

序

MRI（磁気共鳴画像法）は、現代医療において重要な診断ツールとして広く利用されています。その高いコントラスト分解能と非侵襲性から、患者の診断と治療において欠かせない存在となっています。しかし、MRIの原理や臓器別の診断法は複雑であり、理解することは容易ではありません。

この書籍『MRI 一問一答』は、放射線科医、一般臨床医、研修医、そして医学生を対象として、MRIに関する基本から応用までを網羅した問答形式の教材です。MRIの原理から始まり、臓器別の撮像法や疾患診断に関する知識を提供し、読者がMRIをより深く理解し、臨床での実践に役立てることを目指しています。

本書の特長は、専門家によって厳選された問題と解説が豊富に用意されている点です。各章ごとに、一般的な問題や臓器別の特殊なケースに関する質問が掲載され、それに対して明確に解説されています。また、図や画像を豊富に用いることで、読者が直感的に理解を深める手助けをしています。

MRIは技術の進歩とともに日々進化しており、臨床現場においても新たな知見が求められています。本書は、最新の研究成果や臨床経験に基づいて、読者が常に最新の知識をアップデートできるよう配慮されています。そのため、初学者から上級者まで、幅広い読者層に有益な情報を提供することができるでしょう。

MRIは医療の発展において欠かせないツールであり、その正確な解釈は患者の治療や管理に直結します。『MRI 一問一答』は、読者がより確かな知識を身につけ、MRIを臨床現場でより効果的に活用できるようサポートすることを目指しています。この書籍が、MRI診断に関する理解を深めるための貴重な手引きとなることを期待しています。

最後に、本書に協力していただいた分担著者の先生方と、綿密に編集してくださった株式会社Gakken メディカル出版事業部 編集課の皆様に感謝申し上げます。

2024年5月

平井 俊範

（編者を代表して）

MRI一問一答

撮像法選択と読影に“必ず”役立つ基礎知識

I 原理編 24

章編者：堀 正明，工藤 與亮

Q1 **MRI**とは何ですか？ 24
八坂 耕一郎，阿部 修

Q2 **MRI**と**CT**はどのように違うのですか？ 26
八坂 耕一郎，阿部 修

Q3 **静磁場**とは何のことですか？
MR装置の静磁場はどのように作られるのですか？ 28
村田 勝俊

Q4 **静磁場の力学的作用**は何ですか？ 31
村田 勝俊

Q5 **静磁場の違い**によって，どのような影響がありますか？ 34
黒田 輝

Q6 **安全性** **静磁場**は**人体への影響**はないのですか？ 36
黒田 輝

Q7 **傾斜磁場**とは何ですか？
磁場傾斜はどのように作られるのですか？ 38
梶沢 宏之

Q8 **傾斜磁場に影響するもの**は何ですか？ 40
梶沢 宏之

Q9 **最大傾斜磁場強度**や**スルーレート**の違いによって，
どのような影響がありますか？ 42
梶沢 宏之

Q10 **安全性** **傾斜磁場**は**人体への影響**はないのですか？ 44
黒田 輝

Q11 **RF**とは何ですか？ どのように作られるのですか？ 46
尾藤 良孝

Q12 **安全性** **RF磁場の安全性**で考慮すべきことは何ですか？ 48
黒田 輝

Q13 **磁気共鳴信号(電磁波)**はどのように
取得するのですか？ 50
尾藤 良孝

Q14 **MR信号の位置**はどのように特定するのですか？ 52
尾藤 良孝

Q15 **k空間**とは何のことですか？
k空間からMR画像はどのように作られるのですか？ 56
尾藤 良孝

Q16 **T1**とは何ですか？ 58
小島 隆行

Q17 **T2, T2***とは何ですか？ 60
小島 隆行

Q18 **磁化率**とは何ですか？ **反磁性体・常磁性体・
強磁性体**にはどんなものがありますか？ 62
尾藤 良孝

Q19 **パルスシーケンス**とは何ですか？ 64
梶沢 宏之

Q20 **SE法**とはどのようなシーケンスですか？ 66
藤間 憲幸

Q21	GRE法 とはどのようなシーケンスですか？	68
	藤間 憲幸	
Q22	EPI法 とはどのようなシーケンスですか？	70
	藤間 憲幸	
Q23	IR法, DIR法 とはどのようなシーケンスですか？	72
	米山 正己	
Q24	T1強調像 はどのように撮像しているのですか？	74
	鈴木 雄一, 佐藤 良	
Q25	T2強調像 はどのように撮像しているのですか？	76
	鈴木 雄一, 佐藤 良	
Q26	プロトン密度強調像 はどのように撮像しているのですか？	78
	鈴木 雄一, 佐藤 良	
Q27	FLAIR像 はどのように撮像しているのですか？	80
	鈴木 雄一, 佐藤 良	
Q28	T2*強調像 はどのように撮像しているのですか？	82
	鈴木 雄一, 佐藤 良	
Q29	MRA はどのように 動脈 を描出しているのですか？	84
	原田 邦明	
Q30	MRV はどのように 静脈 を描出しているのですか？	87
	原田 邦明	
Q31	MRS とは何ですか？	90
	相田 典子	
Q32	CESTイメージング とは何ですか？	94
	梶尾 理	
Q33	パラレルイメージング とは何ですか？	98
	米山 正己	

