

# 第 28 回 臨床 MR 脳機能研究会 プログラム・抄録集

日 時 : 2016 年 3 月 19 日 (土) 10:30 ~ 17:40  
場 所 : ちよだプラットフォームスクウェア  
本館 5F (504・505・506)  
東京都千代田区神田錦町 3-21

参 加 費 : 2,000 円

当 番 世 話 人 : 五十嵐 博中  
新潟大学 脳研究所 統合脳機能研究センター  
原田 雅史  
徳島大学大学院医歯薬学研究部 放射線医学分野  
共催 LA システム株式会社

後 援 : 一般社団法人 日本磁気共鳴医学会

## 【会場地図】



### 【電車・タクシーでのアクセス】

竹橋駅（東西線） 3b KKR ホテル東京玄関前出口より徒歩 2分

神保町駅（三田線・新宿線・半蔵門線） A9 出口より徒歩 7分

大手町駅（三田線・千代田線・半蔵門線・丸の内線） C2b 出口より徒歩 8分

小川町駅（新宿線・千代田線） B7 出口より徒歩 8分

JR 神田駅 西口出口・出世不動通りより徒歩 12分

東京駅からタクシーで 5～10分程度

丸の内シャトル 日比谷、有楽町地区と結んだ無料シャトルバスも便利です。

## 臨床 MR 脳機能研究会 世話人

順天堂大学医学部 放射線科	青木 茂 樹
新潟大学脳研究所 統合脳機能研究センター	五十嵐 博中
明治国際医療大学附属病院	梅田 雅宏
亀田総合病院 画像診断センター	大内 敏宏
福井大学医学部病態解析医学講座 放射線医学領域	木村 浩彦
岩手医科大学 超高磁場 MRI 診断・病態研究部門	佐々木 真理
新潟大学脳研究所 統合脳機能研究センター	鈴木 雄治
東京女子医大八千代医療センター 小児科	高梨 潤一
明治国際医療大学 脳神経外科学教室	田中 忠蔵
新潟大学脳研究所 統合脳機能研究センター	中田 力
医療法人協和会 千里中央病院	成 富 博章
第二岡本総合病院 健診事業	成瀬 昭二
徳島大学大学院医歯薬学研究部 放射線医学分野	原田 雅史
自然科学研究機構 生理学研究所 心理生理学研究部門	福永 雅喜
北海道大学 脳神経外科	寶金 清博
鎌ヶ谷総合病院	湯浅 龍彦

(敬称略 五十音順)

# プログラム

## 午前 LCMoel ユーザーミーティング

LAS 主催

10:30 ~ 12:00

(1 演題あたり発表 30 分)

1. LCMoel 操作説明 - パラメーターセティングについて (10:30-11:00)  
安田 幸二 / LASystems
2. LCMoel に基づいた 1H-CSI 解析で作成する代謝画像描出ソフトの開発 (11:00-11:30)  
梅田 雅宏 / 明治国際医療大学
3. 脳疾患の MR 分子イメージング - 1H-magnetic resonance spectroscopy を中心に )  
(11:30-12:00)  
五十嵐 博中 / 新潟大学脳研究所 統合脳機能研究センター

休憩 1 時間

## 午後 一般演題

臨床 MR 脳機能研究会・LAS 共催

13:00 ~ 13:40

(1 演題あたり発表 8 分、質疑 2 分)

座長 木村 浩彦

1. けいれん重積型 (二相性) 急性脳症 (AESD) におけるグルタミン酸 - グルタミンサイクル (13:00-13:10)  
○高梨 潤一、森山 陽子、吉丸 大輔、白戸 由理、林 北見  
東京女子医科大学八千代医療センター小児科
2. 静脈洞 MR 信号揺らぎ解析：細動脈収縮拡張機能情報の取得 (13:10-13:20)  
○唐 明輝、西 慶悟、山本 徹  
北海道大学大学院保健科学院 / 北海道大学大学院保健科学研究院
3. fMRI ガイド下 TMS 法を用いた聴覚性言語処理に関する検討 (13:20-13:30)  
○村上 丈伸、Christian Kell、Julia Restle、宇川 義一、Ulf Ziemann  
福島県立医科大学神経内科 / 先端臨床研究センター

#### 4. 脊髄の神経路画像について (13:30-13:40)

○松澤 等、浦川 貴朗、渡辺 将樹、五十嵐 博中、中田 力  
新潟大学脳研究所 統合脳機能研究センター

休憩 10分

## シンポジウム「脳の flow imaging」[ 臨床 MR 脳機能シンポジウム ]

13:50 ~ 15:50

(1 演題あたり発表 20 分)

