

頭部 MR 静脈撮像検査 (Magnetic Resonance Venography:MRV) の最適化

柳内 和也¹⁾ 加藤 寛道²⁾ 堀江 慶一郎²⁾ 土田 千賀³⁾

要 旨 : 頭部 Magnetic Resonance Venography での 3D-Phase Contrast 法における空間分解能及び時間分解能を改善することを目的として、撮像条件を検討した。本研究に同意を得られた健常人を対象に、velocity encoding・FlipAngle・スライス厚の検討を行い従来の撮像条件と新たに設定した撮像条件とで MRV を撮像し、静脈洞の描出能、画質及び撮像時間を比較検討した。その結果、従来の撮像条件に比べ新たな撮像条件では、最適な撮像条件を設定できたことで静脈洞の描出能及び画質は改善し、撮像時間も短縮された。また、静脈洞の描出能、画質の向上及び撮像時間の短縮によって、診断能の向上や被検者の負担軽減につながる。

【Key words】 頭部 MRV, 脳静脈洞, 3D-PC 法

緒 言

頭部 Magnetic Resonance Venography (MRV) 検査は脳静脈洞血栓症などの診断に用いられる画像診断法である。頭部 MRV には、多方向から高空間分解能で観察可能であり、静脈などの遅い血流に敏感である 3D-Phase Contrast (PC) 法が使用される。しかし、3D-PC 法は撮像時間が長い検査途中の被検者の体動などにより十分な画質が得られない場合があった。そこで、当院の頭部 MRV 検査では従来、メーカー推奨の撮像条件で検査を行っていたが、新たに撮像条件を検討することで、画質を向上させ撮像時間を短縮できるのではないかと考え検討することにした。

方 法

1. 使用機器

撮像装置 : GE 社製 Signa Excite HDe (1.5T)

使用コイル : GE 社製 HD 8ch NV array by Invivo

2-1. PC 法の撮像条件の検討 (velocity encoding (VENC) の検討)

対象は健常人 10 名 (平均年齢 41±12.2 歳, 男 8 名・女 2 名)。脳静脈の流速に合わせた最適な VENC 値を決定すべく、2D-PC 法にて一被検者につき同一スライスを VENC 値のみ変更し撮像を行い、一被検者あたり 10 種類の VENC 値の画像を得た。用いた VENC 値は 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 80, 120 (cm/sec) である。

その後、医師 2 名、技師 8 名で一被検者あたり VENC 値が異なる 10 種類の画像を 5 段階視覚評価し、最高合計点数の VENC 値を当該被検者の最適 VENC 値とした。これを 10 名分行い、最も多く最適 VENC 値として選択された値を抽出した。

評価項目 : 上矢状静脈洞の描出能を 5 段階 (0 : failure, 1 : poor, 2 : moderate, 3 : good, 4 : excellent) 視覚評価。

2-2. 3D-PC 法の撮像条件の検討 (Flip Angle の検討)

健常人 1 名 (42 歳, 男性) を対象に方法 2-1 で抽出した VENC の値を用い、3D-PC 法にて一被検者の同一部位を Flip Angle のみ変更し 6 種類の画像を得た。用いた Flip Angle の値は 5, 10, 15, 20, 25, 30 (度) である。

1) 福井総合病院 診療支援部 放射線課

2) 福井総合クリニック 診療支援部 放射線課

3) 福井総合病院 放射線科

(採択日 2018年9月)

その後、医師 2 名、技師 8 名で得られた画像を視覚評価した。そして、最高合計点数の Flip Angle の値を画質良好な撮像条件として抽出した。評価項目は以下のとおりである。

評価項目：上矢状静脈洞の描出能を 4 段階(1 : poor, 2 : moderate, 3 : good, 4 : excellent)視覚評価。

2-3. 3D-PC 法の撮像条件の検討 (スライス厚の検討)

健常人 1 名 (22 歳, 男性) を対象に方法 2-1 で抽出した VENC の値を用い、3D-PC 法にて一被検者の同一部位をスライス厚のみ変更し 7 種類の画像を得た。用いたスライス厚の値は 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 (mm) である。

