臨床技術

論文受付
2015 年 1 月 30 日

論文受理
2015 年 11 月 9 日

Code Nos. 250
251

くも膜下出血発症時の脳血管 CT-angiography における bolus tracking 法のモニタ位置が CT 値に及ぼす影響

水井雅人^{1,2} 溝口裕司¹ 田城孝雄²

¹社会医療法人峰和会鈴鹿回生病院診療関連部放射線課

²放送大学大学院文化科学研究科文化科学専攻

緒言

近年, multi detector-row computed tomography (MDCT) の性能が著しく発展し, 画像診断の精度は向上した. この流れは既存の画像診断の選択の幅を広げ患者の治療にも直結し, 特に脳血管疾患の分野では治療の正確性および迅速性に寄与している. くも膜下出血 (subarachnoid hemorrhage: SAH) は突然の頭痛で発症する疾患で, 重篤な意識障害に陥るものから, 独歩にて来院するものまでその臨床像は多彩である¹⁾. 中でも, 迅速な処置が重要である緊急症例の場合は, MDCT において動脈瘤位置や大きさなどの治療に直結した存在診断や治療戦略の計画など, 具体的な情報が提供できる. 従来, SAH の責任病変となりうる動脈瘤の位置診断や大きさの計測はカテーテルを用いた digital subtraction angiography (DSA) 法によ

る検査を主体として実施されていた. しかし, DSA 法を用いた血管撮影検査が可能な施設は限定的であり, いつ・どこで・だれが発症するかわからない脳動脈瘤破裂を伴う SAH の検査としては迅速性の確保に難点があった.

1.5 Tesla-magnetic resonance imaging (1.5 T-MRI) を用いた動脈瘤検出能の検討では, 3 mm を超えると 95% 程度の診断能が得られるが, 3 mm 以下の動脈瘤には満足する結果を得られていない²⁾. 一方, 現在 16 列以上の MDCT を用いて造影剤をボース注入しながら頭部 CT 撮像すること (頭部 CT-angiography: 頭部 CT-A) で比較的簡便にかつ患者に大きな侵襲を伴うことなく脳動脈瘤の位置診断や質的診断, さらに治療方針の決定まで行うことが可能になった. また, 頭部 CT-A は脳動脈瘤の 80~90% を診断でき, 2 mm

The Difference of CT Value Related to Monitor Position in the Head CT-angiography Bolus Tracking Method for Patients with Subarachnoid Hemorrhage

Masato Mizui,^{1,2*} Yuji Mizoguchi,¹ and Takao Tashiro²

¹Suzuka Kaisei Hospital Department of Radiological Technology

²The Open University in Japan Graduate School of Arts and Sciences Program of Human Life and Health Sciences

Received January 30, 2015; Revision accepted November 9, 2015

Code Nos. 250, 251

Summary

The head computed tomography-angiography (head CT-A) examination is excellent for the detection and diagnosis of cerebral artery aneurysm. If we use bolus tracking method when implementing this examination, we must choose a monitoring point. We investigated the influence which the monitoring point (MCA or carotid-A) exerts on the CT value. As for the result, MCA monitoring point method was more excellent than the carotid artery monitoring point method. The CT value was higher about 50 HU in the MCA monitoring point than in the carotid artery monitoring point (average; carotid artery: 349.6 ± 57.8 HU, MCA: 413.2 ± 67.9 HU). So, we conclude that in the bolus tracking method of monitoring point of head CTA, MCA monitoring point should be used.

Key words: head CT-angiography, computed tomography contrast enhancement, bolus tracking method

*Proceeding author

以下の小さな動脈瘤の検出に問題があるものの、脳動脈瘤周囲の血管の立体構成の把握に適している³⁾。近年は3D-CTAの動脈瘤の検出能はDSAと同等であるとの報告もあり⁴⁾、さらに、多列の装置では3 mm未満の動脈瘤の検出感度が90%を超えるとの報告もある^{5, 6)}。