Q34	脂肪抑制画像(脂肪抑制法) とは何ですか？ どのような種類がありますか？	100
	米山 正己	
Q35	拡散MRI とは何ですか？ どのように活用するのですか？	102
	加藤 伸平, 八坂 耕一郎, 山口 晴臣, 古田 寿宏, 赤井 宏行, 阿部 修	
Q36	ASL とは何ですか？	104
	亀井 僚太郎, 野口 智幸	
Q37	DSC とは何ですか？	106
	亀井 僚太郎, 野口 智幸	
Q38	DCE とは何ですか？	108
	亀井 僚太郎, 野口 智幸	
Q39	磁化率強調像 とは何ですか？ どのように活用するのですか？	111
	原田 太以佑, 工藤 興亮	
Q40	MRI造影剤 にはどのようなものがありますか？	114
	高橋 昌哉	
Q41	安全性 ガドリニウム造影剤 は安全なのでしょうか？	116
	神田 知紀	
Q42	安全性 MR検査室に持ち込んではいけないもの はありますか？	118
	黒田 輝	
Q43	安全性 患者の 体内金属 は安全ですか？	121
	黒田 輝	
Q44	超偏極 とは何ですか？	124
	松尾 政之	
Q45	多核種イメージング とは何ですか？	128
	萩原 彰文	
Q46	AIリコン(再構成) について教えてください。	130
	中浦 猛	

