シャントバルブ設定圧による 3T MRI アーチファクト変化についての検討

内田 大貴¹⁾, 田中 篤太郎¹⁾, 天野 裕貴¹⁾, 増井 孝之²⁾

1) 聖隷浜松病院脳神経外科, 2) 同 放射線科

Comparing Artifacts of 3T MRI between the Difference of Programmable CSF Shunt Valve Pressures

Daiki Uchida, M.D.¹⁾, Tokutaro Tanaka, M.D., Ph.D.¹⁾, Yuki Amano, M.D.¹⁾, and Takayuki Masui, M.D., Ph.D.²⁾

1) Department of Neurosurgery, Seirei Hamamatsu General Hospital, 2) Department of Radiology, Seirei Hamamatsu General Hospital

Adjustable pressure shunt systems have been widely employed for the treatment of patients with hydrocephalus. However these systems, with intrinsic permanent magnets, result in strong distortion artifacts on magnetic resonance (MR) images. In this study, we compared these MR imaging artifacts under different valve pressures.

We attached Aesculap-Miethke® ProGAV 2.0® shunt system to the temporal scalp of a healthy volunteer, parallel to the body axis. He underwent a 3T MR imaging examination with valve pressures of 5, 11, and 17 cmH₂O. The MR imager was SIGNA Pioneer, Ver. PX25.0 made by GE Healthcare.

The largest artifact was observed at the pressure of 5 cmH₂O, followed by 11 cmH₂O. The smallest artifact was observed at 17 cmH₂O.

Interference between the strong magnetic field of the MR imager and the weaker magnetic field of permanent magnets in the adjustable shunt system may explain the difference of the artifact size. The artifact was largest when the outer side magnetic field made by the permanent magnet inside the shunt system was opposite to the magnetic field made by the superconductive magnet of MR scanner.

The size of ProGAV 2.0® adjustable shunt system artifact depends on the adjusted valve pressure. We conclude that changing valve pressure before an MRI examination is one way to reduce these shunt system artifacts.

(Received November 7, 2016 ; accepted December 12, 2016)

Key words : hydrocephalus, adjustable valve, cerebrospinal fluid shunt, artifact, magnetic resonance imaging

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 26 : 523-528, 2017

緒 言

水頭症治療に対するシャントシステムとして, MRI 対応のロック機構を有した圧可変式バルブが広く用いられ

ている⁸⁾¹¹⁾¹³⁾¹⁴⁾. これらは内部に磁石を有し, MR 撮像時のアーチファクトが大きな問題となっている^{7)9)~11)13)14)}. 永久磁石自体が磁場を有する⁵⁾ことから, MRI 装置が発生する磁場と干渉してアーチファクトを

連絡先: 内田大貴, 〒430-8558 浜松市中区住吉 2-12-12 聖隷浜松病院脳神経外科

Address reprint requests to : Daiki Uchida, M.D., Department of Neurosurgery, Seirei Hamamatsu General Hospital, 2-12-12 Sumiyoshi, Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka 430-8558, Japan

Table 1 Imaging parameters and sequences used in the study

Sequence	FOV (cm)	Thickness (mm)	Spacing (mm)	TR (msec)	TE (msec)	ETL	FA	Bandwidth (Hz)	Frequency matrix	Phase matrix	NEX	TI
EPI-DWI axial	40	4	0	5,000	73.3			250	224	224	3	
FSE T2WI	22	5	2	4,025	96	18		41.67	320	320	1	
SE T1WI axial	22	5	2	600	10			41.7	320	192	1	
3D TOF MRA	20	1.2	0	21	2.4		18	50	320	192	1	
T2 FLAIR axial	22	5	2	9,000	90	18		31.25	352	192	1	2,469
SE T1WI coronal	22	5	2	600	10			41.7	320	192	1	

FOV : field of view, TR : repetition time, TE : echo time, ETL : echo train length, FA : flip angle, NEX : number of excitations, TI : inversion time, EPI : echoplanar imaging, DWI : diffusion-weighted imaging, FSE : fast spin echo, SE : spin echo, T1WI : T1 weighted image, T2WI : T2 weighted image, 3D TOF : three-dimensional time-of-flight, MRA : MR angiography, FLAIR : fluid-attenuated inversion recovery