頭部CT-Aの撮像手技には固定法・ボーラストラッキング法・テストインジェクション法などがあり、それぞれの手技には利点と欠点がある。中でも、ボーラストラッキング法はより簡便に安定したCT値を得られる可能性が高いため、多くの施設で緊急性を認める症例に用いられている。頭部CT-Aの場合、モニタリングを行う部位は総頸動脈あるいはウイリスの動脈輪の中大脳動脈近位(M1部)で実施されることが多い。これらの方法で実際に必要とするCT値まで到達した場合は診断能を十分に担保できる画質を得ることができるが、目標とするCT値まで到達しなかった場合の画像は血管の描出能が低下し、診断能にも影響を及ぼす可能性がある。血管のCT値の違いは、血管形状に影響を与え、200 HU (Hounsfield unit) 程度では形状再現性が悪いとされ⁷⁾、閾値操作の難しさを軽減するには血管のCT値が300 HUを超えることが一つのポイントとされる⁸⁾。また、寺澤らは中大脳動脈において目標とするCT値を300 HU(平均値)として報告している⁹⁾。しかし、救急撮影ガイドライン(日本救急撮影技師認定機構)によると、ボーラストラッキング法のモニタリング位置として多く設定される総頸動脈では、頭蓋内圧亢進症を伴う重度のSAHにおいて、脳動脈血管描出には不十分なことがあるとされ、頭蓋内でのモニタリングが推奨されている¹⁰⁾。したがって、通常より患者の容態や撮像環境が厳しいSAH発症時の緊急頭部CT-Aにおいても300 HUを超えるCT値が安定的に得られるモニタリング位置を確立させる必要がある。特にモニタリング位置は、頭部CT-A検査の観察対象である頭蓋内血管を直接モニタリングするか否かが、得られるCT値を決定付ける重要な因子であると推察される。われわれは、SAH発症例における責任動脈瘤検出を目的とした頭部CT-Aにおいて、総頸動脈もしくはウイリス動脈輪の中大脳動脈近位(M1部)の2カ所のモニタリング位置について、造影能をCT値によって定量的に検討し、いずれの位置でボーラストラッキング法を実施することが有用か検討したので報告する。

1. 方法

1-1 倫理的配慮

本研究は鈴鹿回生病院倫理委員会にて平成25年12月に審査を受け、倫理規範の妥当性につき審査を受け承認された。

1-2 症例抽出の方法とサンプルの内訳

対象症例は、平成18年4月1日から平成23年3月31日の間にSAHを初めて発症し、動脈瘤検出目的にて緊急頭部CT-Aを撮像した症例であり、ボーラストラッキング法のモニタリング位置は総頸動脈および中大脳動脈において各14症例、合計28症例について連続サンプリング法にて抽出した。本研究の症例は全例、救急搬送から初療室に到着したのち速やかにCT検査を実施されている。抽出された症例で総頸動脈ボーラストラッキング法にて撮像された症例の平均年齢は、 68.0 ± 10.9 歳(年齢幅47~81歳)、男女比1:13、平均体重は計測されていない3例を除く11例で 49.7 ± 4.6 kg、脳外科医師がH & K分類を用いて臨床的に診断した重症度はグレードI:0例、グレードII:2例、グレードIII:4例、グレードIV:1例、グレードV:6例、不明もしくはH & K分類を用いて診断がされていない症例が1例だった。破裂した責任病変となる動脈瘤の存在した部位は、前方循環系11例、後方循環系3例だった。画像のノイズレベルは、 12.4 ± 0.8 HUだった。抽出された症例で中大脳動脈ボーラストラッキング法にて撮像された症例の平均年齢は、 69.9 ± 13.4 歳(年齢幅45~91歳)、男女比5:9、平均体重は計測されていない2例を除く12例で 52.8 ± 6.4 kg、脳外科医師がH & K分類を用いて臨床的に診断した重症度はグレードI:0例、グレードII:1例、グレードIII:0例、グレードIV:3例、グレードV:5例、不明もしくはH & K分類を用いて診断がされていない症例が5例だった。破裂した責任病変となる動脈瘤の存在した部位は、前方循環系12例、後方循環系2例だった。画像のノイズレベルは、 12.3 ± 0.8 HUだった。この2法の症例におけるサンプルの平均年齢および画像のノイズレベルに有意差は認めなかった。

1-3 評価法

各症例において左右中大脳動脈・椎骨脳底動脈分岐部で得られたCT値を求めた。この3点の平均CT値を求め、総頸動脈モニタリング法で撮像された症例と中大脳動脈モニタリング法で撮像された症例の2群について対応のないt検定を用いて有意差を検討した。

Fig. 1 Monitoring point and expose timing (carotid artery bolus tracking method).