II 臨床編 133

1) 頭部MRI 134

章編者：平井俊範，工藤與亮

Q1 頭部MRIでの病変分布の理解に重要な
大脳の解剖と撮像の基準線について教えてください。 134
與儀 彰

Q2 **錐体路**を描出するシーケンスは何ですか？
どの程度正確にわかりますか？ 138
渡邊 啓太，赤澤 健太郎，山田 恵

Q3 **視覚野**や**視路**はどのようなシーケンスで見えますか？ 140
北島 美香

Q4 **脳梗塞急性期**のMRIに必要なシーケンスは何ですか？
ASLは必要ですか？ 142
渡邊 嘉之

Q5 **成人の大脳白質病変**の診断に必要な
シーケンスを教えてください。 144
上谷 浩之，平井 俊範

Q6 **脳内出血**のT1強調像・T2強調像での**経時的变化**と
その機序を教えてください。 146
田北 大昂，三木 幸雄

Q7 **脳微小出血**の検出に有用なシーケンスは何ですか？
それはどのような疾患に有用ですか？ 148
原田 太以佑，工藤 與亮

Q8 **動静脈シャント性疾患**の診断に有用な
シーケンスは何ですか？ 150
上谷 浩之，平井 俊範

Q9 **グリオーマ**の診断に有用なシーケンスは何ですか？
灌流画像は必要ですか？ 153
桐尾 理

Q10 **転移性脳腫瘍**の診断に有用なシーケンスは何ですか？
造影剤投与量やタイミングを教えてください。 156
桐尾 理

Q11 **脳実質外腫瘍**の診断に有用なシーケンスは何ですか？ 159
上谷 浩之，平井 俊範

Q12 **多発性硬化症**などの**脱髄性疾患**を疑う際に
最適な撮像プロトコルを教えてください。 162
松下 周，三木 幸雄

Q13 **てんかん**の診断に有用なシーケンスは何ですか？ 164
加賀谷 理紗，佐藤 典子

Q14 **小脳橋角部腫瘍**の診断に有用なシーケンスは何ですか？
高分解能T2強調像は必要ですか？ 166
東 美菜子

Q15 **下垂体疾患**の診断に有用なシーケンスは何ですか？
ダイナミックMRIは必要ですか？ 168
東 美菜子

Q16 **頭部MRIの読影**の際に知っておくべき
アーチファクトについて教えてください。 170
長谷川 知仁，吉浦 敬

2) 頭頸部MRI 172

章編者：尾尻 博也

Q17 **鼻副鼻腔病変**においてCTとMRIをどのように
使い分けますか？ 造影剤投与は必要ですか？ 172
浮洲 龍太郎

Q18	聴神経腫瘍 のMRI検査について教えてください。 造影剤は必要ですか？	174
	内匠 浩二, 長野 広明, 中之蘭 良太, 吉浦 敬	

Q19	側頭骨病変 (聴神経腫瘍以外)において CTとMRIをどのように使い分けますか？	177
	馬場 亮, 尾尻 博也	

Q20	唾液腺腫瘍 においてMRIで何がわかりますか？	179
	柏木 伸夫	

Q21	頭頸部癌 においてCTとMRIをどのように 使い分けますか？	182
	檜山 貴志	

Q22	頭頸部 の検査において, 拡散強調像 は どのような疾患に役立ちますか？	184
	齋藤 尚子	

Q23	頭頸部MRI の読影の際に知っておくべき アーチファクト について教えてください。	186
	藤間 憲幸	

	3)乳房MRI	188
	章編者：久保田 一徳	

Q24	乳房MRI はどのような 時 に行い, どのような プロトコール で撮像しますか？	188
	佐藤 有紗, 藤岡 友之	

Q25	乳房MRI で レポート に書くべき 必須項目 を教えてください。	190
	森 美央	

Q26	術前乳房MRI における 乳管内進展 を疑う所見など, 広がり診断 の仕方について教えてください。	192
	佐竹 弘子	

Q27	乳房再建後, シリコンインプラント破損 の有無を どのように撮像しますか？	194
	菊池 真理	

Q28	乳房MRI の 拡散強調像 の利用法と 判定法について教えてください。	198
	後藤 眞理子	

Q29	乳房MRI の 治療効果判定 の仕方について 教えてください。	200
	本田 茉也	

Q30	乳房MRIガイド下生検 の適応と やり方について教えてください。	202
	戸崎 光宏	

Q31	乳房MRI の読影の際に知っておくべき アーチファクト について教えてください。	204
	久保田 一徳	

COLUMN	乳房MRI読影には時間がかかる？	207
	久保田 一徳	

	4)心臓MRI	208
	章編者：真鍋 徳子	

Q32	心臓MRI はどのような 疾患 の診断に役立ちますか？ 撮像プロトコール を教えてください。	208
	石田 正樹	

Q33	シネMRI はどのような撮像法で, どのような利点がありますか？	210
	城戸 倫之	

Q34	遅延造影MRI とはどのような撮像法で, どのような利点があるのですか？	212
	杉森 博行, 真鍋 徳子	

Q35 **T1マッピング**による評価は
どのような場合に役立ちますか？ 214
石田 正樹

Q36 **息止め不良**や**不整脈**の患者の撮像のポイントは？ 216
大浦 大輔

Q37 **T2マッピング**による評価は
どのような場合に役立ちますか？ 218
石田 正樹

Q38 **MRI対応ペースメーカー**挿入例の
心臓MRI撮像時の注意点は？ 220
福島 啓太

Q39 **心臓MRI**の読影の際に知っておくべき
アーチファクトについて教えてください。 222
杉森 博行, 真鍋 徳子

 **5)肝MRI** 224
章編者：西江 昭弘

Q40 **肝MRI撮像プロトコル**の基本を教えてください。 224
市川 新太郎, 五島 聡

Q41 **肝MRI**の読影の際に知っておくべき
アーチファクトについて教えてください。 227
鶴崎 正勝