生じることが避けられない。さらに最近はMRIの撮像でも圧設定が変化しないタイプが主流となってきたが、シャント内部の磁石が増加したためアーチファクトはむしろ増大し、このアーチファクト低減は重要な課題となっている。われわれは圧変更に伴って内部の磁石が回転するため、これによりアーチファクトの程度や形状が変化し得ると予想したが、渉猟し得たかぎりこれまでに報告はない。アーチファクトに関する研究はMRI撮像時の安全性、トルク、発熱などを検討した研究の結果の1つとして報告されたものが多く、ほとんどでファントムを用いた報告である^{7)9)~11)14)}。

今回、われわれはMRI対応のロック機構を有したAesculap-Miethke® ProGAV 2.0® (B. Braun, Germany)を用いて、同バルブを健常ボランティアの側頭部に密着させ、3T MRI撮像を行った。単一バルブにおける圧設定、撮像シークエンスの違いによるアーチファクトの変化を比較検討した。

対象と方法

当院倫理委員会承認のもと、健常ボランティア（26歳、男性）に対して本研究を施行した。圧可変式バルブはAesculap-Miethke® ProGAV 2.0®を使用し、バルブを側頭部頭皮に密着させて固定した。MRI装置はGEヘルスケア社製3T MRI (SIGNA Pioneer, Ver. PX25.0)、頭部用コイルにはTDI Head Neck Unitを用いた。バルブは同一部位に体軸とバルブの軸が一致するように設置した。テープ、スポンジを用いて圧着したうえで弾性包帯を巻き十分に固定した。その後、被検者を患者テーブルに寝かせて患者位置を調整し、天板を移動させて撮像を行った。撮像終了後はすみやかに天板を最後退位置まで移動

させ固定帯を外して退室させた。包帯、テープを丁寧に抜去してバルブの位置ずれがないことを確認し、X線および開放圧確認装置を用いて圧設定の変化がないことを確認した。シャント圧は5 cmH₂O、11 cmH₂O、17 cmH₂Oと変更してそれぞれ上記の撮像を行った。3T MRIの撮像条件は通常当院で行っている条件に設定し、T1強調画像 (axial, coronal)、T2強調画像、fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR)、diffusion-weighted imaging (DWI)、three-dimensional MR angiography (3D-MRA)の撮像を行った (Table 1)。アーチファクトは各スライス面内の最大径で評価した。計測時のwindow, levelは当院で通常行っている読影条件に設定した。アーチファクトによる信号低下で灰白質、白質の評価が困難なスライス断面において、シャントバルブ装着部分から垂直方向でのアーチファクト最大径を計測した。①スライス面内のアーチファクト最大径の比較、②アーチファクト径を群にまとめて群同士で比較、③スライス番号を一致させ、同一断面にしたうえで各群のアーチファクトの出方を比較した。統計学的解析にはEZR (Saitama Medical Center, Jichi Medical University, Saitama, Japan)⁶⁾を用い、Kruskal-Wallis検定を行ってp<0.05を有意差ありとした。

結 果

シャント圧を5 cmH₂Oに設定した時にすべてのシークエンスでアーチファクト最大径が最も大きく、11 cmH₂O、17 cmH₂Oの順番で減少した (Fig. 1)。T1強調画像、T2強調画像、FLAIRと比較してDWI、3D-MRAで特にアーチファクトが強く出現した (Fig. 2A)。DWI、3D-MRAについてはアーチファクトを認めたすべてのスライスで径を測り、それぞれの群をバルブ設定圧間で

Fig. 1 Representative axial MR images obtained in a volunteer with a proGAV2.0 valve
Artifacts were largest with the setting of 5 cmH₂O in all pulse sequences.