座長 梅田 雅宏

座長 鈴木 雄治

#### 1. 脳血管の画像解剖 (13:50-14:10)

○岡本 浩一郎 / 新潟大学 脳研究所 脳神経外科

#### 2. Neurovascular unit における機能的可塑性イメージング：二光子顕微鏡法による解析 (14:10-14:30)

○正本 和人、菅野 巖

電気通信大学脳科学ライフサポート研究センター

放射線医学総合研究所分子イメージング研究センター

#### 3. 神経血管カップリングの生理学的な背景 (14:30-14:50)

○高橋 慎一 / 慶應義塾大学医学部神経内科

#### 4. BOLD 信号に基づく血流トラッキング (ラグマッピング) の再現性と臨床応用 (14:50-15:10)

○麻生 俊彦、福山 秀直 / 京都大学大学院 医学研究科附属 脳機能総合研究センター

#### 5. Arterial Spin Labeling (ASL) MR 灌流画像：最近の動向 (15:10-15:30)

○木村 浩彦 / 福井大学 医学部 放射線医学

#### 6. 毛細血管血流を診る、静脈血成分を診る：intravoxel incoherent motion (IVIM) imaging と Susceptibility-weighted imaging(SWI)(15:30-15:50)

○井田 正博、小野寺 聡之、若山 季樹 / 荏原病院放射線科

休憩 10分

## 特別講演 [ 臨床 MR 脳機能シンポジウム ]

16 : 00 ~ 17 : 40

(1 演題あたり 30 ~ 40 分 討論 10 分程度)

座長 原田 雅史

### 1. 光画像診断の可能性～拡散光トモグラフィ (16:00-16:50)

○星 詳子

浜松医科大学 光先端医学教育研究センター

フォトニクス医学研究部 生体医用光学研究室

座長 五十嵐 博中

### 2. 高温超伝導マグネットを用いたMR I 装置の開発 (16:50-17:40)

○福山 秀直 / 京都大学 学際融合教育研究推進センター

抄 録 集

## ❖ 一般演題

---

### 1. けいれん重積型（二相性）急性脳症（AESD）におけるグルタミン酸 - グルタミンサイクル

○高梨 潤一、森山 陽子、吉丸 大輔、白戸 由理、林 北見  
東京女子医科大学八千代医療センター小児科

けいれん重積型（二相性）急性脳症 (acute encephalopathy with biphasic seizures and late reduced diffusion: AESD) は二相性の臨床経過と遅発性の拡散能低下を特徴とする日本の小児特有の脳症症候群である。我々は MR spectroscopy にてグルタミン酸 (Glu) + グルタミン (Gln) = Glx の高値を報告 (Takanashi J, et al. AJNR 2009) し、Glu による興奮毒性を提唱したが、未だ Glu, Gln 個別の動態は検討されていない。

方法：対象は 7 例の AESD 患者（男児 5 例、女児 2 例、全例 1 歳）である。MRI と同時に MR spectroscopy (PRESS, TR=5,000, TE=30, ROI は前頭葉白質病変部) を施行し、LCModel を用いて Glutamate (Glu), Glutamine (Gln) を定量解析した。撮像は 2 例で 4 回、1 例で 3 回、3 例で 2 回、1 例で 1 回施行した。

結果：Glu は 1-4 病日で高値 (4/5 検査)、以後正常ないし低下した。Gln は 1-2 病日で正常 (3/3 検査)、4-12 病日で高値 (7/7 検査)、以後正常ないし低下した。

考案：AESD 急性期に Glu が上昇し、入れ替わるように亜急性期に Gln が上昇する。興奮性神経伝達物質である Glu はシナプス内に放出されると、Glu トランスポーターによりアストログリアに取り込まれる。そこでグルタミン合成酵素 (GS) によりグルタミンに解毒される。MR spectroscopy は、その変化を観察していると考えられた。

### 2. 静脈洞 MR 信号揺らぎ解析：細動脈収縮拡張機能情報の取得

○唐明輝<sup>1</sup>、西慶悟<sup>1</sup>、山本徹<sup>2</sup>

1 北海道大学大学院保健科学院

2 北海道大学大学院保健科学研究所

**【はじめに】** 細動脈は呼吸に連動した動脈血二酸化炭素分圧 (PaCO<sub>2</sub>) 変動により収縮拡張し、それに伴う静脈血酸素飽和度の呼吸周期揺らぎが細動脈収縮拡張機能の指標となる。我々は、頭部最大の静脈である上矢状静脈洞の時系列 MR 信号から静脈血酸素飽和度揺らぎの呼吸成分 ( $\Delta Yr$ ) を求める方法を開発した。本研究では、この方法により求まる  $\Delta Yr$  が血中 CO<sub>2</sub> 変化に起因する細動脈の収縮拡張を反映していることを確かめるため、呼吸の深さにより PaCO<sub>2</sub> を変え、それに伴う  $\Delta Yr$  の変化を求め、さらに  $\Delta Yr$  の年齢依存性も調べた。

