



原著

脳神経疾患の外科的術前のMRI画像支援

～脳表撮像の時間短縮について～

園部 信, 疋田 拓 慎, 松井 智 広, 藤田 香 菜 恵, 弥 永 彩 有
西川 淳 二, 大野 魂 太, 枚田 敏 幸

済生会滋賀県病院 画像診断科

要 旨

脳動静脈奇形や脳腫瘍など脳神経疾患の外科的手術は、最適なアプローチのために脳溝の同定が重要となる。この脳溝を描出する脳表三次元画像（Volume rendering：以下、脳表VR画像）は核磁気共鳴画像検査（Magnetic resonance imaging：以下、MRI検査）が有用である。脳溝同定のため可能な限り鮮明に描出することが求められる。しかし、MRI検査は強磁場を用いた特殊な環境下であり、検査時間の長さが患者の負担となる。鮮明な脳溝描出と検査時間の短縮を両立させるため硬膜と髄液が低信号となる撮像方法を選定し、この撮像パラメーターのスライス厚、Repetition time（以下、TR）、Echo train length（以下、ETL）、Matrix数の4項目の撮像パラメーターを考案し、診療に許容できる画像コントラストと撮像時間の関係を検討した。従来の撮像パラメーターでは6分以上の撮像時間を要していた。しかし、検討した撮像パラメーターでは撮像時間が最も短い方法で約2分となり、4分の時間短縮が可能となり患者の負担軽減に寄与できると考えられる。ただし、脳溝の周囲に血腫が存在する際は、血腫の信号が低下するパラメーターの更なる検討が必要である。

背 景

脳動静脈奇形や脳腫瘍など脳神経疾患の外科的手術前のMRI画像は、動脈と静脈のVR画像、脳表VR画像、腫瘍の水平断画像を必要とし、検査時間は約40分を要する。病変部位にアプローチする脳溝の位置を把握するため、特に脳表VR画像が重要となる。脳表VR画像の撮像の際には腫瘍との位置関係を把握するため体表にマーカーを貼付して位置調整を行うため、検査時間は更に時間を要する。また、撮像時間が長時間になるとSAR（Specific absorption rate：以下、SAR）が上昇し撮像条件に制限がかかるため患者の負担が大きくなり動きによるアーチファクトが発生しや

すくなる。今回我々は空間分解能を担保し、患者負担の軽減のため時間短縮を目的とした撮像パラメーターの検討を行ったため報告する。

使用機器

- GE Healthcare Discovery MR 750w 3.0T
（以下、3TMRI装置）
- GE Healthcare Signa Explorer 1.5T
（以下、1.5TMRI装置）

撮像方法の選定

脳表VR画像を作成するために頭蓋骨や脳表面の髄液や硬膜が低信号な撮像方法の選定が必要となる。T2強調画像では髄液が高信号であり、T1強調画像では灰白質の信号が低信号であるため脳表の信号が低下する。そのため、灰白質が高信号であり、髄液が低信号となる撮像方法であるFLAIRが有用であると考えた。VR画像作成のためにスライス方向への高分解能化が可能なCube(可変フリップ角を用いた3DFSE法)を使用し、硬膜の信号を抑制するために脂肪抑制方法のFat Satが必要となる¹⁾。以上より、撮像方法はFLAIR Cube Fat Satを選定した。

方 法

1. 検討したMRIパラメーターと撮像時間

FLAIR Cube Fat Satの撮像時間や画質を比較するため、6種類の撮像パラメーター(A~F)を用いて各々3TMRI装置と1.5TMRI装置で作成した(表1-a, 表1-b)。

検討した撮像パラメーターは撮像時間に影響を及ぼすスライス厚、TR、ETL、Matrix数の4項目とした。従来の撮像パラメーターは撮像時間が3TMRI装置で6分21秒、1.5TMRI装置で6分3秒であった。撮像時間は疾患の水平断を撮像する際と同様に4分以内と同等の時間とした。