Q42 **びまん性肝疾患**(線維化を除く)を
どのように撮像・読影しますか？ 230
祖父江 慶太郎

Q43 MRIで**肝線維化**はわかるのでしょうか？ 233
高山 幸久

Q44 **LI-RADS®**における**肝MRI**の
読影ポイントを教えてください。 236
山田 哲

Q45 肝MRI上, **肝細胞癌**にはどのような
バリエーションがありますか？ 238
藤田 展宏

Q46 **肝細胞癌**に類似する**良性結節**は
MRIでどのように鑑別しますか？ 240
小坂 一斗

Q47 **肝血管腫**と**胆管細胞癌・転移性肝腫瘍**の
MRIでの鑑別について教えてください。 244
友利 由佳理, 西江 昭弘

 **6)胆道系・膵MRI** 246
章編者：石神 康生

Q48 **MRCP**とはどのような検査法ですか？
MRCPが有用な膵胆道系疾患は何ですか？ 246
東 麻由美

Q49 **胆道系・膵 MRIプロトコル**の
基本と**アーチファクト**を教えてください。 248
藤田 展宏

Q50 **結石症**をどのように撮像・読影しますか？ 250
佐藤 圭亮

Q51 **膵癌**をどのように撮像・読影しますか？ 252
高司 亮, 浅山 良樹

Q52 **胆嚢腺筋腫症**をどのように撮像・読影しますか？ 254
柿原 大輔

Q53 胆嚢癌をどのように撮像・読影しますか？——256
高山 幸久

Q54 脾嚢胞性病変をどのように撮像・読影しますか？——258
宇賀 麻由

COLUMN 脾嚢胞性病変鑑別診断の留意点——261
石神 康生

7) 腎・副腎MRI——262 章編者：陣崎 雅弘

Q55 副腎, 腎, 尿路のMRI撮像法の違いを教えてください。——262
池田 織人, 秋田 大宇, 陣崎 雅弘

Q56 副腎MRIとCTとの使い分けを教えてください。
どのような場合にMRIを撮像するとよいでしょうか？——264
丹内 啓允, 高瀬 圭

Q57 腎臓や副腎での脂肪抑制・脂肪検出シーケンスの
使い分けを教えてください。——266
高橋 哲

Q58 腎腫瘍の質的診断において,
どのような場合にMRIを撮像するとよいですか？——268
中本 篤

Q59 上部尿路において, どのような場合に
MRIを撮像すると有効ですか？——270
秋田 大宇, 陣崎 雅弘

Q60 腎腫瘍, 尿路腫瘍の病期診断において,
どのような場合にMRIを撮像するとよいですか？——272
本田 有紀子

Q61 腎血管障害の診断に有用な撮像は何ですか？——274
中本 篤

8) 男性骨盤MRI——276 章編者：高橋 哲

Q62 前立腺MRIについて, **PI-RADS®**で推奨される
基本の**プロトコール**と評価法を教えてください。——276
上野 嘉子

Q63 前立腺MRIに造影は必要ですか？——280
玉田 勉

Q64 前立腺癌治療後に生化学的再発を来した時の
MRI撮像と評価法について教えてください。——282
北島 一宏

Q65 膀胱癌のMRIを適切に撮像するポイントと
工夫を教えてください。——286
重里 寛

Q66 VI-RADSについて教えてください。——288
竹内 充

Q67 股関節置換術後の症例で, **前立腺**や**膀胱**の
MRI撮像をどのように行えばよいでしょうか？——290
片平 和博

Q68 精巣腫瘍のMRIは撮らないとダメですか？
撮るなら何が必要ですか？——292
丸上 永晃

Q69 全身MRIによる前立腺癌の骨転移診断のために,
どのように撮像, 読影しますか？——294
中西 克之, 田中 優



9) 女性骨盤MRI

章編者：竹内 麻由美

298

- Q70** 女性骨盤MRIプロトコルの基本と
アーチファクトを教えてください。 298

竹内 麻由美, 松崎 健司, 原田 雅史

- Q71** 拡散強調像はどのような疾患に有用ですか？
ピットフォールについても教えてください。 301

竹内 麻由美, 松崎 健司, 原田 雅史

- Q72** 女性骨盤領域においてダイナミックMRI (DCE-MRI) は
どのような疾患に有用ですか？ 304

木戸 晶, 尾谷 智史, 桐田 光弘

- Q73** 子宮内膜症性嚢胞の症例をどのように撮像, 読影
しますか？ どのような時に造影しますか？ 306

中野 亮汰, 高濱 潤子

- Q74** 子宮筋腫・肉腫の症例をどのように撮像, 読影しますか？ 308

北井 里実

- Q75** 卵巣腫瘍基捻転疑いの症例を
どのように撮像, 読影しますか？ 311

藤井 進也

- Q76** 妊婦の虫垂炎疑いの症例を
どのように撮像, 読影しますか？ 313

本田 有紀子

- Q77** 胎盤評価のMRIプロトコールと
ピットフォールを教えてください。 315

宗近 次朗, 扇谷 芳光



10) 関節・骨軟部MRI

章編者：青木 隆敏

318

- Q78** 肩関節MRIプロトコールの基本と
ピットフォールを教えてください。 318

野崎 太希

- Q79** 肘関節MRIプロトコールの基本と
ピットフォールを教えてください。 320

橘川 薫

- Q80** 手関節MRIプロトコールの基本と
ピットフォールを教えてください。 322

山本 麻子, 宮崎 美津恵

- Q81** 膝関節MRIプロトコールの基本と
ピットフォールを教えてください。 324

高尾 正一郎

- Q82** 股関節MRIプロトコールの基本と
ピットフォールを教えてください。 327

大木 望, 上谷 雅孝

- Q83** 足関節MRIプロトコールの基本と
ピットフォールを教えてください。 329

小橋 由紋子

- Q84** 軟部腫瘍のMRIプロトコールの基本と