**【方法】** 健康成人ボランティア 20 歳代 14 名 (23.9 ± 2.0 歳)、40 歳代 5 名 (45.0 ± 2.8 歳) を対象に、上矢状静脈洞に直交するシングルスライス (7 – 15 mm 厚) を設定し、SE-EPI (TR = 250 ms) を用いて 45 秒間の連続撮像を行った。このとき、メトロノームを用いて撮像中の呼吸周期を 15 回/分 (0.25 Hz) に固定した。また、PaCO<sub>2</sub> 変化による  $\Delta Yr$  の変化を求めるため、浅い呼吸、通常呼吸、深い呼吸の状態それぞれ撮像を行うとともに同様な呼吸状態下での呼気終末二酸化炭素分圧 (etCO<sub>2</sub>) を測定した。得られた上矢状静脈洞の時系列データをフーリエ変換し、呼吸周波数範囲 (0.2 ~ 0.3 Hz) のスペクトル強度を計測した。導出した理論式にしたがい、平均信号強度と計測したスペクトル強度の散布図の近似直線の傾きから  $\Delta Yr$  を算出し、異なる呼吸状態での変化および年齢依存性を調べた。

**【結果と考察】** それぞれの呼吸状態の 20 歳代の  $\Delta Yr$  は、浅い呼吸で ± 0.7% (標準偏差)、通常呼吸で ± 1.1%、深い呼吸で ± 1.8% であり、etCO<sub>2</sub> が低下すると  $\Delta Yr$  の大きさが増大する傾向がみられた ( $p < 0.05$ )。平均 PaCO<sub>2</sub> に依存して脳血流量は変化するが、安静時に平均 PaCO<sub>2</sub> が低下し血流量が低下すると呼吸周期の PaCO<sub>2</sub> 変化が増し、細動脈の収縮拡張が増えることで  $\Delta Yr$  は増大する。したがって、PaCO<sub>2</sub> と相関する値である etCO<sub>2</sub> に依存して変動する  $\Delta Yr$  は、細動脈の収縮拡張機能を反映しているといえる。また、40 歳代の  $\Delta Yr$  は 20 歳代同様に呼吸深度順に ± 0.1%、± 0.6%、± 1.1% と増大傾向がみられたが、浅い呼吸と通常呼吸で 20 歳代より有意に低下し ( $p < 0.05$ )、加齢による細動脈機能の劣化が示唆された。

**【結論】** 上矢状静脈洞の時系列 MR 信号の揺らぎは静脈血酸素飽和度揺らぎの呼吸成分を含んでおり、その成分は細動脈機能を反映していることを確認した。40 歳代の  $\Delta Yr$  が 20 歳代より低下していることから、加齢による細動脈機能の劣化が示唆された。

### 3. fMRI ガイド下 TMS 法を用いた聴覚性言語処理に関する検討

○村上 丈伸、Christian Kell、Julia Restle、宇川 義一、Ulf Ziemann

福島県立医科大学神経内科

先端臨床研究センター

#### 【目的】

近年の脳機能イメージング研究から、脳内の聴覚性言語処理過程は優位半球の背側路と腹側路とからなり、それぞれが音から発話への変換（感覚運動連関）、音から意味理解への変換に関与することが提唱されている。しかし包括的な検討は未だに不十分である。fMRI ガイド下経頭蓋磁気刺激法（TMS）を用いて背側路 / 腹側路の脳領域に virtual lesion を作成し、聴覚性言語処理におけるそれらの役割について詳細に検討した。

#### 【方法】

19 人の右利き健常成人を対象とした。左半球の背側路を構成する上側頭溝後部（pSTS）、頭頂側頭境界部（SPT）、下前頭回後部（pIFG）、運動前野背側部（dPMC）と、腹側路に位置する上側頭回前部（aSTG）、対照領域として視覚情報処理に関連した中後頭回（MOG）に抑制性刺激の cTBS を行った（off-line virtual lesion 法）。左一次運動野に単発 TMS を行い、他者のスピーチを聞いている最中の運動誘発電位（MEP）を右口輪筋より記録した。また音声の認識や復唱、物品呼称課題を行った。MEP 記録と行動学的課題は cTBS を行った後に施行し、cTBS を行う脳領域の順番はランダムに決定した。

