

(資料・HP告知)

7T MR 装置の磁場流体力学効果が心電図波型ならびに心電図同期 3 次元シネ位相 コントラスト磁気共鳴法に及ぼす影響の研究

① 研究の目的と意義

脳動脈瘤の発生・成長・破裂に血流動態（壁剪断応力とこの誘導指数）が関連している。

ヒトの血流動態解析には磁気共鳴流体解析 (MR Fluid Dynamics, MRFD) と計算流体解析 (Computational Fluid Dynamics, CFD) があり、各々に一長一短がある。前者の MRFD はヒトから直接、短時間に 3 次元シネ位相コントラスト磁気共鳴 (3-dimensional cine phase contrast MR Imaging, 3D cine PC MRI) データを収集でき、比較的短時間に解析できる長所はあるが、精度が悪い。後者の CFD は正確な形状と正確な境界条件を与えれば、正しいコンピュータシミュレーション結果が得られると信じられ、脳外科医や研究者に好評であるが、解析時間が掛かるという欠点がある。

前者の MRFD の精度が悪いという欠点を克服する方法として、空間分解能を上げる方法があるが、ボクセルが小さくなることで信号雑音比 (SNR) が低下し、逆に精度が低下する。SNR を担保する方法として、高磁場 MR で検査する方法が考えられる。このため、大学共同利用機関法人自然科学機構生理学研究所に設置されている医薬品医療機器等法未承認の高磁場 7T MR 装置を用い、脳血管モデルとヒト脳血管の高空間分解能 3D PC MR 撮影の研究に取り組んできた（「生体機能イメージング共同利用実験（課題番号：628、課題名：3 次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法の基礎的検討）」）。高空間分解能化に伴う撮影時間増加のため、心電図同期でなく、非同期による検討を行い一定の成果を収めた。

次いで、心電図同期の 3D cine PC MR 撮影を 5 名行ったところ、3T で得られるような R 波のみが突出する心電図が得られず、R 波に良好にトリガーが掛からず、検査がうまく施行できなかった。この原因は、磁場流体力学効果 (magnetohydrodynamic effect) によると思われる。これは ファラデーの電磁誘導の法則により、強磁場内において通電性流体が流れる事によって起電力が生じると考えられ、3T よりも 7T で顕著になったと考えられる。この磁場流体力学効果の心電図波型に及ぼす影響や、これらにより得られる血流動態を検討することは意義があると考えられる。

本研究の目的は次の 2 つである。

- ① MR の冠状断像などで得られる心大血管の位置と、異なる心電図電極の位置で得られる心電図波型を比較することにより、7T MR 装置の心電図波型に及ぼす磁場流体力学効果を調べる。
- ② 7T MR 装置の磁場流体力学効果やこれが影響を及ぼす心電図同期で得られる脳血流動態を調べる。

③ 研究方法

1) 対象および個人情報管理

本研究は撮影と解析に関する基礎的研究であるため、健常者を対象とする。また、ヒト脳血管は健常者であっても形状に個人差が見られるため、複数名を対象とする。

新たに健常者の成人ボランティア 10 名分の心電同期 7T MR 画像を生理学研究所にて撮影する。既に生命倫理審査委員会で承認されている研究課題「3T MR 装置と 7T MR 装置を用いた 3 次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法の基礎的検討」（研究責任者 磯田治夫、承認番号 17-310-2）で得られた、健常者の成人ボランティア 5 名分の心電同期 7T MR 画像を使用する。

取得した画像データは連結不可能匿名化処理を行った上、DICOM 形式で CD に記録して本学へ持ち帰り、名古屋大学大学院医学系研究科医療技術学専攻脳とこころの科学講座（大幸キャンパス南館 223 号室・南館 261 号室）に設置されたパスワードでセキュリティが保護された PC に移動させ厳重に保管する。