比較した。いずれのシーケンスでも圧を上げるに伴ってアーチファクト減少の傾向を認めた。特に DWI では 5 cmH₂O とその他の圧設定で、3D-MRA では 17 cmH₂O とその他の圧設定の間に統計学的有意差を認めた (Fig. 2B)。スライス番号を一致させて同一断面での観察を行ったとき、5 cmH₂O において最多の 88 スライスにアーチファクトを認め、11 cmH₂O では 69 スライス、17 cmH₂O では 65 スライスにアーチファクトを認めた。また、同一部位にバルブを設置したにもかかわらず圧変更に伴うアーチファクトの出方は大きく変化しており、アーチファクト最大径を含んだスライス番号は各群で異なっ

いた (Fig. 2C)。

考 察

圧可変式バルブの設定変更のみで MRI アーチファクトが大きく変化することが示唆された。アーチファクトが一番強かったのは 5 cmH₂O に設定した時であり、11 cmH₂O、17 cmH₂O の順に軽減が示された。

水頭症に対するシャント手術は 1960 年代に確立し、それ以降デバイスは急速に発展している。近年では微細圧コントロール可能な圧可変式バルブシャントシステム

Fig. 2 Comparison of artifact areas gained from each valve pressure

- A** : Comparison of maximum diameters (in mm) gained from each valve pressure. It shows the decreases of artifact as the valve pressure increases as well as the decreases of artifact as the valve pressure increases.
- B** : Artifact diameters (in mm) in diffusion weighted MR images (DWI) and MR angiography (MRA) sequences. Diameters of artifacts are notably different among the three valve pressures.
- C** : Artifact areas gained from MRA. Valves are attached at the same site. Shapes of artifact are different among the three valve pressures.

が浸透し、シャント選択の主流となっている⁸⁾¹¹⁾¹³⁾¹⁴⁾。また、MRI ロック機構を有したシャントバルブの発展によって、手術施行後の MRI 撮像、フォローアップが容易になった。そのような状況で問題となるのがバルブのアーチファクトである。現在、1.5 T MRI を上回る 3 T 超高磁場 MRI 装置が普及し、高解像度画像が得られるようになりつつある。金属インプラントによるアーチファクトは一般的に高磁場ほど顕在化することが知られており⁹⁾、圧可変式バルブの使用頻度が増えていることを考えると、今後アーチファクトによる問題はさらに増加すると思われる。

一般的には echo planar imaging (EPI) を用いた DWI、gradient echo 法を用いた time-of-flight (TOF) MRA は fast spin echo (FSE) 法 T1、T2 強調画像よりもアーチ

ファクトの影響が強いことが報告されている⁵⁾¹¹⁾¹³⁾¹⁴⁾。EPI DWI では急性期脳梗塞、脳膿瘍、脳腫瘍などの評価に頻用され^{1)~3)}、TOF MRA は脳血管疾患の評価にしばしば用いられる⁴⁾ことから、これらの評価において支障をきたす可能性が高い。実際、アーチファクトのために巨大化するまで診断困難だった髄膜腫の例が報告されている¹²⁾。

シャントバルブアーチファクト軽減の方法はこれまでも検討され、MRI の撮像法の工夫や撮像パラメータの調整によって減少し得るとの報告もあるが¹⁰⁾、日常臨床では依然としてその影響を無視できない。磁石自体が磁場を有する以上、アーチファクトを解消することは今のところ不可能だと思われるが、今回の研究ではシャントバルブ圧の変更がアーチファクトによる影響を回避する

Fig. 3 Magnetic field interactions in shunt valves

Direction of magnetic field is different for each shunt valve pressure setting. The relationship between the outer side magnetic field and the external magnetic field contribute to the degree and the shape of artifacts.

This figure is reprinted with permission from B. Braun Aesculap Japan.