#### 【結果】

cTBS を pSTS と SPT の各々に行った場合と、pIFG と dPMC の両方に行った場合には、スピーチに関連した MEP 増大は消失したが、pIFG, dPMC 単独や aSTG, MOG に行った場合ではスピーチに関連した MEP 増大を制御できなかった。背側路に位置する脳領域に cTBS を行うと音韻的エラーが増大したが、腹側路にある aSTG では意味的エラーが増加した。聴覚情報処理に関与しない MOG に cTBS を行った場合には、スピーチに関連した MEP 増大と音韻復唱とに有意な相関を認めたが、背側路領域への cTBS により消失した。

#### 【結論】

本研究結果から優位半球背側路は①音韻レベルで聴覚情報を運動出力に変換する役割を持ち、②頭頂側頭領域から前頭部へは背背側路と腹背側路とに分かれてパラレルに投射する。一方腹側路は③意味理解に関与することが確認された。

### 4. 脊髄の神経路画像について

○松澤 等<sup>1)</sup>、浦川貴朗<sup>2)</sup>、渡辺将樹<sup>1)</sup>、五十嵐博中<sup>1)</sup>、中田力<sup>1)</sup>

- 1) 新潟大学脳研究所 統合脳機能研究センター
- 2) 新潟大学大学院医歯学総合研究科整形外科学分野

神経路画像は、MRI の拡散強調画像を解析した結果から作られた白質の画像であり、頭部においては綺麗な画像を目にする機会が増えているが、一方で脊髄の神経路の描出に関しては、散見する報告もあまり説得力のある画像とは言えない事が多い。これは脊髄の場合、神経路描出のための元データである拡散強調画像の画質が以下の理由で劣化しがちであることが理由である。

- ・骨構造である脊柱管が近傍にあること。
- ・拍動する髄液が周囲を取り囲んでいること。
- ・脊髄は“空間的に細長い”分布をしていること。

したがって脊髄のいわゆる“テンソル解析”の計算精度は、ノイズや拡散強調傾斜磁場の軸、方向の厳密性等に強く依存し、場合により大きな精度低下を起こす可能性がある。一方で、“計算画像”の数値のマッピング技法ではなく、拡散の不等方特性を直接の画像コントラストとして描出する手法も存在する。

あたかも神経線維を描いているように見える脊髄神経路の画像について、その臨床応用にあたり、結果の厳密な評価およびフィードバックをするためには臨床医側がある程度その原理を理解しなくてはならない。種々の脊髄神経路画像について、実際の画像を供覧しつつ説明する。

## ❖ シンポジウム

---

### 1. 脳血管の画像解剖

○岡本 浩一郎

新潟大学 脳研究所 脳神経外科

「脳血管の解剖学的な特徴は？」という問に対する代表的な回答として「Willis 輪」がある。Willis 輪は鞍上部で左右・前後の主要脳血管を結ぶ特異な血管構造で、側副血行路の役割がある。しかし発達の程度には個人差が大きく、脳血流低下で生じる虚血・梗塞部位や範囲に違いが見られる。生じた脳虚血や梗塞から推定する原因血管の部位や程度は難しい。Willis 輪に限らず、脳血管の解剖学的特性は主要脳動脈の起始から脳表・脳実質内まで多彩である。

脳重量は成人で約 1.2～1.3 kg と体重の約 2.5% にすぎないが、心拍出血液量の 15% が脳に供給される。脳では下部正中に脳幹が、その上方と後方に大腦・小脳の半球がある。脳血管には前方循環（内頸動脈系）と後方循環（椎骨脳底動脈系）2 系統が左右 1 対あり、左右の内頸動脈・椎骨動脈の計 4 本が頭蓋内に入る。内頸動脈は総頸動脈の分枝である。右総頸動脈は右鎖骨下動脈とともに腕頭動脈から分岐し、ときに腕頭動脈と共通幹を形成する。左総頸動脈は大動脈弓から直接分岐する。椎骨動脈は鎖骨下動脈の分枝であるが、右鎖骨下動脈は腕頭動脈から、左鎖骨下動脈は大動脈弓から分岐する。

脳血管の起始は右前方から左後方へ走行する大動脈弓で、大動脈弓の分枝は腕頭動脈、左総頸動脈、左鎖骨下動脈と左右非対称である。大動脈弓や分岐血管に病変が生じた場合、左右非対称性の脳血流変化が生じうる。その代表が大動脈弓解離や左鎖骨下動脈の高度狭窄・閉塞で生じる subclavian steal syndrome である。

椎骨動脈は可動性の大きい頸椎の横突孔を上下に長く走行する。頸部運動により狭窄を生じることがあり、bow hunter syndrome はその 1 つである。

脳血管の発生に基づく変異では、内頸動脈系と椎骨脳底動脈系の吻合を残す原始遺残動脈 persistent primitive arteries や、persistent proatlantal intersegmental artery があり、proatlantal artery type 2 では外頸動脈・椎骨動脈の吻合が見られる。