その後、医師 2 名、技師 8 名で得られた画像を視覚評価した。そして、最高合計点数のスライス厚の値を画質良好な撮像条件として抽出した。評価項目は以下のとおりである。

評価項目：上矢状静脈洞の描出能を 4 段階(1 : poor, 2 : moderate, 3 : good, 4 : excellent)視覚評価。

3. 3D-PC 法の新・旧撮像条件の比較

方法 2 で得られた VENC, Flip Angle, スライス厚の値を用い、さらに撮像断面を横断面に変更し、尾側に飽和パルスを加えるように設定したものを新撮像条件とした(表 1)。

対象は健常人 10 名 (平均年齢 33.2±12.0 歳, 男 8 名・女 2 名)。3D-PC 法で既存のメーカーが推奨する旧撮像条件と新撮像条件を用いた MRV の画像を得た。その後、医師 2 名、技師 3 名でそれぞれの MRV の画像を評価項目ごとに点数化した。また、旧撮像条件と新撮像条件の平均撮像時間も求めた。評価項目は以下のとおりである。評価項目：①上矢状静脈洞の描出能、②横静脈洞～S 状静脈洞の描出能、③画質 (アーチファクトの有無・動脈の写り込み) を 5 段階(表 2) 視覚評価。各評価項目については、Wilcoxon の順位和検定で 2 群間の比較を行った。また、有意水準は 1% とした。

表 1. 3D-PC 法撮像条件

	旧撮像条件	新撮像条件
TR (msec)	25.0	25.0
TE (msec)	7.1	7.0
VENC (cm/sec)	15	20
Flip Angle (度)	20	10
スライス厚 (mm)	2.2	2.5
撮像断面	矢状断面	横断面
位相 FOV	1.0	0.75
飽和パルス	なし	尾側

表 2. 新旧撮像条件で撮像された MRV の視覚評価内容

・上矢状静脈洞の描出能	
血管に欠損及び途切れを認め、診断に影響を及ぼす	0 点
血管に欠損もしくは途切れを認め、診断に影響を及ぼす	1 点
血管に欠損もしくは途切れを認めるが、診断に影響がない	2 点
血管に欠損や途切れを認めず、血管の信号強度にムラがある	3 点
血管に欠損や途切れを認めず、血管の信号強度が均一である	4 点
・横静脈洞～S 状静脈洞の描出能	
血管に欠損及び途切れを認め、診断に影響を及ぼす	0 点
血管に欠損もしくは途切れを認め、診断に影響を及ぼす	1 点
血管に欠損もしくは途切れを認めるが、診断に影響がない	2 点
血管に欠損や途切れを認めず、血管の信号強度にムラがある	3 点
血管に欠損や途切れを認めず、血管の信号強度が均一である	4 点
・画質	
アーチファクトを認め上矢状静脈洞または横静脈洞の観察に影響がある+動脈の写り込みは静脈の観察に影響がある	0 点
アーチファクトを認め上矢状静脈洞または横静脈洞の観察に影響がある+動脈の写り込みは静脈の観察に影響がない	1 点
アーチファクトを認めるが上矢状静脈洞または横静脈洞の観察に影響がない+動脈の写り込みは静脈の観察に影響がある	2 点
アーチファクトを認めるが上矢状静脈洞または横静脈洞の観察に影響がない+動脈の写り込みは静脈の観察に影響がない	3 点
アーチファクトを認めず+動脈の写り込みは静脈の観察に影響がある or ない	4 点

結 果

1. 最適な VENC 値の検討

10 名の被験者で最高評価の VENC 値は 15・20・30 (cm/sec) の 3 つであった。

10 被検者の最高評価の VENC 値を集計した結果を図 1 に示す。VENC 値 20 (cm/sec) が最高評価 6 名と最多であった。よって最適な VENC の値として VENC 値 20 (cm/sec) を抽出した。