検討した撮像パラメーターA~Fではスライス厚を2mmにした。

撮像パラメーターAはETLを変化させ画像に及ぼす影響を確認するため、従来の撮像パラメーターから撮像時間を4分以内になるようにETLを20増加させた。

撮像パラメーターBはTRを変化させ画像に及ぼす影響を確認するため、従来の撮像パラメーターから撮像時間を4分以内になるようにTRを500ms短縮させた。

撮像パラメーターCは撮像時間を短くするた

めにTRを可能な限り短縮しETLを延長させた。

撮像パラメーターDは撮像パラメーターCよりMatrix数を減少させ、撮像時間と画像コントラストを検討した。

撮像パラメーターEは撮像パラメーターDからTRを延長させることで画像に及ぼす影響を検討した。

撮像パラメーターFは撮像パラメーターDからETLを短縮させることで画像に及ぼす影響を検討した。

以上の撮像パラメーターA~Fを設定したことにより、従来の撮像パラメーターから変更されたパラメーターについて表1-a, 表1-bに示す。

2. 診療科と読影科の視覚的評価

撮像対象は本研究に同意の得られた20代、30代、50代の3名の健康なボランティアの職員とした。それぞれの脳表VR画像と水平断画像を再構成した。

脳表VR画像の評価部位は比較的観察の容易な中心溝と、観察の困難な下側頭溝とした。評価方法として脳表VR画像は従来の撮像パラメーターで撮像した画像と比較して優れていると評価したのはexcellent、同等と評価したのはaverage、劣っていると評価したのはpoorの3段階とし、脳神経外科専門医によるブラインド評価を行った。評価がaverage以上である画像を有効とした。

水平断画像は従来の撮像パラメーターで撮像した画像と比較して白質と灰白質が同程度に同定可能かをexcellent、good、average、fair、poorの5段階とし、放射線科診断医によるブラインド評価を行った。評価がaverage以上である画像を有効とした。

結 果

1. MRI撮像パラメーター変更による撮像時間

撮像パラメーターAの撮像時間は3TMRI装置で3分39秒、1.5TMRI装置で3分21秒となった。

撮像パラメーターBの撮像時間は3TMRI装置

表1-a 3TMRI装置での撮像パラメーター

3T	撮像時間	Slice Thickness	TR	Locs per Slab	Echo Train Length	Matrix (Freq)	Matrix (Phase)
変更前	6:21	1.0	6000	170	160	224	224
A	3:39	2.0	6000	100	180	224	224
B	3:38	2.0	5500	100	170	224	224
C	2:15	2.0	4000	100	200	224	224
D	1:59	2.0	4000	100	200	192	192
E	3:56	2.0	8000	100	200	192	192
F	3:14	2.0	4000	100	120	192	192

表1-b 1.5TMRI装置での撮像パラメーター

1.5T	撮像時間	Slice Thickness	TR	Locs per Slab	Echo Train Length	Matrix (Freq)	Matrix (Phase)
変更前	6:03	1.0	6000	180	160	224	224
A	3:21	2.0	6000	100	180	224	224
B	3:16	2.0	5500	100	170	224	224
C	2:33	2.0	5000	100	200	224	224
D	2:13	2.0	5000	100	200	192	192
E	3:32	2.0	8000	100	200	192	192
F	3:43	2.0	5000	100	120	192	192

で3分38秒, 1.5TMRI装置で3分16秒となった。

撮像パラメーターCの撮像時間は3TMRI装置で2分15秒, 1.5TMRI装置で2分33秒となった。

撮像パラメーターDの撮像時間は3TMRI装置で1分59秒, 1.5TMRI装置で2分13秒となった。

撮像パラメーターEの撮像時間は3TMRI装置で3分56秒, 1.5TMRI装置で3分32秒となった。

撮像パラメーターFは撮像パラメーターDよりETLを短くし撮像時間は3TMRI装置で3分14秒, 1.5TMRI装置で3分43秒となった。

2. 診療科と読影科の視覚的評価

撮像パラメーターA～Fから得られた画像(図1, 2)で専門医による各装置のVR画像と水平断画像のブラインド評価を行った結果を表2-a, 表2-bと表3-a, 表3-bに示す。

脳表VR画像では3TMRI装置と1.5TMRI装置の撮像パラメーターA, B, C, Fがaverageであった(表2-a, 表2-b)。1.5TMRI装置の撮像パラメーターDと3TMRI装置と1.5TMRI装置の撮像パラメーターEはexcellentであった。撮像パラメーターEは各装置で最も良い視覚