本講演では脳血流の理解に必要な、画像診断の対象になる脳血管の解剖学的な特徴と変異について提示する。

## ❖ シンポジウム

---

### 2. Neurovascular unit における機能的可塑性イメージング：二光子顕微鏡法による解析

○正本 和人<sup>1,2</sup> 菅野巖<sup>2</sup>

1 電気通信大学 脳科学ライフサポート研究センター

2 放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター

脳賦活時に認められる局所的な脳血流の上昇（機能的充血：Functional hyperemia）は、賦活部位のニューロン、グリア、及び血管細胞間（Neurovascular unit）の機能的連関によって制御される。しかし、機能的充血が果たす局所脳内での神経科学的な意義については、未解決なままである。一方、長期的な脳血流の低下は、認知症増悪のリスク因子である [1]。我々は、脳の血流と神経機能の低下との間に働く因果関係を明らかにするため、富田ら [2] によって開発された慢性頭蓋開窓法 (Tomita-Seylaz method) を用いて、in vivo マウスにおける Neurovascular unit の形態および機能的可塑性に関する長期反復二光子顕微鏡イメージングの手法を確立した [3]。

これまでに持続的な低酸素曝露によって脳実質毛細血管が拡張 [4] し、脳の微小血管が低酸素曝露から 1-2 週の間で新生、伸展、既存の毛細血管とのネットワーク形成、さらに新生毛細血管が周辺グリア細胞のプロセスによって機能的に維持されることを明らかにした [5]。一方で、体性感覚刺激によって賦活される機能的充血は長期的な低酸素曝露によって減弱 [6] し、この機能的充血の減弱は皮質穿通枝細動脈の拡張低下に起因することを示した [7]。本講演では、これらの Neurovascular unit における機能的可塑性を in vivo で画像解析するためのツール開発と今後の展望について議論を深めたい。

(参考文献)

[1] Kitagawa K, J Alzheimers Dis. 2010;20:855-859.

[2] Tomita Y, Kubis N, Calando Y, et al. J Cereb Blood Flow Metab. 2005;25:858-867.

[3] Masamoto K, Tomita Y, Toriumi H, et al. Neuroscience. 2012;212:190-200.

[4] Yoshihara K, Takuwa H, Kanno I, et al. Adv Exp Med Biol. 2013;765:357-363.

[5] Masamoto K, Takuwa H, Seki C, et al. J Cereb Blood Flow Metab. 2014;34:325-331.

[6] Takuwa H, Masamoto K, Yamazaki K, et al. J Cereb Blood Flow Metab. 2013;33:774-779.

[7] Sekiguchi Y, Takuwa H, Kawaguchi H, et al. J Cereb Blood Flow Metab. 2014;34:1761-1770.

## ❖ シンポジウム

---

### 3. 神経血管カップリングの生理学的な背景

○高橋 慎一

慶應義塾大学医学部神経内科

神経血管カップリング (neurovascular coupling) とは、中枢神経活動の亢進／抑制に応じて観察される脳微小血管の拡張／収縮現象を示す。この現象は 1880 年代に Angelo Mosso がヒトの脳で観察・報告しているが、1890 年 Roy and Sherrington が動物を用いて詳細に検討し (J Physiol. 1890;11:85-158)、狭義には短時間の神経活動亢進に伴う脳血流 (CBF) 増加反応を意味する。神経活動の本態はニューロンのアクションポテンシャルに他ならず、これは細胞膜をはさむ Na<sup>+</sup> の流入と K<sup>+</sup> の流出によって発生する。イオン flux はその濃度勾配に従って生じる受動的現象であり、準備としての濃度勾配は予め Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>,ATPase による ATP 消費に依存して維持される。脳内 ATP はここに消費され、ATP 産生は生理的条件下では D- グルコースの酸化的代謝に依存する。すなわち 6 炭糖である D- グルコースは  $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$  に従って完全に分解され、6 倍量の酸素を必要とする。酸素のみならずグルコースは脳内に蓄積がないため、これを供給するのが CBF に他ならない。神経活動に際してグルコース消費 (CMRglc) および酸素消費 (CMRO<sub>2</sub>) が増加することに異論はなく、CBF 増加現象をエネルギー基質の供給という目的で捉えることは理に適っているが、代謝産物である CO<sub>2</sub> および熱除去における役割は十分に確立されていない。