ピットフォールを教えてください。 332

長田 周治

- Q85** 骨軟部領域のMRI読影で注意を要する
アーチファクトは何ですか？ 334

林田 佳子, 青木 隆敏

Q86 骨軟部領域で拡散強調像は
どのような疾患に有用ですか？—— 336
田中 優, 中西 克之

Q87 骨軟部領域でダイナミックMRIは
どのような疾患に有用ですか？—— 338
福田 健志

 **11) 脊椎・脊髄MRI**—— 340
章編者：森 壱

Q88 脊椎・脊髄領域におけるMRIプロトコルの基本と
アーチファクト, ピットフォールを教えてください。—— 340
稲岡 努

Q89 頸椎症, 頸椎椎間板ヘルニアの診断に有用な
シーケンスを教えてください。—— 346
藤本 肇

Q90 椎体転移の診断に有用なシーケンスを教えてください。—— 348
前田 正幸

Q91 椎間板炎/椎体炎の診断に有用な
シーケンスを教えてください。—— 350
神島 保

Q92 脊椎硬膜動静脈瘻の症例を
どのように撮像, 読影しますか？—— 352
上谷 浩之, 平井 俊範

Q93 脳脊髄液漏出症の症例をどのように撮像, 読影しますか？
ルーチンに加えるべきシーケンスを教えてください。—— 354
鹿戸 将史

Q94 脊髄空洞症の診断に有用な**シーケンス**は何ですか？
造影は必要ですか？—— 356
柳下 章

執筆者一覧

● 編者	平井俊範	熊本大学大学院生命科学研究部放射線診断学講座
	工藤興亮	北海道大学大学院医学研究院放射線科学分野画像診断学教室
● 章編者	堀 正明	東邦大学医療センター大森病院放射線科
	尾尻博也	東京慈恵会医科大学放射線医学講座
	久保田一徳	獨協医科大学医学部・埼玉医療センター放射線科
	真鍋徳子	自治医科大学附属さいたま医療センター放射線科
	西江昭弘	琉球大学大学院医学研究科放射線診断治療学講座
	石神康生	九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学分野
	陣崎雅弘	慶應義塾大学医学部放射線科学教室(診断)
	高橋 哲	高槻病院イメージングリサーチセンター
	竹内麻由美	徳島大学医学部放射線科
	青木隆敏	産業医科大学放射線科学講座
● 執筆者	森 壱	自治医科大学医学部放射線医学講座
	八坂耕一郎	東京大学医学部附属病院放射線科
	阿部 修	東京大学医学部放射線医学教室
	村田勝俊	シーメンスヘルスケア株式会社
	黒田 輝	東海大学情報理工学部情報科学科
	柊沢宏之	国際医療福祉大学成田保健医療学部放射線・情報科学科
	尾藤良孝	北海道大学大学院医学研究院放射線科学分野画像診断学教室 (前 富士フイルムヘルスケア株式会社)
	小島隆行	量子科学技術研究開発機構分子イメージング診断治療研究部
	藤間憲幸	北海道大学病院放射線診断科
	米山正己	株式会社フィリップス・ジャパン
	鈴木雄一	東京大学医学部附属病院放射線部
	佐藤 良	東京大学医学部附属病院放射線部
	原田邦明	日本医療大学保健医療学部診療放射線学科
	相田典子	神奈川県立こども医療センター放射線科／横浜市立大学医学部放射線診断科
	柊尾 理	九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学分野
	加藤伸平	東京大学医科学研究所附属病院放射線科
	山口晴臣	東京大学医科学研究所附属病院放射線科
	古田寿宏	東京大学医科学研究所附属病院放射線科
	赤井宏行	東京大学医科学研究所附属病院放射線科
	亀井僚太郎	遠賀中間医師会おんが病院放射線科
	野口智幸	九州医療センター放射線科

●執筆者	原田太以佑	北海道大学大学院医学研究院放射線科学分野画像診断学教室
	高橋昌哉	順天堂大学大学院保健医療学・医学研究科画像診断学講座
	神田知紀	神戸大学大学院医学研究科放射線医学分野
	松尾政之	岐阜大学医学部放射線科
	萩原彰文	順天堂大学医学部附属順天堂医院放射線科
	中浦 猛	熊本大学大学院生命科学研究部放射線診断学講座
	與儀 彰	琉球大学大学院医学研究科放射線科診断治療学講座
	渡邊啓太	京都府立医科大学大学院医学研究科放射線診断治療学講座
	赤澤健太郎	京都府立医科大学大学院医学研究科放射線診断治療学講座
	山田 惠	京都府立医科大学大学院医学研究科放射線診断治療学講座
	北島美香	熊本大学大学院生命科学研究部画像診断技術学講座
	渡邊嘉之	滋賀医科大学放射線医学講座
	上谷浩之	熊本大学大学院生命科学研究部放射線診断学講座
	田北大昂	大阪公立大学大学院医学研究科放射線診断学・IVR学
	三木幸雄	大阪公立大学大学院医学研究科放射線診断学・IVR学
	松下 周	大阪公立大学大学院医学研究科放射線診断学・IVR学
	加賀谷理紗	国立精神・神経医療研究センター病院放射線診療部
	佐藤典子	国立精神・神経医療研究センター病院放射線診療部
	東 美菜子	宮崎大学医学部病態解析医学講座放射線医学分野
	長谷川知仁	鹿児島大学大学院医歯学総合研究科放射線診断治療学
	吉浦 敬	鹿児島大学大学院医歯学総合研究科放射線診断治療学
	浮洲龍太郎	北里大学医学部放射線科学画像診断学
	内匠浩二	鹿児島大学大学院医歯学総合研究科放射線診断治療学
	長野広明	鹿児島大学大学院医歯学総合研究科放射線診断治療学
	中之蘭良太	鹿児島大学大学院医歯学総合研究科放射線診断治療学
	馬場 亮	東京慈恵会医科大学放射線医学講座
	柏木伸夫	大阪国際がんセンター放射線診断IVR科・アイントープ診療科
	檜山貴志	国立がん研究センター東病院放射線診断科
	齋藤尚子	順天堂大学医学部附属順天堂医院放射線科
	佐藤有紗	新渡戸記念中野総合病院放射線科
	藤岡友之	東京医科歯科大学放射線診断科
	森 美央	東京都立豊島病院放射線科／東京医科歯科大学放射線診断科
	佐竹弘子	名古屋大学医学部附属病院放射線部