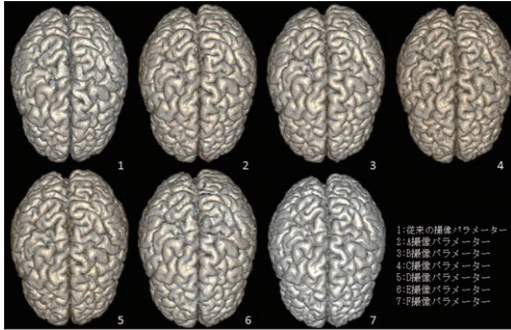


図1 3TMRI装置の撮像パラメーターA～Fの脳表VR画像

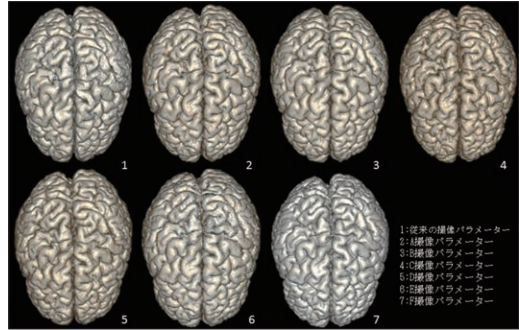


図2 1.5TMRI装置の撮像パラメーターA～Fの脳表VR画像

表2-a 3TMRI装置で撮像したVR画像の評価結果

3T	時間	excellent	average	poor
変更前	6:21		●	
A	3:39		●	
B	3:38		●	
C	2:15		●	
D	1:59		●	
E	3:56	●		
F	3:14		●	

表2-b 1.5TMRI装置で撮像したVR画像の評価結果

1.5T	時間	excellent	average	poor
変更前	6:03		●	
A	3:21		●	
B	3:16		●	
C	2:33		●	
D	2:13	●		
E	3:32	●		
F	3:43		●	

的評価となった。3TMRI装置の撮像パラメーターEの脳表VR画像を図3, 4に示す。

撮像パラメーターA～Fで白質と灰白質の評価が同程度であるのは3TMRI装置ではaverageの撮像パラメーターA, B, Eであり, 1.5TMRI装置ではexcellentの撮像パラメーターA, Bとgoodの撮像パラメーターC, D, Eとaverageの撮像パラメーターFであった(表3-a, 表3-b)。撮像パラメーターA～Fで白質と灰白質の評価が同程度でないのは3TMRI装置のfairの撮像パラメーターC, Dとpoorの撮像パラメーターFであった。

撮像パラメーターEは水平断の画像は白質と

灰白質の評価が同程度であり, 脳表VR画像も最も良い評価で最適な撮像パラメーターであった。

考 察

1. MRI撮像パラメーターの検討

撮像パラメーターA, Bは従来の撮像パラメーターよりも約3分間の時間が短縮した。視覚的評価で同様の視認性を得ており, 1.5TMRI装置よりも多くの信号量を得ることができる3TMRI装置での水平断の評価では従来の撮像パラメーターと比較して視覚的評価が低下したことからETLを20増加させたことやTRを500ms短縮し

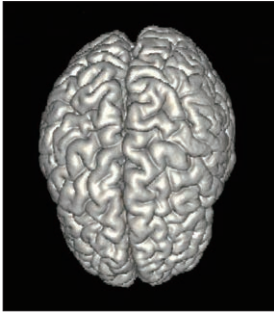


図3
撮像パラメーターEの
頭頂葉のVR脳表画像

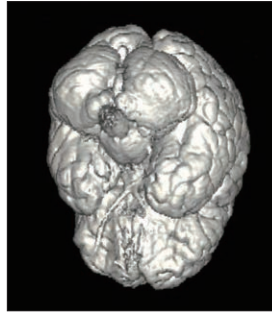


図4
撮像パラメーターEの
側頭葉のVR脳表画像

表3-a 3TMRI装置で撮像した水平断画像の評価結果画像

3T	excellent	good	average	fair	poor
変更前	●				
A			●		
B			●		
C				●	
D				●	
E			●		
F					●

表3-b 1.5TMRI装置で撮像した水平断画像の評価結果

1.5T	excellent	good	average	fair	poor
変更前	●				
A	●				
B	●				
C		●			
D		●			
E		●			
F			●		