神経機能亢進に伴う CMRglc 増加量は常に CMRO<sub>2</sub> 増加量を上回り一過性の aerobic glycolysis が起こる。また CBF 増加は相対的に血管内酸素含有量の増加 (すなわち相対的還元型ヘモグロビンの減少) を生じることから、MRI における BOLD 効果として脳機能マッピングに利用されている。脳実質内で酸素消費、グルコース消費がニューロンの機能活動亢進とアクションポテンシャルに起因することにも異論はないが、興奮性ニューロンと抑制性ニューロンの活動が同一であるかどうかは議論が必要である。少なくともグルタミン酸を中心として興奮性ニューロンの活動に関しては細胞種別レベルでのコンパートメントモデルが構築され、20 年にわたってさまざまな検証を受けている。さらにグルコース消費の場はニューロンの細胞体や、軸索ではなく、シナプス部分であることは明らかになっており、グルタミン酸の放出後に起こるシナプス間隙からの回収はアストロサイトに依存することと合わせ、少なくとも大脳皮質において、astrocyte-neuron lactate shuttle モデルはグルタミン酸-グルコース消費-酸素消費をよく説明できる。同時にアストロサイトのエネルギー源としてグルコースとともに、グルタミン酸の寄与は最近のトピックである。細動脈拡張を生じるシグナルにアストロサイトとニューロンがどう関与するか未解決の問題である。大脳白質における神経血管カップリング機構は十分に解明されていない。白質を構成する細胞はニューロンの軸索とともにオリゴデンドロサイトが中心となり、白質の神経血管カップリング機構は今後解明されるべき課題の一つである。

## ❖ シンポジウム

### 4. BOLD 信号に基づく血流トラッキング（ラグマッピング）の再現性と臨床応用

○麻生 俊彦、福山 秀直

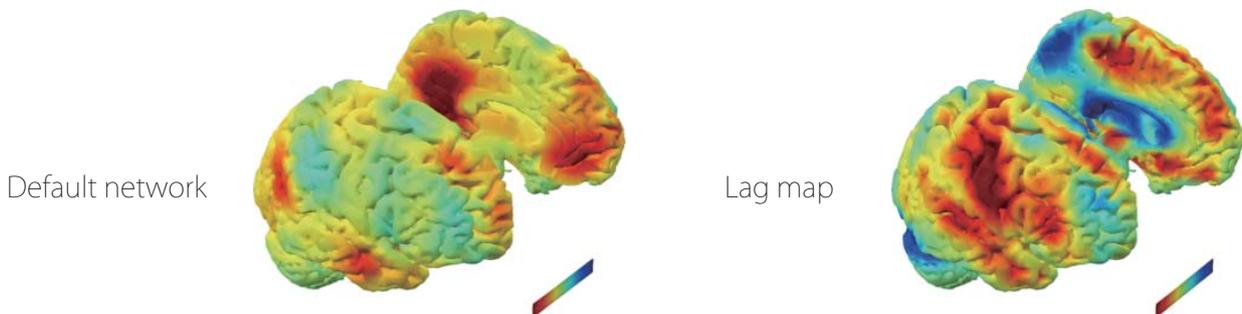
京都大学大学院 医学研究科附属 脳機能総合研究センター

現行の BOLD 法による fMRI (functional MRI) は脳の神経活動の変動を反映する T2\* 信号を観察するもので、脳の機能局在を知る手がかりとして用いられてきた。近年は安静時のランダムな変化を観察対象とした機能的結合性 MRI (functional connectivity MRI; fcMRI) がポピュラーなものとなり、皮質の大規模ネットワークという概念に基づいた脳機能マッピングの新たな枠組みが構築されつつある。

ただし BOLD-fMRI には血流応答を介することに起因する問題が数多く、我々はその影響が少ない拡散強調 fMRI の研究を行ってきた。さらに BOLD による fcMRI では、心理課題のある fMRI のように加算平均をせずにランダムな変動を利用するため、様々な発生源からのノイズの寄与が大きくなるのが問題となる。そこでデータの前処理として ICA (独立成分分析) などによるノイズ除去が一般的となりつつある。

一方で近年、臨床応用の領域では、脳血管障害の評価に fMRI の信号が利用できるという可能性が示唆されている (下記文献参照)。血行に異常があると BOLD 信号が正しく機能を反映しないことは理論的にも予想され、また確かめられてきた。さらに、安静時のデータを調べてみると、脳の部位によって少しずつ時間的にずれていく信号成分があることがわかり、そのずれをマッピングした Lag マップが血管狭窄などの異常を鋭敏に検出することが知られるようになった。具体的なマッピングの手法としては、ボクセルごとにずれを計算することは共通であるが、起点となる reference time course を全脳の信号から取るものと、superior sagittal sinus のような静脈の関心領域を用いるものが報告されている。また最初の seed 信号をそのまま使うのではなく、ラグを検出しながら reference time course を再帰的に更新していく方法なども提案されている。いずれの手法でも主幹動脈の太い部位に近い領域が早く、太い静脈系に近い部位が遅いタイミングで検出され、血液の移動をトラッキングしているというモデルと矛盾しない。

今回、健常者と脳血管障害などの症例において安静時 fMRI の撮像を行い、同じ BOLD 信号から作られる fcMRI とラグマップについてその性質を調べた。健常者では再現性や ICA に基づくノイズ除去が及ぼす影響を、症例では治療前後における変化を分析し、将来的に BOLD 信号に混ざった 2 種類の情報を分離して活用するための基礎的検討を行ったので報告する。



Amemiya, S. (2013) Radiology 270, 1–8.