1つの方法として簡便かつ十分検討できるものと思われる。

一般的な水平磁場型MRI装置では本体内の超電導磁石によって水平方向の静磁場が発生しており、シムコイルにより磁場の均一性を確保している。圧可変式バルブを静磁場の中に置くと磁石が発する磁場がMRIの静磁場不均一性を生じ、アーチファクトとなる⁵⁾。今回の結果では静磁場と磁石外側方向の磁場の方向が一致した時にアーチファクトが最小となり、正対するときに最大となっていた。また、これまでの報告ではMRI内の静磁場に対する試料の向き、形、大きさによっても磁場のゆがみが異なり、静磁場の方向に試料の長軸を合わせた時に最もアーチファクトが小さくなるとされている⁵⁾¹⁵⁾。これらが複合的に関与してアーチファクトは変化すると考えられる (Fig. 3)。

これまでに成されたアーチファクトの報告は製品間の比較も含めて多々あるが、ほとんどがファントム使用のものである^{9)~11)14)}。多くがバルブ間の面積を比較してアーチファクトの違いを検討しているが、実臨床に即したものは必ずしもいえない。臨床上重要なのはアーチファクトの正確な面積ではなく、アーチファクトによって脳表、脳実質の確認がどれだけ困難になるかという点である。また、本研究によって設置した位置、角度、圧設定でアーチファクトが変化することが示されたが、これまでの論文ではその点が考慮されていない。特に製品間の比較を行なうのであれば、今後はそれらに注意した

うえでの検討が必要だと考えられた。

本研究ではフォローアップや新規器質的疾患の精査のために脳表の確認をしたい場合、シャント圧を変更することでアーチファクト軽減の可能性があることを提唱する。中でもDWI、3D-MRAでのアーチファクト範囲は広いが圧調整により大きく変化し得るため、本手法はシャントを挿入した患者で血管障害を疑った場合に特に役立つ可能性がある。実臨床においては患者間でバルブの種類や設置場所、角度が異なるため、出現するアーチファクトの形状が異なると想定される。したがってアーチファクト低減が必要な場合、その最小径をとる圧設定は患者ごとに検索する必要がある。

本研究はAesculap-Miethke® ProGAV 2.0®とGEヘルスケア社製3T MRIの組み合わせで行われたが、圧可変式シャントシステムの内部の永久磁石の方向はメーカーによって異なっている。またMRIの撮像方法も各メーカーによって開発過程が異なっており、今後は本研究以外のメーカーの組み合わせも検討されるべきであろうと思われる。

著者のうち増井孝之は、自己申告によるCOI報告書を日本脳神経外科コンgres事務局に提出しています。その他の著者全員は、日本脳神経外科学会へのCOI自己申告を完了しています。いずれも本論文に関して開示すべきCOIはありません。

文 献

- 1) Al-Okaili RN, Krejza J, Wang S, Woo JH, Melhem ER:

- Advanced MR imaging techniques in the diagnosis of intra-axial brain tumors in adults. *Radiographics* 26 Suppl 1 : S173-S189, 2006.
- 2) Antulov R, Dolic K, Fruehwald-Pallamar J, Miletic D, Thurnher MM : Differentiation of pyogenic and fungal brain abscesses with susceptibility-weighted MR sequences. *Neuroradiology* 56 : 937-945, 2014.
 - 3) Aronen HJ, Laakso MP, Moser M, Perkiö J : Diffusion and perfusion-weighted magnetic resonance imaging techniques in stroke recovery. *Eura Medicophys* 43 : 271-284, 2007.
 - 4) Blitstein MK, Tung GA : MRI of cerebral microhemorrhages. *AJR Am J Roentgenol* 189 : 720-725, 2007.
 - 5) Gupta A, Subhas N, Primak AN, Nittka M, Liu K : Metal artifact reduction : standard and advanced magnetic resonance and computed tomography techniques. *Radiol Clin North Am* 53 : 531-547, 2015.
 - 6) Kanda Y : Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplant* 48 : 452-458, 2013.
 - 7) Lavinio A, Harding S, Van Der Boogaard F, Czosnyka M, Smielewski P, Richards HK, Pickard JD, Czosnyka ZH : Magnetic field interactions in adjustable hydrocephalus shunts. *J Neurosurg Pediatr* 2 : 222-228, 2008.
 - 8) Miyake H : Shunt devices for the treatment of adult hydrocephalus : Recent progress and characteristics. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 56 : 274-283, 2016.
 - 9) Olsrud J, Lätt J, Brockstedt S, Romner B, Björkman-Burtscher IM : Magnetic resonance imaging artifacts caused by aneurysm clips and shunt valves : dependence on field strength (1.5 and 3T) and imaging parameters. *J Magn Reson Imaging* 22 : 433-437, 2005.
 - 10) Shellock FG, Bedwinek A, Oliver-Allen M, Wilson SF : Assessment of MRI issues for a 3-T "immune" programmable CSF shunt valve. *AJR Am J Roentgenol* 197 : 202-207, 2011.
 - 11) Shellock FG, Habibi R, Knebel J : Programmable CSF shunt valve : in vitro assessment of MR imaging safety at 3T. *AJNR Am J Neuroradiol* 27 : 661-665, 2006.
 - 12) Singleton RH, Kellermier H, Lunsford LD : Radiation-induced meningioma concealed by shunt valve artifact : case report. *Neurosurgery* 62 : E743-E744 ; discussion E743-E744, 2008.
 - 13) Toma AK, Tarnaris A, Grieve JP, Watkins LD, Kitchen ND : Adjustable shunt valve-induced magnetic resonance imaging artifact : a comparative study. *J Neurosurg* 113 : 74-78, 2010.
 - 14) Zabramski JM, Preul MC, Debbins J, McCusker DJ : 3T magnetic resonance imaging testing of externally programmable shunt valves. *Surg Neurol Int* 3 : 81, 2012.
 - 15) 山本 徹 : MRI における金属インプラント材料の影響—検査安全性およびアーチファクト—. *日磁気学会誌* 23 : 1-11, 2014.