たことよりもスライス厚を2mmに変更したことが画像コントラストに影響していると考えられる。スライス厚が厚くなると画像コントラストが下がり画質は低下した。しかし、脳表VR画像と水平断の観察は可能であり、撮像時間の短縮が可能なることからスライス厚を2mmで設定することが望ましい。

撮像パラメーターCとDよりMatrix数を減らす

と撮像時間が短縮し、水平断の画像コントラストの差はなかった。1.5TMRI装置の脳表VR画像の評価では撮像パラメーターDは撮像パラメーターCより評価が向上した。一般的にはMatrix数を減らすと分解能は低下し、信号量は増加する。脳表のような大まかな部位を観察する場合は分解能よりも信号量を重視することが良いと考えられる。今回は、Matrix数を減

少させることで脳表画像が鮮明になり、撮像時間も短縮されたことからMatrix数は192が最適であると考えられる。

撮像パラメーターDとEよりTRを短縮させることで撮像時間の短縮は可能であった。TRは画像成分にも関係しており、過度に短縮させると画像コントラストが変化するため注意が必要である。撮像パラメーターEは各装置で脳表VR画像の評価が高く、脳溝の描出が鮮明であった。このことからTRは8000msが最適であると考えられる。

撮像パラメーターDとFよりETLを減少させると撮像時間が延長し、水平断の画像コントラストが不良となる。1.5TMRI装置の脳表VR画像はETLが小さい撮像パラメーターDの方が撮像パラメーターCよりも鮮明になった。ETLを減少させるとT2フィルター効果でブラーリングが減少する。T2フィルター効果のブラーリングの程度はT2値の短い組織は信号強度の差が激しくなり、増大する。T2値の長い脳脊髄液については信号強度の差が減少する。脳表周囲は脳脊髄液で覆われておりFLAIR Cube Fat Satにより脳表周囲の信号が低下し視認性が向上した。

撮像時間の短縮は撮像パラメーターA～Fのすべてにおいて可能となった。撮像パラメーターDが最も撮像時間の短縮が可能であり、従来の撮像パラメーターより約4分間短縮できた。

2. 視覚的評価から得られる考察

外科的手術を行う際、病変部が頭頂葉にある場合は撮像パラメーターA～Fを用いて評価が可能である。撮像パラメーターE(図3, 4)は従来の撮像パラメーターよりも評価が良好であり、観察の困難な側頭葉の溝においては撮像パラメーターE(図3, 4)を用いるのが最良であると考えられる。一方で、目標疾患が頭頂葉にある場合では各装置すべての撮像パラメーターで鮮明に頭頂葉溝における観察が可能であったため撮像パラメーターDを用いて評価することが最も時間短縮になり患者の負担軽減に寄与

すると考えられる。

撮像パラメーターA, BとEでは水平断画像による白質と灰白質の評価が同程度である。以上より診断が可能な範囲で時間の短縮が可能であり、患者の負担軽減に寄与すると考えた。

一方で硬膜に炎症をきたしている場合や脳圧の亢進により脳溝が消失している症例においてVR画像評価は困難である。しかし、血腫が脳溝に近接した場合には血腫の時期によって脳表VR画像の作成が困難になる可能性があり今後検討する必要がある。

結 語

脳神経疾患の外科的手術前の評価として、脳表VR画像は有用であり、描出能を低下させることなく適切なパラメーターにより撮像時間の短縮は可能であった。これは患者の負担軽減に寄与すると考えられる。また、撮像パラメーターは目的とする部位によって使い分けが必要である。頭頂葉の脳表VR画像が必要な場合は撮像パラメーターDを使用し、頭頂葉と側頭葉の脳表VR画像が必要な場合は撮像パラメーターEを使用するのが望ましいと考えられた。臨床現場では、血管のVR画像も必要とするため、3TMRI装置で撮像パラメーターDかEを使用することが望ましい。

今後の課題として脳溝の周囲に血腫がある際は、血腫の信号が低下するパラメーターの検討が必要である。

本研究は、済生会滋賀県病院倫理委員会の指針に従ってデータの収集と処理を行った。

参考文献

- 1) 浅原実郎：改訂版MRIデータブック 最新用語辞典；44, 337, 株式会社メジカルビュー社出版, 2010.

論文受付：2020年6月12日 論文受理：2020年9月11日