●執筆者	菊池真理	東邦大学医療センター大橋病院放射線科
	後藤眞理子	京都府立医科大学大学院医学研究科 放射線診断治療学
	本田茉也	関西電力病院放射線診断科／京都大学大学院医学研究科放射線医学講座 (画像診断学・核医学)
	戸崎光宏	相良病院放射線科
	石田正樹	三重大学大学院医学系研究科放射線医学
	城戸倫之	愛媛大学大学院医学系研究科放射線医学
	杉森博行	北海道大学大学院保健科学研究院医学生理工学分野
	大浦大輔	小樽市立病院放射線室
	福島啓太	杏林大学医学部付属病院放射線部
	市川新太郎	浜松医科大学放射線診断学講座
	五島 聡	浜松医科大学放射線診断学講座
	鶴崎正勝	関西医科大学総合医療センター放射線科
	祖父江慶太郎	神戸大学医学部附属病院放射線診断・IVR科
	高山幸久	福岡大学医学部放射線医学教室
	山田 哲	信州大学医学部医療データサイエンス講座
	藤田展宏	九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学分野
	小坂一斗	金沢大学附属病院放射線科
	友利由佳理	琉球大学大学院医学研究科放射線診断治療学講座
	東 麻由美	山口大学大学院医学系研究科放射線医学分野
	佐藤圭亮	福岡大学医学部放射線医学教室
	高司 亮	大分大学医学部放射線医学講座
	浅山良樹	大分大学医学部放射線医学講座
	柿原大輔	九州中央病院放射線科
	宇賀麻由	国立病院機構岡山医療センター放射線科
	池田織人	慶應義塾大学医学部放射線科学教室(診断)
	秋田大宇	慶應義塾大学医学部放射線科学教室(診断)
	丹内啓允	東北大学大学院医学系研究科放射線診断学分野
	高瀬 圭	東北大学大学院医学系研究科放射線診断学分野
	中本 篤	大阪大学大学院医学系研究科次世代画像診断学共同研究講座
	本田有紀子	広島大学大学院医系科学研究科放射線診断学研究室
	上野嘉子	神戸大学医学部附属病院放射線診断・IVR科
	玉田 勉	川崎医科大学放射線診断学
	北島一宏	兵庫医科大学放射線医学教室
	重里 寛	大阪医科薬科大学放射線診断学教室

●執筆者	竹内 充	有限会社ラジオネット東海
	片平和博	熊本中央病院放射線科
	丸上永晃	奈良県立医科大学総合画像診断センター
	中西克之	大阪国際がんセンター放射線診断・IVR科
	田中 優	大阪国際がんセンター放射線診断・IVR科
	松崎健司	徳島大学医学部放射線科
	原田雅史	徳島大学医学部放射線科
	木戸 晶	富山大学附属病院放射線診断科
	尾谷智史	京都市立病院放射線科
	桐田光弘	京都大学大学院医学研究科放射線医学講座
	中野亮汰	市立東大阪医療センター放射線科
	高濱潤子	市立東大阪医療センター放射線科
	北井里実	がん研有明病院画像診断部
	藤井進也	鳥取大学医学部統合内科医学講座画像診断治療学分野
	宗近次朗	昭和大学医学部放射線医学講座
	扇谷芳光	昭和大学医学部放射線医学講座
	野崎太希	慶應義塾大学医学部放射線科学教室(診断)
	橘川 薫	千葉大学医学部附属病院画像診断センター
	山本麻子	帝京大学医学部附属病院放射線科
	宮崎美津恵	カリフォルニア大学サンディエゴ校放射線科
	高尾正一郎	徳島大学医歯薬学研究部 医用画像解析学分野
	大木 望	長崎大学大学院医歯薬学総合研究科放射線診断治療学
	上谷雅孝	稲仁会三原台病院
	小橋由紋子	日本大学医学部附属板橋病院放射線診断科
	長田周治	久留米大学医学部放射線医学教室
	林田佳子	産業医科大学放射線科学講座
	福田健志	東京慈恵会医科大学放射線医学講座
	稲岡 努	東邦大学佐倉病院放射線科
	藤本 肇	沼津市立病院放射線科
	前田正幸	三重大学大学院地域支援神経放射線診断学講座
	神島 保	北海道大学大学院保健科学研究院医用生体理工学分野
	鹿戸将史	山形大学大学院医学系研究科放射線医学講座
	柳下 章	東京都立神経病院神経放射線科

I 章

原理編

CEST イメージングとは何ですか？

A

- chemical exchange saturation transfer (CEST) イメージングとは、**プロトン交換**という現象を利用した新しいコントラストに基づく**MR分子イメージング**である。
- 通常のMRIでは画像化できない**微量な代謝化合物をマッピング**することができる。
- **amide proton transfer (APT) 強調イメージング**は**グリオーマの悪性度評価や病勢評価に有用**で、**体幹部腫瘍へ応用**されている。

▶ CEST イメージング

chemical exchange (化学的交換)：異なる周波数にある2つのプロトンのプール間でプロトンの交換が起こる現象。

saturation transfer (飽和移動)：この交換により飽和されたプロトンが別のプロトンプールに移動する現象¹⁾。

CEST イメージングの原理 (図1)：画像化を行いたい直接信号を得ることができない**低濃度の溶質に含まれるプロトンの周波数に、選択的に飽和パルス**を照射する。飽和されたプロトンは周囲の巨大な水のプール(バルク水)のプロトンと交換され、バルク水に移動し、その信号を低下させる。この信号低下は**CEST 効果**と呼ばれ、低濃度溶質の濃度を反映する。すなわち、**低濃度溶質の濃度をバルク水の信号変化を通して間接的に、かつ著明に増幅された感度で評価すること**がCESTの目的である。

生体内でプロトンの化学交換が可能なのは、アミド(-NH)とヒドロキシル(-OH)のプロトンであり、これらを含んだ分子がCESTイメージングの対象となる。CESTイメージングでは、対象とするプロトンの周波数(+ α ppm)とバルク水を挟んだ反対側の周波数(- α ppm)の画像の差分を行い、それを飽和パルスなしで撮像したリファレンス画像で除すことで、簡易的な半定量的マップが得られる。プロトンの交換に十分な時間が必要なため、500ms～数秒の長い飽和パルスを用いる。磁場の不均一性の影響を受けやすいため、その補正が必要となる。