Christen, T. (2015) J. Magn. Reson. Imaging 41, 424–430.

Nikulin, V. V. (2014) Neuroimage 97, 71–80.

Tong, Y. (2010) Neuroimage 53, 553–64.

### 5. Arterial Spin Labeling (ASL) MR 灌流画像：最近の動向

○木村 浩彦

福井大学 医学部 放射線医学

Arterial Spin Labeling (ASL) による脳血流画像は近年急速に臨床に普及しつつあり、多くの有用性が報告されている。従来 ASL は S/N 比が低く、臨床応用は限られていたが、比較的ラベル効果の高い pulsed continuous arterial labeling (pCASL) 法 (1) を用い、3D spiral spin echo 信号収集を基本シーケンスとすることで脳全体をカバーすることが可能となり、臨床応用が容易となった。臨床現場では少しずつその利用範囲を広げて来ている。急性期梗塞患者の灌流状態の把握、腫瘍灌流の評価、治療後の腫瘍灌流の変化、代謝疾患、脳炎、てんかん発作後の灌流変化、AVM による局所の灌流動態変化などへの応用がなされて来ている。

しかしながら、この手法の最も大きな問題は、ASL 信号がスピン到達時間 (ATT) に大きく依存することである。ATT 依存性を下げるための最も簡便な方法はラベル後収集時間 (PLD) を延長することである (2)。しかし、実際には主幹動脈に狭窄、閉塞をもつ患者を対象とすると、しばしば信号の低下が ATT の延長によるだけなのか、真に血流の低下があるのかの判断に苦慮する症例がある。複数の PLD 条件を効率よく収集し ASL の信号変化から ATT を計算する手法も幾つか提案されている (3, 4)。本シンポジウムでは、基本的な ASL の原理、臨床応用例、定量的 ASL 灌流画像としての現在の状況、今後の課題および将来性について述べる。

#### [参考文献]

1. Dai W, Garcia D, de BC, Alsop DC. MRM. 2008;60(6):1488-97.
2. Alsop DC, Detre JA. JCBFM. 1996;16(6):1236-49.
3. Dai W, Shankaranarayanan A, Alsop DC. MRM. 2013;69(4):1014-22.
4. Dai W, Robson PM, Shankaranarayanan A, Alsop DC. MRM. 2012;67(5):1252-65.

### 6. 毛細血管血流を診る、静脈血成分を診る：intravoxel incoherent motion (IVIM) imaging と Susceptibility-weighted imaging(SWI)

○井田 正博、小野寺 聡之、若山 季樹

荏原病院放射線科

拡散画像は中枢神経の MR 診断において必須の撮像法である。T1 や T2 がナノレベルの化学構造に由来する低エネルギー現象を反映するのに対して、拡散画像はマイクロレベルの組織環境を反映する。拡散現象は細胞内や細胞外間質の水分子のランダムな方向性のない揺動 (incoherent) であるが、MPG を用いた MR 撮像においては voxel 内の拡散のみならず、毛細血管レベルの微小灌流も incoherent として測定される。したがって縦軸に拡散強調画像の信号の対数、横軸に b 値をとると、biexponential change curve が描かれる。これは微小灌流の first component (low b において) と真の拡散の slow component (high b において) を反映している。中枢神経領域においては微小灌流の占める割合は数%以下と少なく臨床においては大きな影響はないが、真の拡散係数 D と比較して、見かけの拡散係数 ADC は過大評価される。first component と slow component を識別するには、特に low b の範囲において b 値を可変させ多種の b 値のデータを収集することで線形もしくは近似解析し画像化することができる [intravoxel incoherent motion (IVIM) imaging]。Susceptibility-weighted imaging (SWI) は磁化率変化による位相変化を用いて磁化率を強調する方法で、生体内の鉄検出や微小出血の診断に臨床応用されているが、misery perfusion や静脈うっ滞状態も鋭敏に反映する。

