

MRI

撮像技術

contents

- 序 郡 倫一
- web コンテンツのご案内

第1章 MRIの基礎（原理・装置）

1	MRIの基本原理.....	16
1)	MRIとは.....	16
2)	励起と緩和.....	16
	1 磁気モーメント 2 ラーモア周波数 3 ゼーマン分裂と共鳴周波数 4 T_1 緩和	
	5 T_2 緩和と T_2^* 緩和 6 MR 信号	
+α	巨視的磁化は小さくないの？.....	24
	双極子-双極子相互作用の符号が切り替わる境目は？.....	24
	緩和時間と分子相関時間の関係.....	24
2	傾斜磁場の役割.....	25
1)	傾斜磁場とは.....	25
2)	なぜ種々の情報を与えることができるのか.....	25
	1 位相 2 傾斜磁場の「傾斜」をイメージしよう	
3)	3つの傾斜磁場.....	27
3	k空間（k-space）とフーリエ変換.....	27
1)	k空間とは.....	27
2)	k空間へどのようにMR信号を充填するのか.....	28
	1 MR信号はさまざまな周波数が含まれる合成波 2 位相エンコード	
	3 周波数エンコードと受信バンド幅 [(receiver) bandwidth : BW]	
	4 k空間充填方法	
3)	MR画像の生成：周波数空間から実空間へ.....	33
	1 二次元フーリエ変換 2 絶対値演算	
+α	ImageJで二次元フーリエ変換をやってみよう.....	35
4)	k空間の特徴を活かして.....	36
	1 長方形FOV 2 複素共役とエルミート対称	
	3 部分フーリエ (partial Fourier) 法・部分エコー (partial echo) 法	

4	パラメータの変化	38
1)	パラメータとは	38
2)	なぜパラメータの調整が必要なのか	39
3)	パラメータ設定は腕の見せどころ	39
	1 撮像時間 2 SNR 3 撮像可能枚数	
	word レイリー分布	40
	+α 撮像可能枚数とTRの関係	43
5	基本画像のコントラストと見分け方	44
1)	各画像コントラストで高信号を示すもの	44
2)	画像コントラストの判別方法	45
6	MRI装置の構造と種類	52
1)	MRI装置の種類	52
2)	装置の構造	54
	word 超電導とは？	54
3)	電波シールドと磁気シールド	56
4)	クエンチ	56
7	送信・受信コイル	57
	word QD (クアドラチャ) 方式 (QD コイル)	58
	+α 静磁場強度とRF波長の関係	61
	MultiTransmitシステム (パラレル送信, parallel transmission) とは	61
8	感度補正	62

第2章 高速イメージング法

1	パラレルイメージング	65
1)	パラレルイメージングとは	65
2)	パラレルイメージングの手法	65
	1 SENSE法 2 GRAPPA法	
3)	パラレルイメージングの注意点	68
4)	CAIPIRINHA	69
2	圧縮センシング (CS)	70
	+α なぜ、ランダムサンプリングを行うのか？	71
	2Dと3Dの違い	72
	正則化パラメータ	73
3	DLR (deep learning reconstruction)	73
4	SMS (simultaneous multi-slice) /multi-band	74