1-4 使用機器および症例の撮像法

使用機器は、X線CT装置は東芝メディカルシステムズ社製 Aquilion64, work station は Fuji Film 社製 Synapse Vincent, 自動注入機は根本杏林堂製 Dual shot を用いた。撮影条件は管電圧: 120 kV, 管電流: 250 mA, rotation time: 0.5 s, スキャン方式はヘリカルスキャン方式, ピッチファクタは 0.64, スライス厚および再構成間隔 0.5 mm, 再構成関数 FC43 にてボーストラッキング法を用いて撮像した。造影剤と生理食塩水の flow rate および注入量は患者の体重によって変更し, 体重が 45 kg 以下の患者には造影剤を 3.1 ml/s で 47 ml 注入した後, 生理食塩水を同じ flow rate で 30 ml 注入した。体重が 46~55 kg の患者には造影剤を 3.4 ml/s で 52 ml 注入した後, 生理食塩水を同じ flow rate で 30 ml 注入した。体重が 56~65 kg の患者には造影剤を 3.7 ml/s で 56 ml 注入した後, 生理食塩水を同じ flow rate で 30 ml 注入した。体重が 66~75 kg の患者には造影剤を 4.1 ml/s で 62 ml 注入した後, 生理食塩水を同じ flow rate で 30 ml 注入した。体重が 76 kg 以上の患者には造影剤を 4.3 ml/s で 65 ml 注入した後, 生理食塩水を同じ flow rate で 30 ml 注入した。体重変化に対する造影効果は, 体重が増加するごとに変化する¹¹⁾ため, 体重の区別に造影剤投与量を変更した。Flow rate は, 造影剤投与方法より造影剤の注入時間を逆算し, 15.1 s に最も近い値で造影剤の注入が完了するように設定した。また, 生理食塩水は正中上皮下静脈から右鎖骨下静脈までの静脈内容積を考慮して 30 ml 固定とし, 造影剤注入終了後に同じ flow rate で後押し注入をした。

造影剤の種類はイオパミドール 370 mgI, 留置針は 20 G を用いて右肘正中上皮下静脈もしくは周辺の静脈に穿刺し実施した。総頸動脈モニタリングによる頭部ボーストラッキング法(総頸動脈モニタリング法)の撮像タイミングにおいて, モニタリング位置は, 総頸

Fig. 2 Monitoring point and expose timing (middle cerebral artery method).

動脈と内頸動脈・外頸動脈分岐部直下を目標とし, 第4頸椎から第5頸椎の間で歯列に存在する補綴物によるメタルアーチファクトの影響を最も受けにくい位置とした。ROIを総頸動脈血管内に直径3~5 pixelで設定し, 目視にてCT値が200 HUに到達した時点から delay time が 2 s 経過後に撮像開始した(Fig. 1)。中大脳動脈モニタリングによる頭部ボーストラッキング法(中大脳動脈モニタリング法)の撮像タイミングにおいて, モニタリング位置は, 中大脳動脈 M1 部を目標とし, 乳突蜂巣直上とした。ROI(region of interest)を中大脳動脈血管内に直径3~5 pixelで設定し, 目視にてCT値が180 HUに到達した時点から delay time が 1 s 経過後に撮像開始した(Fig. 2)。各ボーストラッキング法におけるモニタリング位置, delay time は, モニタリング位置から撮像を開始する頭蓋底まで寝台が移動するために必要な時間とした。撮像開始目標CT値は撮像開始位置に寝台が移動する距離と造影剤注入における時間濃度曲線の傾きを考慮し決定した。

2. 結果

CT値の平均値は, 総頸動脈モニタリング法を用いて撮像された症例で右中大脳動脈近位 354.9 ± 54.7 HU, 左中大脳動脈近位 351.5 ± 54.4 HU, 椎骨脳底動脈分岐部 347.0 ± 62.3 HU であり, 中大脳動脈モニタリング法を用いて撮像された症例で右中大脳動脈近位 418.7 ± 68.2 HU, 左中大脳動脈近位 410.8 ± 62.8 HU, 脳底動脈頂点 394.8 ± 79.9 HU であった。CT値の平均値は, 総頸動脈モニタリング法を用いて撮像された症例の3点のCT値の平均値は 349.6 ± 57.8 HU, 中大脳動脈モニタリング法を用いて撮像された症例の3点のCT値の平均値は 413.2 ± 67.9 HU だった。同一モニタリング位置での計測部位による有意差は認めず, モニタリング位置の差異による同一計測部位の有意差を認

Fig. 3 The comparison of the CT value about carotid artery method and middle cerebral artery method.

