaceフィルタを利用せずにraw data全体に対してアルゴリズムを適用し  
学習画像として**高SNR・高空間分解能画像**などを用いる (GE Healthcare)



- ✓ 画像ノイズ低減
- ✓ 画像鮮鋭度の向上

2023年度 春季勉強会

## DL画像再構成：時間短縮化



SENSE: 1.5 oversampling: 2.0



SENSE: **2.5** oversampling: **1.25**

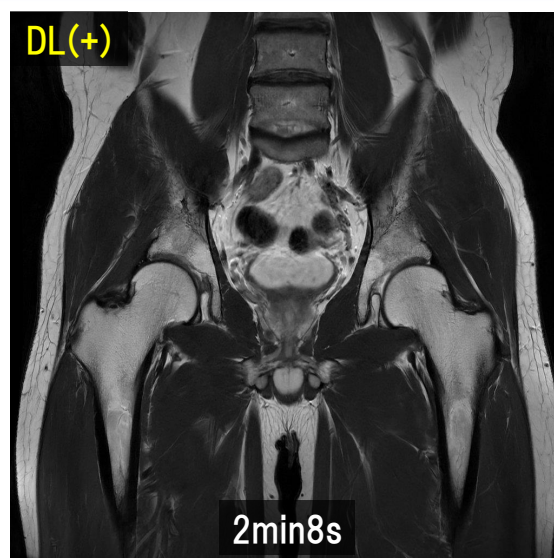
FOV, Matrix, TR, TE 等は全て同じ

2023年度 春季勉強会

## DL画像再構成：高分解能化



SENSE: 1.5 oversampling: 2.0  
Matrix size: 0.7\*1.1

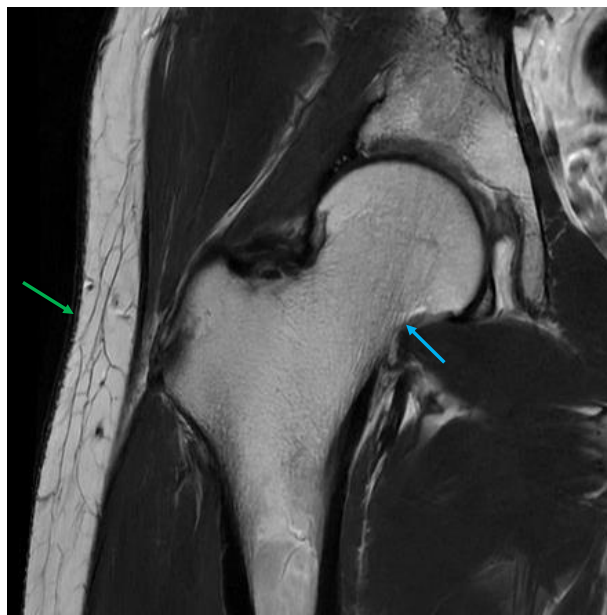
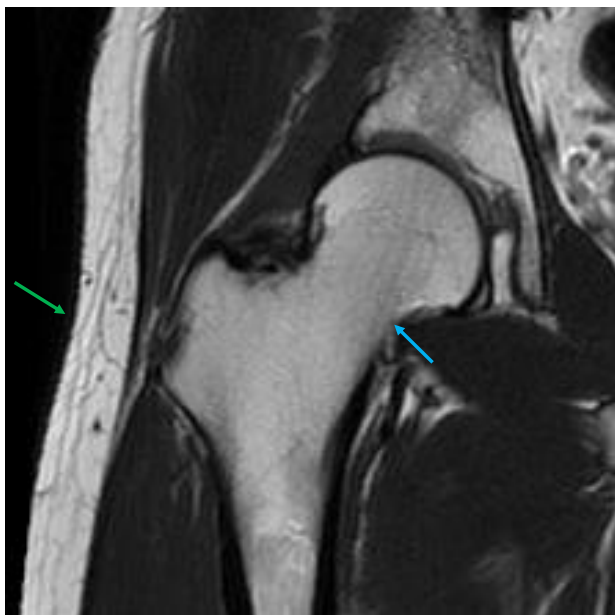


SENSE: 2.0 oversampling: 1.25  
Matrix size: **0.6\*0.6**

FOV, TR, TE 等は全て同じ

2023年度 春季勉強会

# DL画像再構成：高分解能化



2023年度 春季勉強会

# MR Bone imaging



Skeletal Radiology (2021) 50:1705–1713  
<https://doi.org/10.1007/s00256-020-03659-7>

TECHNICAL REPORT



## Fast field echo resembling a CT using restricted echo-spacing (FRACTURE): a novel MRI technique with superior bone contrast

Brian Johnson<sup>1</sup> · Hamza Alizai<sup>2</sup> · Molly Dempsey<sup>2</sup>

Received: 16 July 2020 / Revised: 23 October 2020 / Accepted: 25 October 2020 / Published online: 11 November 2020  
© ISS 2020