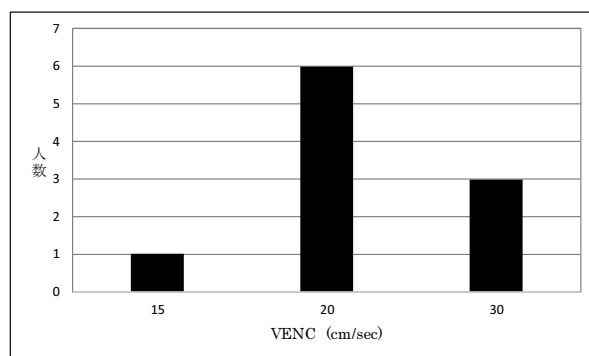


図 1. 健常ボランティア 10 名の最適 VENC 値

2. 最適な Flip Angle の検討

視覚評価の結果を図 2 に示す。Flip Angle 10 度で合計得点が一番高く、Flip Angle 5・15・20(度)ではあまり変わらず 25(度)以上から著しく低下した。この結果により Flip Angle は 10(度)が最適であることがわかった。

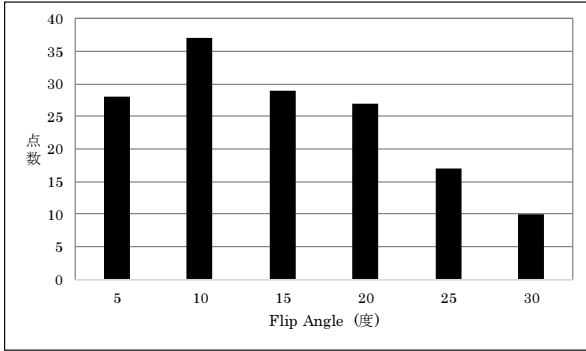


図 2. Flip Angle の視覚評価結果

3. 最適なスライス厚の検討

視覚評価の結果を図 3 に示す。スライス厚 2.5(mm)で合計得点が一番高く、スライス厚 2・3・3.5(mm)であまり変わらずスライス厚 4・4.5・5(mm)で低下した。この結果よりスライス厚 2.5(mm)が最適であることがわかった。

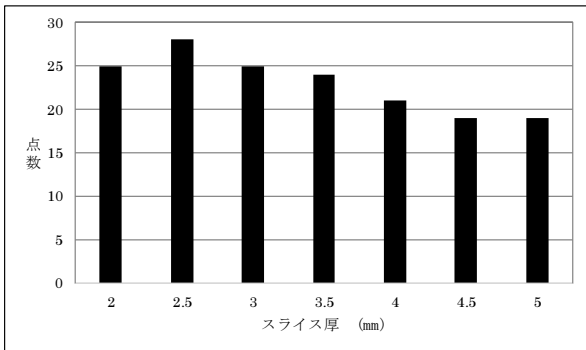


図 3. スライス厚の視覚評価結果

4. 3D-PC 法の撮像条件の検討

旧撮像条件と新撮像条件とで撮像した MRV の評価項目ごとの視覚評価の平均点の結果は、上矢状静脈洞の描出能については、旧撮像条件 1.26 点、新撮像条件 3.06 点であり、新撮像条件で有意に高値を示した(図 4)。横静脈洞～S 状静脈洞の描出能の結果では、旧撮像条件 2.18 点、新撮像条件 2.9 点であり、新撮像条件で有意に高値を示した(図 5)。また、画質の結果については、旧撮像条件 1.74 点、新撮像条件 3.52 点であり、新撮像条件で有意に高値を示した(図 6)。そして、平均撮像時間の結果は旧撮像条件で 23 分 14 秒、新撮像条件で 12 分 24 秒であり、