2) 研究方法

- ① 被検者から申込があった時に、代表者または分担者が説明書をもとに研究の説明を行う。また、MR 検査の禁忌がないことを次の項目で確認する。体内・体外生命維持装置がないこと、体内に金属製のもの（動脈クリップ、心臓の人工弁、静脈の血栓防止ネット、インスリン・ポンプ、外科クリップ、人工内耳・人工関節・骨折治療による金属ピン、棒、その他の金属など）がないこと、簡単に取り外せない歯列矯正用の金属製ブリッジを口内に持っていないこと、強磁性体が偶然体内に入ってしまう可能性のある職業や活動に従事していないこと、取り除くことが困難な装飾を（刺青、ボディーピアス、ネイル、髪やまつ毛のエクステンション等）されていないこと、体温の調節が不調でないこと、発汗能力に障害がないこと、閉所恐怖反応・暗所恐怖症反応を起こしにくいこと、検査中のコミュニケーションに問題がないこと、妊娠中もしくは妊娠している可能性がないこと、長時間同一姿勢を保てないことなどを確認する。
- ② 生理学研究所の 7T MR 装置の指針では 7T MR 検査を受ける場合、3T MR 検査を経験している必要があると規定されている（7 テスラ MRI 装置を用いた実験に関する指針）。このため、3T MR 装置の撮影を経験していない場合で、被検者を希望する場合は、本学 3T MR で T1, T2 強調画像などの最低限の検査を行い、問題がないことを確認する。この場合も上記 2 の禁忌事項を確認する。
- ③ 生理研 7T MR 装置で、MR の冠状断像などで得られる心大血管の位置と、異なる心電図電極の位置で得られる心電図波型を比較する。これにより、心大血管の形態や位置と、R 波が大きなピークを示す心電図電極の位置の関係と 7T MR 装置の磁場流体力学効果の影響を知る。
- ④ 次に、脳血管を対象とした、心電図同期 3D cine PC MR、指尖脈波による関心血管

に垂直な数段面の 2D cine PC MR、血管形状を得るため 3D time-of-flight MR angiography などの検査を行う。この時、後者では、Acquisition window を長くし、2 心拍分のデータを収集するなど、収縮期近傍で切れ目のない、データを収集できるように工夫する。検査時間は総計 2 時間以内になる見込みである。

- ⑤ 3D と 2D cine PC MR で得られた経時的な流量変化などの各種パラメータを観察することで、心電図同期で良好に撮影できているか否かを確認する。また、MR に基づいた MRFD 解析と CFD 解析も行い、これと比較する。
- ⑥ また、昨年度、5 例のデータがあるので、上記 6 の結果と比較する。既に生命倫理審査委員会で承認されている研究課題「3T MR 装置と 7T MR 装置を用いた 3 次元シネ位相コントラスト磁気共鳴法の基礎的検討」（研究責任者 礒田治夫、承認番号 17-310-2）で得られた健常者のボランティア 5 名分の 3D cine PC MRI（心電図同期が不十分な状態で撮影）と 3D TOF MRA を基にした MRFD 解析と CFD 解析を行い、上記 5 の結果と比べる。

3) 血流解析

7T MR 装置から得られた画像データの解析は名古屋大学大学院医学系研究科医療技術学専攻脳とこころの科学講座（大幸キャンパス南館 223 号室・南館 261 号室）にて行う。

- ① 3D TOF MRA の画像データを血管形態として使用し、3D cine PC MRI の画像データを流速情報として使用して、血流解析ソフト Flow Visualization and Analysis (Flova) にて MRFD 解析を行う。また、3D TOF MRA を用いて Flova で作成した血管形状を基に、3D cine PC MRI の流速情報を流入・流出境界条件として汎用熱流体解析ソフトで CFD 解析を行う。
- ② 上記 2 種類の解析で血流動態を経時的に可視化するとともに、血流動態からバイオマーカーを計測する。

④ **研究期間**：実施許可日～2020 年 3 月 31 日

⑤ **研究機関・問い合わせ先**

研究機関：〒461-8673 名古屋市東区大幸南一丁目 1 番 20 号
名古屋大学大学院医学系研究科医療技術学専攻
TEL：052-719-3154、FAX：052-719-1509

研究責任者：名古屋大学脳とこころの研究センター/名古屋大学大学院医学系研究科
医療技術学専攻脳とこころの科学講座
教授 礒田 治夫

研究担当者：名古屋大学医学部保健学科放射線技術科学専攻
4 年 小林 大悟