### Abstract

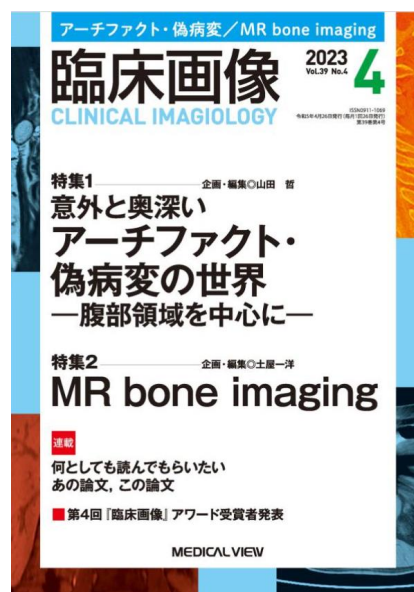
**Objective** Computerized tomography (CT) is the modality of choice for imaging bone; however, it utilizes ionizing radiation and suffers from poor soft-tissue contrast. Unlike CT, magnetic resonance imaging (MRI) provides excellent soft-tissue contrast but is limited in its ability to image bone. The objective of this study is to describe a new technical innovation which provides superior cortical and trabecular bone contrast on MRI.

**Methods** FRACTURE (fast field echo resembling a CT using restricted echo-spacing), a 3D gradient echo pulse sequence with restricted echo-spacing combined with an automated post-processing, is described.

**Results** Cases demonstrating the application and utility of this technique in diagnostic MRI performed for traumatic, inflammatory, neoplastic, and developmental conditions in pediatric patients are presented.

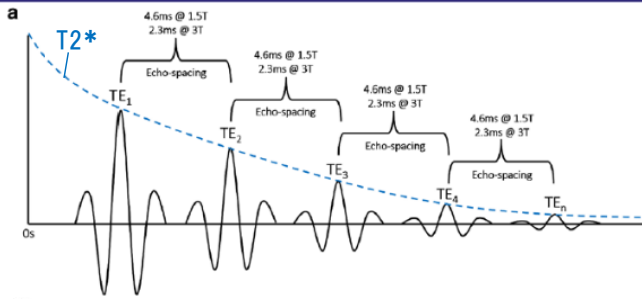
**Conclusion** The cortical and trabecular bone contrast generated by FRACTURE yields clinically relevant information for diagnosis and management of a subset of patients in whom it may potentially obviate the need for a preoperative CT scan.

**Keywords** MRI · Bone · Contrast · Pediatric



2023年度 春季勉強会

# MR Bone imaging : 原理



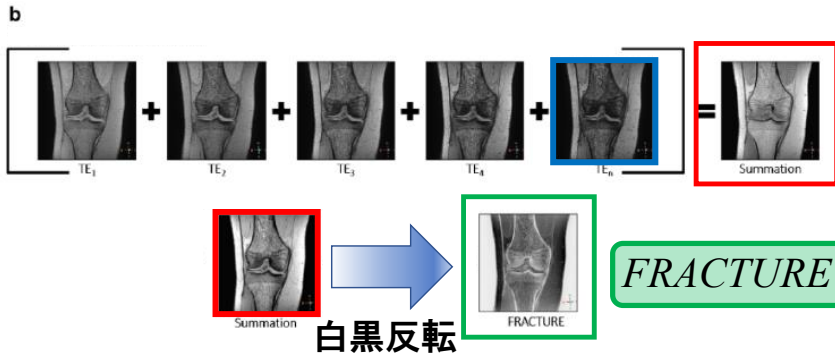
3D マルチエコー GRE  
(同位相のエコー間隔で収集)



全てのエコーの画像を合算



合算した画像を  
白黒反転させる



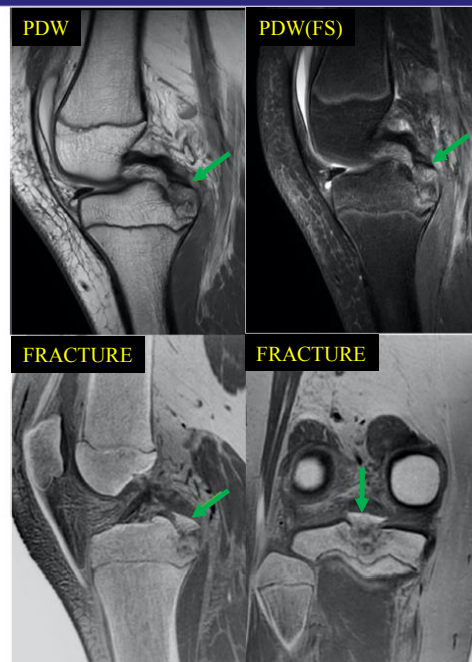
引用 : Fast field echo resembling a CT using restricted echo-spacing (FRACTURE): a novel MRI technique with superior bone contrast

2023年度 春季勉強会

# MR Bone imaging : 症例



- 12歳の男性
- 自転車事故後の膝の痛みを訴え
- X線写真では不明確 ⇒ MRI
- PDWIで後十字靭帯の剥離が明瞭
- 3D FRACTURE画像では剥離した骨折片、  
後退の程度を正確に測定可能  
⇒ 手術計画有用



引用 : Fast field echo resembling a CT using restricted echo-spacing (FRACTURE): a novel MRI technique with superior bone contrast

2023年度 春季勉強会