第3章 パルスシーケンス

1 SE (spin echo) 法	76
1) SEの基礎	76
2) TR/TEとコントラストの関係	76
3) PSDとk空間へのMR信号充填方法	78
+α なぜ180°パルスはTE/2時間に照射する必要があるのか？	80
スライス選択傾斜磁場の形状の謎	80
周波数選択傾斜磁場の形状の謎	81
位相と周波数選択傾斜磁場を印加した際のk空間の軌跡(冠状断像を取得する場合)...	81
なぜ、周波数マトリックス数は撮像時間に影響しないのか？	82
2 FSE (fast spin echo) 法	82
1) FSE法の基礎	82
2) 画像のコントラスト	83
3) マルチエコーFSE法	85
4) FSE法のパラメータの特徴	85
+α DRIVE法	88
5) VRFA-FSE (variable refocusing flip angle FSE) 法	88
6) SSFSE (single-shot FSE) 法	90
7) 3D FSE法	91
8) 3D VRFA-FSE法	91
word equivalent TE (等価TE)	91
+α ボリューム選択傾斜磁場について	93
JカップリングとJカップリング定数	93
3 GRE (gradient echo) 法	93
1) GRE法の概要	93
2) GRE法の原理	94
1 TRとFAの関係 2 エルンスト角	
3 定常状態自由歳差運動 (steady state free precession : SSFP)	
4 HE (Hahn echo) とSTE (stimulated echo)	
5 インコヒーレントとコヒーレント	
+α GRE法のTRは？	94
3) GRE法の種類	98
1 スポイルド型GRE法 (FLASHなど) 2 dual-echo法	
3 リワインド型GRE法 (FISPなど) 4 multi-echo GRE法	
5 タイムリバース型GRE法 (PSIFなど) 6 balanced SSFP法	
7 高速GRE法 (turbo FLASHなど) 8 MPRAGE法 (IR併用3D高速GRE法)	
9 高速化特化型3D GRE法 (VIBEなど)	
10 view sharing法 (キーホールイメージング)	
11 stack of stars法 12 GRASE (gradient and spin echo) 法	

13 GRE & EPI hybrid シーケンス [TFEPI (turbo-field echo-planar imaging) 法など]	
14 SWI (susceptibility-weighted imaging) 15 bone image (CT like image)	
+α phase cycling 法とは？	105
segmented GRE 法 [マルチショット GRE 法 [TFE (turbo field echo) 法]]	105
k 空間の充填法の違いによるコントラスト決定時間への影響	108
k 空間収集方法と脂肪抑制法の良好な組み合わせは？	109
4 EPI (echo planar imaging) 法	116
1) EPI の PSD	117
2) SE-EPI 法と GRE-EPI 法	117
3) シングルショット EPI 法とマルチショット EPI 法	118
4) EPI 法の特徴	119
+α なぜ、歪み量 [mm] に位相マトリックス数 (N_y) は関係しないのか？	120
なぜ DWI は EPI 法で撮像するのか？	121
5 preparation pulse (pre-pulse)	121
1) T_2 preparation pulse (T_2 prep pulse)	121
2) MSDE (motion-sensitized driven-equilibrium) pulse	122

第4章 アーチファクト

1 アーチファクトについて	125
2 動きに関連するアーチファクト (モーション・ゴースト・フロー)	125
+α 呼吸同期または心電図同期を使用すると基本的に T_2 WI になる理由は？	132
呼吸同期または心電図同期を使用して T_1 強調画像を撮像するには？	132
さらなる体動抑制法は？	134
なぜ、周波数方向にモーションアーチファクト・フローアーチファクトは発生しないのか？	137
FLAIR 法撮像時の脳脊髄液アーチファクトの対処方法は？	138
radial scan 法使用時のパラメータ設定	138
BLADE 幅の違いによる影響	139
radial scan 法使用時の折り返しアーチファクト	140
SENSE 併用 radial scan 法使用の注意点	140
アーチファクトの発生間隔の計算例	140
3 クロストークアーチファクト	141
4 折り返しアーチファクト	142
+α no phase wrap (NPW) とは？	144
5 化学 (ケミカル) シフトアーチファクト	145
+α EPI 法使用時に周波数方向に化学シフトアーチファクトは発生しない理由は？	147
2D 撮像のスライス方向には化学シフトアーチファクトは発生しないの？	147

+α	SE法の場合の化学シフトアーチファクトの化学シフト量の計算	148
	EPI法使用時の化学シフトアーチファクトの化学シフト量の計算	148
6	磁化率アーチファクト	149
+α	他の磁化率アーチファクト低減方法は？	154
7	打ち切りアーチファクト (トランケーションアーチファクト・Gibbsアーチファクト)	154
+α	打ち切りアーチファクトとモーションアーチファクトの見分け方	156
8	マジックアングルアーチファクト	157
+α	マジックアングルの角度 = 55° (125°) の理由	157
9	FLASH BAND アーチファクト (バンディングアーチファクト, 位相分散帯, ブラックバンドアーチファクト)	158
10	N/2 アーチファクト	158
11	表面効果 (誘電効果)	159
+α	RF 波長の算出方法	160
12	ジッパーアーチファクト	160
13	傾斜磁場の非線形性に伴う画像歪みアーチファクト	161