新撮像条件で有意に短縮した(図 7)。また、平均撮像時間は旧撮像条件に比し新撮像条件で約 10 分 50 秒短縮された。

旧撮像条件と新撮像条件で撮像された頭部 MRV 画像の代表例を図 8 に示す。矢状断像で旧撮像条件により撮像された MRV は上矢状静脈洞に途切れを認めるが新撮像条件で撮像された MRV では改善した。また、冠状断像においても旧撮像条件で撮像された MRV で横静脈洞の描出不良部分を認めるが、新撮像条件で撮像された MRV で改善した。横断面像においては旧撮像条件で撮像された MRV に比べ新撮像条件で撮像された MRV で動脈の写り込みが抑制されている。

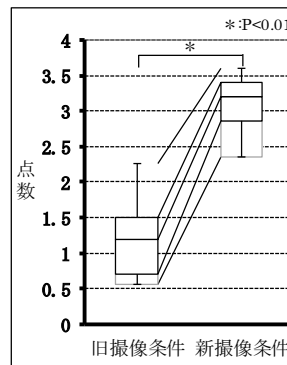


図 4. 上矢状静脈洞の描出能評価結果

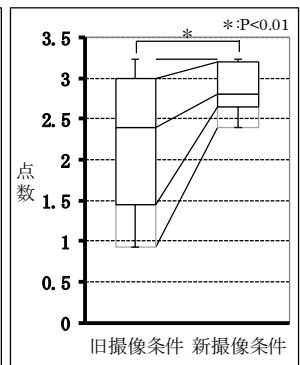


図 5. 横静脈洞～S 状静脈洞の描出能評価結果

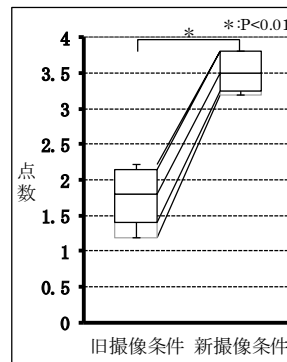


図 6. 画質の評価結果

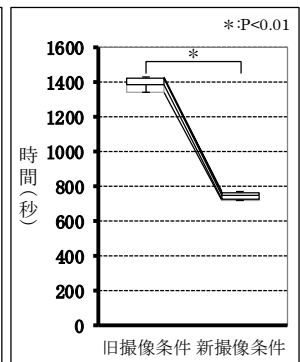


図 7. 撮像時間の評価結果

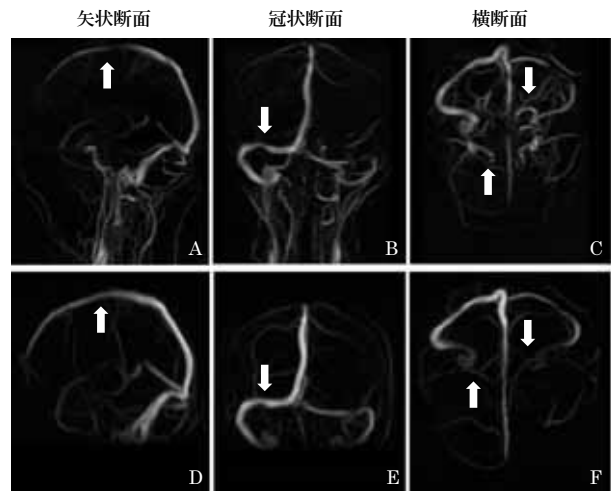


図 8. 旧撮像条件(上段)と新撮像条件(下段)で撮像された頭部 MRV

A,D: 旧撮像条件矢状断像(A)では上矢状静脈洞に描出不良部分を認めるが新撮像条件矢状断像(D)では描出されている(矢印).

B,E: 旧撮像条件冠状断像(B)では横静脈洞に欠損部分を認めるが新撮像条件冠状断像(E)では描出されている(矢印).

C,F: 旧撮像条件横断像(C)では動脈も描出され脳静脈洞と重なっているが新撮像条件横断像(F)では動脈の描出は抑制されている(矢印).