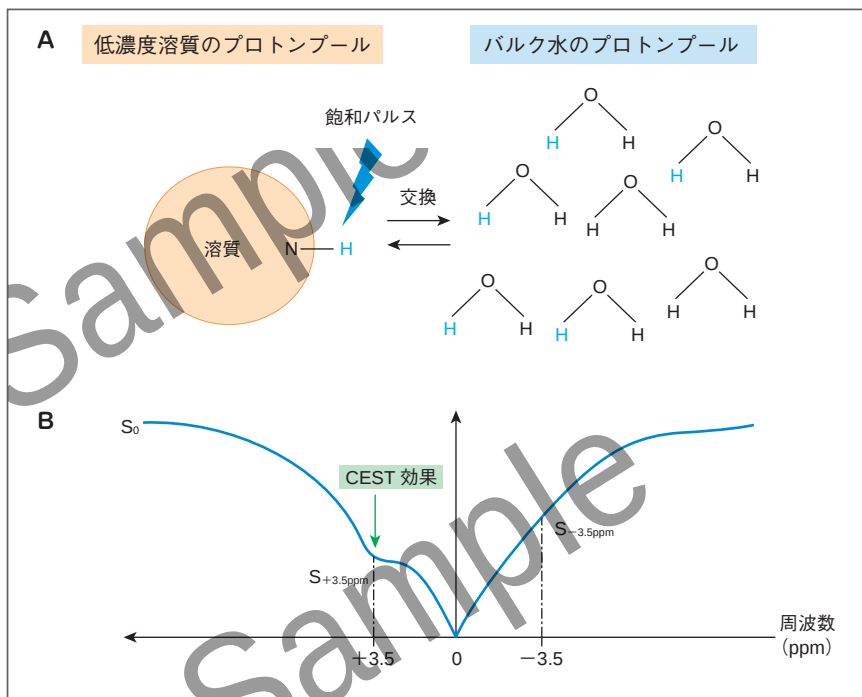


図1 CESTイメージングの基本原理

A: 溶質 (APTでは蛋白質/ペプチド) に含まれる交換可能なプロトン (APTではアミドプロトン) は、バルク水との間で交換される。飽和パルスを照射すると、飽和されたプロトンが交換によりバルク水に移行する。

B: ズスペクトルは、飽和パルスの周波数を連続的に変化させながらバルク水の信号変化を観察したものである。バルク水の周波数 (0ppm) では、水分子が直接的に飽和されることによる大きな信号低下が観察されるが、バルク水から遠く離れた周波数ではバルク水の信号に変化は生じない。しかし、交換可能なプロトンの周波数では、プロトンの交換によりバルク水の信号低下、すなわちCEST効果がみられる。APTでは、+3.5ppm付近にてアミドプロトンの交換によるバルク水の信号低下が観察される。バルク水を挟んだ反対側の周波数の信号強度との差により、CEST効果が表される。

▶ APT強調イメージング

3T MRI装置で撮像可能なCESTイメージングである²⁾。この手法では生体内の可動性蛋白質/ペプチドに含まれるアミド (-NH) に基づくコントラストを得る。**アミドプロトンの共鳴周波数+3.5ppmでのCESTイメージングを行うことで、組織中の可動性蛋白質・ペプチドの濃度を反映した画像が得られる (図1-B)。** APT強調イメージングの臨床応用として、グリオーマの悪性度評価がある。びま

A～C (各々) 左上：FLAIR像，右上：造影後T1強調像，下：APT強調像

A astrocytoma, IDH-mutant, CNS WHO grade 2

B astrocytoma, IDH-mutant, CNS WHO grade 3

C astrocytoma, IDH-mutant, CNS WHO grade 4

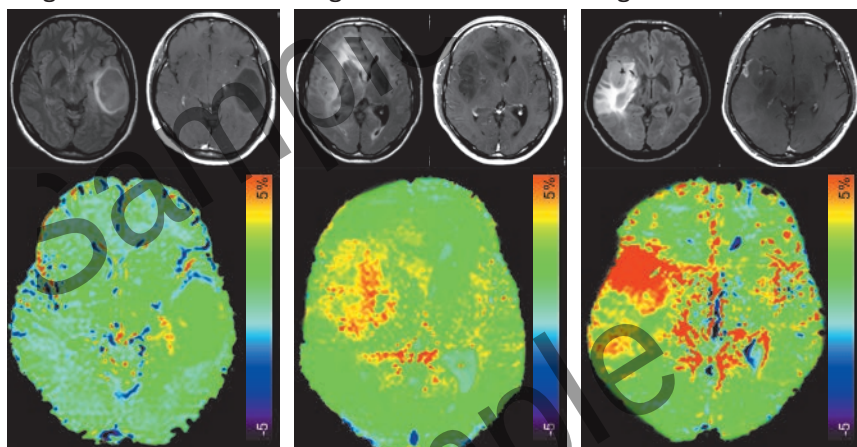


図2 グリオーマ (astrocytoma, IDH-mutant) の悪性度評価における APT 強調イメージングの有用性

A：30代，女性，B：40代，男性，C：30代，男性

A～C：CNS WHO grade 2 (A)，grade 3 (B)，grade 4 (C) の症例。腫瘍の APT 強調像における信号は，悪性度の上昇に伴い高い値を示す。