第5章 脂肪・水抑制法

1	脂肪抑制の役割	163
2	脂肪の種類	165
3	脂肪抑制法の種類	166
1)	周波数非選択的IRパルスを用いた脂肪・水抑制法	166
1	STIR (short TI inversion recovery) 法	
2	FLAIR (fluid attenuated inversion recovery) 法	
+α	IR法におけるTIの算出式	168
	T ₁ -FLAIR (T ₁ -weighted fluid attenuated inversion recovery) 法	169
2)	周波数選択的RFパルスを用いた脂肪抑制法	169
1	周波数選択的RFパルスとは	
2	CHESS (chemical shift selective) 法	
3	SPIR (spectral presaturation with inversion recovery) 法	
4	SPAIR (spectral attenuated inversion recovery) 法	
+α	adiabatic inversion pulse (断熱反転パルス)	173
3)	pre-pulseを行わない脂肪抑制法	173
1	Dixon 法	
2	水選択励起法 [2項励起パルス (binomial pulse)]	
3	SSGR (slice selective gradient reversal) 法	
4	撮像部位ごとの選択方法	178

第6章 MRA

1	血流の種類と信号強度	181
+α	奇数番エコー位相分散 (odd-echo dephasing) と偶数番エコー再収束 (even-echo rephasing)	186
2	TOF (time of flight) 法	186
+α	TOF 法で血管以外が高信号となる場合の対処法	187
	TE が磁化率アーチファクトと脂肪信号に及ぼす影響	192
	on-resonance 法	195
3	PC (phase contrast) 法	196
+α	BPG による位相シフト ϕ の数式的な説明	197
	VENC の設定値	201
4	心電図同期併用 3D FSE 法	203
5	Time-SLIP 法	205
6	心電図同期併用 2D single-shot balanced SSFP 法	209
7	非造影 4D MRA	213
+α	4D TRANCE 法のデータ収集に 3D TFEPI 法を使用する理由	213
	脳動静脈奇形の drainer の描出	214
8	緩和時間の差を利用した非同期・非造影 MRA	214
+α	REACT を応用した black blood 画像	216
9	心電図同期併用 PC (phase contrast) 法	216
10	造影 MRA (contrast-enhanced MRA : CE-MRA)	218
+α	deep learning reconstruction を用いた多時相撮像	220
11	black blood imaging (BB imaging)	221

第7章 拡散と灌流

1	DWI (diffusion weighted imaging)	226
1)	拡散とは？	226
2)	DWI 画像で高信号を呈する機序	226
3)	DWI の臨床応用	227
4)	DWI の基本パラメータ	229
5)	cDWI (computed DWI)	234
6)	IVIM (intravoxel incoherent motion)	234
7)	DWI の歪みをコントロールする技術	235

+α	DWI-FLAIR ミスマッチによる脳梗塞発症時間の推定	228
	等方性拡散と異方性拡散	230
	b 値と最短 TE の関係	231
	なぜ “みかけ (apparent)” ?	235
	R factor と最短 TE の関係	237
	渦電流 (eddy current) とは ?	238
2	DTI (diffusion tensor imaging, 拡散テンソル画像)	238
	1) DTI とは	238
	2) DTI で算出される定量値	239
	3) DTT (diffusion tensor tractography) とは	240
+α	fiber tracking の神経追従方法	242
3	灌流画像 (perfusion imaging)	242
	1) 灌流画像とは	242
	2) DCE (dynamic contrast enhancement) 法	243
	3) DSC (dynamic susceptibility contrast) 法	244
	4) ASL (arterial spin labeling) 法	246
+α	コンパートメントモデルとは ?	244
	なぜ DSC 法の解析は信号値のままではダメなの ?	245
	ASL の最大のアドバンテージ～唯一の “完全非侵襲的” な灌流画像法	249
	CBF の計算方法	249
	アーチファクトか、重要なサインか～ATA の臨床的価値	250