めた (Fig. 3). また, H & K 分類で最も重症と判定された (グレード V) 症例のみを抽出して比較した場合, 総頸動脈モニタリング法を用いて撮像された 6 症例の平均 CT 値は 362.0 ± 65.3 HU, 中大脳動脈モニタリング法を用いて撮像された 5 症例の平均 CT 値は 385.3 ± 75.0 HU だった. モニタリング位置での有意差は認めないものの, 中大脳動脈モニタリング法を用いた場合, 総頸動脈モニタリング法を用いて撮像された場合より高い CT 値が得られる傾向を示した (Fig. 4).

3. 考 察

本研究では, SAH 発症時のボーラストラッキング法による緊急頭部 CT-A において, 中大脳動脈モニタリング法で撮像された症例が総頸動脈モニタリング法で撮像された症例よりも頭蓋内血管の CT 値が高い結果となった. 一般に SAH を発症すると, 急性期に巨大陰性 T 波, ST-T 変化などの心電図変化¹²⁾, トロポニン T の上昇¹³⁾ など, 心筋にダメージを与える場合があり, 心機能に影響を与えることも考えられる. 特に心拍出量は, 造影剤の体内動態に影響を与えるファクターの一つであり¹⁴⁾, 心機能が不安定であることに起因して時間濃度曲線が安定しない可能性がある. その結果, 総頸動脈でモニタリングしても, 脳動脈の最大値到達時間を正確に捉えることができなくなる可能性がある. その一方, SAH を発症していない場合の循環動態は安定しており, 総頸動脈でモニタリングしても, 脳動脈の造影剤濃度のピークを捉えることができるため, 造影不良となる可能性は低い. さ

Fig. 4 The comparison of the CT value about carotid artery method and middle cerebral artery method (the patient who was diagnosed Grade V).

に脳動脈瘤破裂に伴う SAH において, 頭蓋内圧が特に亢進している状態 (グレード V) では総頸動脈でモニタリングを行って撮像を開始しても, 脳動脈には十分な造影剤が到達しない場合がある. これらを回避するために本研究で用いた中大脳動脈以外にも, 内頸動脈終末部 (C1) でのモニタリング法で撮像する方法なども使用されることがある. 本研究においても, H & K 分類におけるグレード V のように頭蓋内圧亢進の可能性が高い患者でも, 中大脳動脈をモニタリングポイントとして選択したほうが有意差はないものの, 高い CT 値が得られる可能性が指摘された. 先行研究において, 300 HU を超える CT 値を得ることが一つのポイントになるとされるが, H & K 分類でグレード V となる症例においても総頸動脈モニタリング法は 6 症例中 2 症例 (33.3%) が 300 HU を下回るが, 中大脳動脈モニタリング法では 300 HU を下回る症例はなかった. 本研究で対象となった症例ではグレード V の症例数が少なく, 有意差が現れるほどの差を認めなかったため, この結果をもって重症例において有効であると結論付けることは困難だが, 一つの傾向として参考にすることはできる.

留意点として, 本研究では緊急症例であることを鑑み, 正確な体重測定は困難なため, 簡易的に区分体重別に造影剤投与量および flow rate を決定している. 本来であれば, 脈管系の造影効果に再現性を持たせるにはフラクショナルドーズ (ml/kg/s) を一定とする方法が一般的である. 本研究の症例の造影剤投与量および flow rate はフラクショナルドーズを一定として撮