IVIM imaging と SWI の中枢神経における臨床応用について解説する。

## ❖ 特別講演

---

### 1. 光画像診断の可能性～拡散光トモグラフィ

○星 詳子

浜松医科大学 光先端医学教育研究センター

フォトニクス医学研究部 生体医用光学研究室

拡散光トモグラフィ (diffuse optical tomography, DOT) は、近赤外線を生体に照射し、体内を透過してきた光を体表で検出して、光学特性値 (吸収・散乱係数) の分布を 3次元で画像化する、生体のような不均一媒体の光計測の中で最も高度な技術である。散乱光を用いる DOT の研究は 1990 年代より始められているが、その画像再構成は非常に難しく、DOT は未だ開発段階にとどまっている。DOT は散乱光を利用するため、画像再構成アルゴリズムは X-線 CT アルゴリズムとは異なり、基本的に順問題解析と逆問題解析を必要とする。順問題解析では、生体内の光伝搬モデルを解いて検出される光を算出し、逆問題解析では計算結果と実測値の差を最小にすることで光学特性値の分布を求める。

DOT 画像再構成アルゴリズムは、概括的に二種類に分けられる：①線形シングルステップ画像再構成と②非線形逐次近似画像再構成。前者は、1995 年に既に提案されていたが、近年、マルチチャンネル連続光計測 (CW) 装置を用いて、高精度脳機能イメージングが可能になった。しかし、本法は変化量しか算出できず、定量性にはまだ改善の余地があり、脳機能イメージング法としては十分であるが、画像診断法としては、変化量ではなく定常状態の絶対値を得ることが望ましい。この目的のためには、非線形逐次近似画像再構成 (non-linear iterative image reconstruction) が用いられている。

輻射輸送方程式 (RTE) が生体における光伝搬を正確に記述することは、一般に広く受け入れられている。しかし、この方程式は積分微分方程式で数値解を求めるのにも時間がかかる。そこで、生体組織における光の散乱パターンは前方散乱であるが、比較的大きな組織を透過する場合は、数回散乱を繰り返すことによって巨視的に等方散乱とみなすことができることから、光拡散方程式 (PDE) が順問題モデルとして用いられてきた。しかし、脳脊髄液層など散乱係数が小さい、あるいは血腫など吸収係数が高い領域、さらに照射点の近傍などでは PDE は成立しない。また、逆問題は、変数に比べて圧倒的に未知数が多い不良設定問題である。さらに、初期値の光学特性値の誤差によって解に大きな誤差が生じる不良条件問題であるが、生体における真の光学特性値は明らかにされていない。そこで、時間依存の RTE を順問題モデルとする画像再構成アルゴリズムの構築とその高速化、生体の光学特性値の決定が必要である。

本シンポジウムでは、まず DOT について概説し、次に現在我々が AMED 産学共創基礎基盤プログラムで行っている DOT 開発を紹介し、今後の展望について述べる。

### 2. 高温超伝導マグネットを用いたMRI装置の開発

○ 福山 秀直

京都大学 学際融合教育研究推進センター

0.5 テスラ (T) までの MRI は、基本的にニオブチタンを液体ヘリウムで冷却した超伝導マグネットを使用しており、現在、3 Tあるいは、7 Tでも同じである。しかし、液体ヘリウムの価格の高騰などで、7 Tのマグネットを作製する費用が高騰していて、世界的な供給不足になっている。また、ニオブチタンなど、金属系超伝導では、8 Tが限界と考えられている。9.4 T、10.5 T、11.6 Tなどの超高磁場 MRI マグネットを作り、安定して運用するには、酸化物超伝導物質を使う必要がある。これは、電流効率が金属系に比べ、はるかに優れており、発熱が少なく、かつ、冷却が液体ヘリウムを使用しなくてよいので、ヘリウムの気化による危険もないという利点がある。これまで、小型のMRIは酸化物超伝導線材で作られていたが、人を撮像できるような、ボア系が70 cm くらいのは、作られていない。

現在、実用化されている高温超伝導用の線材としては、ビスマスを主にしたもの、イットリビウムを使ったものがある。これらは、ニオブチタンと異なり、長い線材になりにくいという欠点があり、線材をつなぐことになるので、超伝導状態になる訳ではないが、ほとんど同じ状況を維持することが可能である。

われわれは、50cm ボアのMRI磁石装置を自作し、それに合った傾斜磁場、RFコイルなどを作製し、サル固定脳の撮像に成功した。この経験をもとに、人に使用できるMRIの作製を検討しているところである。

それほど遠くない将来、ヘリウムの供給がなくなる、あるいは、液体ヘリウムを運べない地域へのMRIの設置を考えると、本装置の開発は日本が先行しており、今後の大きな研究開発課題になると思われる。

これまでの、高温超伝導物質の開発から、現在までの状況をまとめて、話しをすることにする。