要 旨

シャントバルブ設定圧による 3T MRI アーチファクト変化についての検討

内田 大貴 田中篤太郎 天野 裕貴 増井 孝之

水頭症に対する脳室腹腔短絡術に対して圧可変式シャントバルブが広く用いられている。内部磁石により圧設定変更が可能だが、MRI 撮像時のアーチファクトが問題となる。われわれは Aesculap 社 ProGAV2.0 シャントシステムのバルブをボランティアの側頭部頭皮に密着させ、3T MRI 撮像を行った。同一部位に設置して 5 cmH₂O、11 cmH₂O、17 cmH₂O と圧設定を変更したところ、5 cmH₂O の時に全モダリティでアーチファクトが一番大きく、11 cmH₂O、17 cmH₂O の順に縮小傾向を認めた。圧変更にてシャントバルブ内で正対する磁石の角度が変わり、これにより変化する磁場のためにアーチファクトが変化したと考えられた。アーチファクト低減が必要な際、MRI 撮像前にシャント圧を変更することは 1 つの手段として考慮されると思われた。

脳外誌 26 : 523-528, 2017

ロック機能を有する圧可変バルブの欠点の克服に向けて

順天堂大学脳神経外科 宮嶋雅一

近年、水頭症の治療において、微妙に変化する水頭症病態に対応すべく、圧可変式バルブが小児から高齢者まで広く使用されている。しかし、高磁場に遭遇する機会の多い現代の生活環境において、偶発的に設定圧が変更される危険が存在する。患者および家族はこのことに対して、常に不安を感じ生活していたが、最近、MRI 対応のロック機能を有する圧可変バルブが開発され、複数のバルブを使用することが可能になっている。脳神経外科以外の診療科で MRI を行う時など、圧調整のために脳神経外科を受診する必要がなく便利な面もある一方で、本論文が指摘しているように、アーチファクトの増大が画像診断の妨げになる。このアーチファクトを防止する

には、バルブを設置する部位を前胸部にするなどの方法もあるが、身長伸びる小児例では後に問題が生じる。本論文では、バルブ圧を変更し、静磁場と磁石外側方向の磁場を一致させることにより MRI のアーチファクトを最小にする方法が述べられており、診療で役に立つ情報である。

本論文の考察で指摘されているように、現時点においては、患者間でバルブの種類や設置部位が異なるため、圧設定は患者ごとに検討する必要があると考えられる。今後、シャントバルブの種類ごとに、MRI のアーチファクトが最小となるバルブの設置部位と設定圧の基準を示すことができれば、実臨床に大いに役立つ情報となることが期待される。