像していないことが、誤差要因となっている可能性も否定できない点にも注意を払う必要がある。

本研究では高い脳血管のCT値を得ることに焦点を当てて、ボーラストラッキング法におけるモニタリング位置について着目し、総頸動脈モニタリング法と中大脳動脈モニタリング法の2法を比較検討した。しかし、高いCT値を得ることのみが、頭部CT-Aの画質を左右するとは限らない。浜口らの報告では適切なノイズレベルで撮影されていなければ、目的の血管描出は得られないとされている¹⁵⁾。本研究では、平均ノイズが12.3~12.4 HUであり、浜口らが実施した検討よりも比較的多いノイズといえる。線量を増加させるかフィルタ関数を工夫することで、CT値以外のパラメータで良好な画像が得られる可能性もあると考える。

以上の点に注意を払いながら、中大脳動脈モニタリングによる頭部ボーラストラッキング法を施行するこ

とによって、安定して脳血管に対して高いCT値が得られる可能性が期待できる。

4. 結 語

本研究にてSAH発症時にボーラストラッキング法にて頭部CT-A検査を実施する場合、総頸動脈モニタリングによるボーラストラッキング法よりも、中大脳動脈モニタリングによるボーラストラッキング法で高いCT値が得られた。SAH発症時に頭部CT-Aを撮像する場合、観察対象の頭蓋内血管をモニタリングすることが高いCT値を得られる一つの方法であると考えられる。

謝 辞

本研究を実施するにあたっては、鈴鹿回生病院診療関連部放射線課諸氏からの多大な協力をいただいた。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高木 亮. 頭痛(突然の痛み). 臨床画像 2013; 10 月増刊号: 12-16.
- 2) Okahara M, Kiyosue H, Yamashita M, et al. Diagnostic accuracy of magnetic resonance angiography for cerebral aneurysms in correlation with 3D-digital subtraction angiographic images: a study of 133 aneurysms. Stroke 2002; 33 (7):1803-1808.
- 3) 篠原幸人, 小川 彰, 他. 脳卒中治療ガイドライン 2009. 協和企画, 東京, 2009: 187-188.
- 4) Villablanca JP, Martin N, Jahan R, et al. Volume-rendered helical computerized tomography angiography in the detection and characterization of intracranial aneurysms. J Neurosurg 2000; 93(2): 254-264.
- 5) Tipper G, U-King-Im JM, Price SJ, et al. Detection and evaluation of intracranial aneurysms with 16-row multislice CT angiography. Clin Radiol 2005; 60(5): 565-572.
- 6) McKinney AM, Palmer CS, Truwit CL, et al. Detection of aneurysms by 64-section multidetector CT angiography in patients acutely suspected of having an intracranial aneurysm and comparison with digital subtraction and 3D rotational angiography. AJNR Am J Neuroradiol 2008; 29(3): 594-602.
- 7) 平野 透, 清水目一成, 杉本晴美, 他. 頭頸部領域の3D-CT Angiography(3DCTA). 日放技学誌 2002; 58(5): 613-625.
- 8) 小寺秀一, 大森 恒, 安井一久. 頭部3D-CTAにおける形状再現性の基礎的検討. 日放技学誌 1997; 53: 13-18.
- 9) 寺澤一晶, 八町 淳, 室賀浩二. 頭部3D-CTAにおける可変注入による造影法の検討. 日放技学誌 2005; 61 (1): 126-133.
- 10) 日本救急撮影技師認定機構. 救急撮影ガイドライン救急撮影技師標準テキスト. へるす出版, 東京, 2011: 28-29.
- 11) 山口 功, 林 弘之, 鈴木正之, 他. 薬物動態解析を用いた大動脈における造影剤濃度変化の推測: MDCTを使用した急速静注下造影検査. 日放技学誌 2007; 63 (6): 621-627.
- 12) 亀井正邦, 亀田治男, 高久史磨, 他. 今日の診断指針. 医学書院, 東京, 1998: 488-489.
- 13) Naidech AM, Kreiter KT, Janjua N, et al. Cardiac troponin elevation, cardiovascular morbidity, and outcome after subarachnoid hemorrhage. Circulation. 2005; 112: 2851-2856.
- 14) 市川智章. CT造影理論. 医学書院, 東京, 2004: 14-15.
- 15) 浜口直子, 小寺秀一. 頭部3D-CTAにおけるCT-AECの検討: 撮影線量の適正化と血管描出について. 日放技学誌 2010; 60(4): 313-321.

問合せ先

〒513-8505 鈴鹿市国府町112番地

社会医療法人峰和会鈴鹿回生病院診療関連部放射線課 水井雅人