第8章 特殊撮像法

1	VSRAD	253
+α	VOI 間萎縮比	254
2	fMRI (functional MRI)	255
+α	神経活動と血流変化のタイミングのずれ	259
	SPM の解析方法	263
3	MRS (MR spectroscopy)	267
4	血流解析・4D flow MRI	274
+α	日本における 4D flow MRI 撮像の黎明期	276
5	CEST (chemical exchange saturation transfer)	276
6	MR fingerprinting (MRF)	279
+α	従来の定量値取得法との違いは ?	280
7	HYDROPS 法	283

8	MR hydrography	288
	1) MRCP.....	288
	2) MR myelography.....	290
	3) MR urography.....	291
	4) MR cisternography.....	292
9	MR elastography (MRE)	293
	+α 日本における MRE の現状.....	298
	MRE の歴史.....	298
	撮像シーケンスの選択.....	298
10	心臓 MRI	298
	1) 心臓 cine.....	298
	+α 息止めができないときの対処法.....	301
	不整脈や徐脈などによって retrospective 法が使用できないときの対処法.....	302
	2) 心筋ストレイン解析.....	303
	3) 心筋 perfusion.....	304
	4) 遅延造影 (LGE).....	306
	+α PSIR (phase-sensitive IR) 法.....	309
	5) 冠動脈 MRA.....	309
	6) $T_1 \cdot T_2$ mapping/ECV.....	311
11	乳腺 MRI	314
	word ultra-fast DCE.....	315

第9章 造影剤

1	MR 造影剤とは	318
	+α MR 造影剤によって、なぜ緩和時間が変化するのか？.....	319
	なぜ、MRI 用造影剤に Gd が使用されるのか？.....	320
	細胞外液腔とは？.....	322
2	造影剤濃度と信号強度	322
	+α なぜ濃度によって異なるのか？.....	323
3	各種造影剤の特徴	324
	1) 細胞外液性 Gd 造影剤.....	324
	2) 肝特異性造影剤.....	324
	+α SPIO vs EOB.....	327
	3) 経口造影剤.....	327
	+α 塩化マンガン四水和物（ボースデル [®] ）が偽陽性を生む？.....	328

4	副作用	328
+α	アナフィラキシーとは？	329
	副作用予防と副作用時の対応	330
	Gd-EOB-DTPA が中リスク分類の理由	331
5	MRI 用造影剤の臨床使用	333

第10章 高磁場装置

1	SNR (signal to noise ratio)	337
2	T ₁ 値	338
3	磁化率効果	341
+α	高磁場装置における造影剤の T ₂ * 短縮効果	342
4	化学シフト	342
5	SAR (specific absorption rate)	344
6	磁場吸引力, 回転力 (トルク)	344

第11章 MRI の安全管理

1	MRI 環境における機器の安全性基準	345
2	添付文書の見方	346
3	傾斜磁場による相互作用：神経刺激および騒音	347
4	高周波 (RF パルス) による相互作用：加温作用	350
5	操作モード (静磁場強度・PNS・SAR・体内深部温度との関係)	353
6	クエンチ	354
7	吸引力 (並進力) とトルク (回転力)	356
8	その他	357
1)	体内金属	357
2)	心臓デバイス (心臓ペースメーカーなど)	358
+α	JADIA	359
3)	金属の吸引・吸着	359
4)	体外金属	361
5)	妊婦と胎児	362
6)	安全標識	362

第12章 性能評価測定方法

1 性能評価とは	364
1) 性能評価の目的	364
2) 性能評価用ファントム	364
3) 撮像・測定時の注意点	364
2 SNR (signal to noise ratio)	365
3 CNR (contrast to noise ratio)	369
4 画像均一性	371
+α ローパスフィルタの使用	372
5 スライス厚	372
+α 回転誤差の補正	375
6 空間分解能	375
7 緩和時間 (T ₁ 値, T ₂ 値)	377
8 みかけの拡散係数 (ADC 値)	379
● 主要メーカー別 MRI 撮像パラメータ・用語対応表	382
● 略語一覧	384
● 索引	388
● 執筆者一覧	397

【本書中の表記について】

❖ アンダーライン

黄 色：重要文を示しています

ピンク：診療放射線技師の国家試験において出題頻度が高い内容を示しています

❖ アイコン

側注 (●) (★)：用語解説や記載内容に関する補足事項，メーカー別名称を示しています

参照 (◆)：他のページに記載がある場合の参照先を示しています