ん性グリオーマの悪性度が高いほど有意に信号が上昇し，悪性度推定に有用であったと報告されている³⁾。

図2 に，異なる悪性度のグリオーマの APT 強調像を示す。この悪性度の上昇による APT 信号の上昇は，細胞密度の上昇による細胞質内蛋白質の増加や，壊死や間質に含まれる細胞外の蛋白質成分の増加などが原因として考えられる。グリオーマ患者の治療マネージメントにおいて，腫瘍の病勢把握や治療効果の判定が重要となる。

APT 強調イメージングでは，グリオーマの悪性度の経時的な上昇や化学放射線療法による治療効果 (図3)，化学療法や放射線療法による治療関連効果 (偽進行や放射線壊死) と腫瘍進行・再発との鑑別などにおける有用性が報告されている^{4) 5)}。

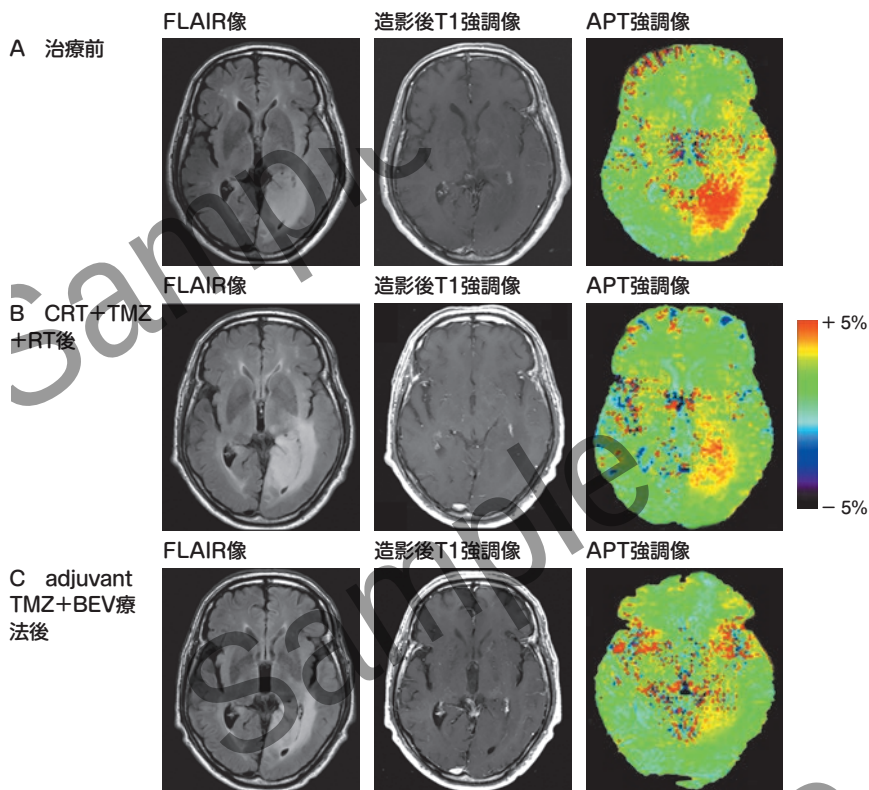


図3 70代、男性 退形成性星細胞腫，IDH-wildtype，grade 3 (WHO 2016分類による)

A: 治療前には、左側頭後頭葉にFLAIR像で高信号、造影増強効果のない腫瘤があり、APT強調像では高信号を示している。

B: テモゾロミド放射線同期療法 (CRT + TMZ + RT) 後には、FLAIR像での高信号の範囲にはまだ変化はないが、APT強調像での信号は低下している。

C: adjuvant TMZおよびベバシズマブ (BEV) 療法後では、FLAIR高信号の範囲は縮小、APT強調像での信号はさらに低下している。APT強調像は、治療効果を形態評価よりも早期からとらえることができる可能性がある。

- 参考文献** 1) Ward KM, et al: A new class of contrast agents for MRI based on proton chemical exchange dependent saturation transfer (CEST). J Magn Reson 143: 79-87, 2000.
- 2) Zhou J, et al: Using the amide proton signals of intracellular proteins and peptides to detect pH effects in MRI. Nat Med 9: 1085-1090, 2003.
- 3) Togao O, et al: Amide proton transfer imaging of adult diffuse gliomas: correlation with histopathological grades. Neuro Oncol 16: 441-448, 2014.
- 4) Sagiya K, et al: In vivo chemical exchange saturation transfer imaging allows early detection of a therapeutic response in glioblastoma. Proc Natl Acad Sci USA 111: 4542-4547, 2014.
- 5) Park KJ, et al: Added value of amide proton transfer imaging to conventional and perfusion MR imaging for evaluating the treatment response of newly diagnosed glioblastoma. Eur Radiol 26: 4390-4403, 2016.

(梅尾 理)