考 察

MRI装置は、生体の複雑な構造とパラメータの多様性ゆえ、臨床画像とファントム評価が一致しないことが多いと言われている¹⁾。本研究では頭部MRV撮像の目的でPC法を用いており、血液の流速によって目的血管の描出に多分に影響を与える撮像条件としてVENCが存在する。VENCはcm/sec単位で表され、対象とする血管内で遭遇する最も速い速度を含むように選ばなければならない²⁾。頭部MRV画像を得るにあたり、静脈洞の流速は被検者によって異なるため新たな撮像条件を検討するにはファントムではなく、被検者を撮像して得られる画像を用いて評価を行う必要がある。また、臨床の場で画像の良し悪しを決めるのは臨床医である³⁾ことも踏まえ、本研究では視覚評価を用いた。

撮像条件を適正化するにあたり最初に行った検証では、Flip Angleは10°が最高評価の値として選別された。これは、Flip AngleはVENC値によって最適な値が変わる⁴⁾ため旧撮像条件とは異なる値が選別されたと考えられる。

また、スライス厚は2.5mmが最高評価の値として抽出された。これは、スライス厚が小さいほど空間分解能は高くなるが、それに伴い撮像時間が長くなり被検者の体動などが影響する。これらの要因により、最小値から2番目のスライス厚が選択された可能性がある。

旧撮像条件と新たに選定した新撮像条件では、上矢状静脈洞及び横静脈洞～S状静脈洞の描出能、画質、撮像時間は有意に改善した。静脈洞の描出能は、健常ボランティア画像を用いた評価で得られた最適化されたVENCの値を用いたことが大きな要因と考えられる。また、画質については主に血管やアーチファクトについて評価したが、

有意に改善した理由として尾側に飽和パルスを設定したことが挙げられる。これにより、撮像範囲内に流入する動脈の信号を抑えることができ、静脈のみを描出可能にし静脈洞の評価が容易になったと考えられる。さらに、撮像断面を横断面にすることで矢状断面撮像にて出現する静脈洞の拍動によるアーチファクトを軽減できたことも要因として考えられる。撮像時間は、撮像範囲を静脈洞血栓症の好発部位である上矢状静脈洞及び横静脈洞⁵⁾を含む頭蓋内脳静脈洞のみに限定することで短縮できた。旧撮像条件では矢状断面にて撮像を行っていたが、新撮像条件ではOMラインに沿った角度で全脳を横断像で撮像する方法を採用した。これにより撮像範囲を全脳に絞ることができ、さらにOMラインに沿わせて撮像することで被検者によって撮像時間のバラツキを抑えることができると考えられる。

結 語

今回の研究で決定した最適な撮像条件による新撮像条件MRVでは、旧撮像条件に比し有意に静脈洞の描出能及び画質の改善、撮像時間の短縮を図ることができた。新撮像条件MRVは、非造影検査で侵襲性が無く、比較的短時間で簡便に頭蓋内脳静脈を良好に描出することができることから、脳静脈洞血栓症などの疾患に対するスクリーニング検査として今後は臨床検査に大いに活かしていけると考える。

謝 辞

本研究のために御協力と御指導賜りました福井総合病院放射線科岩崎俊子先生をはじめ、放射線課の皆様ならびに被験者として撮影にご協力いただいたボランティアの方々に深謝申し上げます。

著者全員に本論文に関連し、開示すべきCOI状態にある企業、組織、団体はいずれも有りません。

文 献

- 1) 宮地利明, 華房敬之, 成田廣幸ほか. MRI 装置の画質評価. 日本放射線技術学会雑誌. 1993;49(6):826.
- 2) 荒木力. MRI「超」講義 Q&A で学ぶ原理と臨床応用. 第 2 版. 東京:メディカル・サイエンス・インターナショナル;2003. 173-174.
- 3) 中前光弘: 順位法を用いた視覚評価の信頼性について. 日本放射線技術学会雑誌 2000;5:725-730.
- 4) Daniel B Ennis, Matthew J Middione: Flip Angle optimization for quantitative phase contrast MR imaging. J Cardipvasc Magn Reson 2011;13:67.
- 5) Saposnik G, et al: Diagnosis and management of cerebral venous thrombosis:a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. Stroke 2011 jul;42(7):e408.