

氏名(本籍)	渡邊 雄一 (福島県)		
学位の種類	博士 (保健衛生学)		
学位記番号	博保甲第5号		
学位授与の日付	平成28年3月20日		
学位授与の要件	学位規程第5条第1項該当		
学位論文題目	頭部 3D-CTA における Small ROI 配置による撮影タイミングの最適化に関する検討		
論文審査員	主査	駒澤大学教授	博士 (医学) 嶋田 守男
	副査	駒澤大学教授	博士 (医学) 吉川 宏起
	副査	駒澤大学教授	博士 (工学) 奥山 康男
	副査	順天堂大学准教授	博士 (医学) 堀 正明

## 論文内容の要旨

### 1 背景

本研究の主たる目的は、急激な技術革新が進んでいる多列検出器型 X 線コンピュータ断層撮影 (Multidetector Computed Tomography; 以下, MDCT) を用いる頭部の 3 次元血管造影 (以下, 頭部 3D-CTA) における動脈相の撮影タイミングの最適化に関する検討にある。筆者の医療施設では、頭部 3D-CTA は Bolus Tracking 法を用いた 3 次元撮影 (以下, Volume Scan) にて行われている。これまでは透視スライスウィリス動脈輪の高さに置き、上肢の静脈よりポータスで注入した造影剤による動脈の濃染を目視で確認後に検査担当者の主観により撮像開始タイミングを判断していたが、頭部 3D-CTA は 1 回の Volume Scan にて撮影を完了させる検査であるために撮影タイミングのばらつきが問題となっている。

### 2 対象と方法

解析対象は、2012年3月30日から6月20日の期間に Volume Scan による頭部 3D-CTA が行われた連続 53 症例である。男女の内訳は男性 14 名、女性 39 名で、平均年齢は全体で 57.8 歳 (24~85 歳)、男性 57.8 歳 (38~85 歳)、女性 57.9 歳 (24~74 歳) であった。すべての対象についてインフォームドコンセントがなされ、本研究プロトコルは倫理委員会に申請し、承認が得られている。

本研究におけるすべての検査は、東芝社製 320 列 MDCT Aquilion ONE で撮影され、3 次元画像 (Volume Rendering 画像) の作成にはザイオソフト社製医用画像処理ワークステーション Ziostation 2 が用いられた。関心領域 (Region of Interest; 以下, ROI) 解析や時間濃度曲線 (Time Density Curve; 以下, TDC) の作成には画像処理ソフトウェア ImageJ v1.45, Microsoft Office Excel 2010 が用いられた。

正確に動脈相を捉えて検査の安定性を向上するために、頭蓋内の動脈に小さな ROI を配置して関

値を設け、自動で撮影開始を行う方法を考案した。実際の検査手順は、造影剤投与前の Volume Data を参照して内頸動脈終端の高さを透視スライスとし、左右それぞれの内頸動脈内に小さな ROI を配置、自動撮影を開始するトリガー閾値を 170HU (Hounsfield Unit) と設定した。造影剤濃度は 300mgI/mL を選択し、静脈内投与量は最大 80mL、投与速度 4.0mL/sec とし、自動で動脈相の Volume Scan を行った。撮影された動脈相の Volume Data について関心領域解析を行い、また CT 透視画像を 0.1 秒間隔にて再構成して時間濃度曲線 (Time Density Curve, 以下 TDC) を描いて撮影タイミングの評価を行った。

### 3 結果

対象 53 症例中 37 症例 (69.8%) で撮影が自動で行われ、自動から手動に切り替えられたのは 16 症例 (30.2%) で、これらのうち ROI 配置が成功であったのはそれぞれ 33 症例、5 症例であった。この ROI 配置が成功した 38 症例 (71.7%) では動脈相が概ね適正なタイミングで撮影されたと評価できた。一方 ROI 配置が失敗した 15 症例のうち撮影タイミングが適切であったのは 7 症例で、6 症例は撮影タイミングが遅れ、2 症例では速すぎていた。15 症例のうち自動撮影が行われた 4 症例ではいずれも撮影タイミングが遅れていた。

### 4 考察

小さな ROI の配置による自動撮影開始によって、より安定して動脈相の撮像ができる可能性が示唆された。安定かつ再現性良く動脈相が得られることによって、定量的な解析、より正確な診断が可能となり、その臨床的意義は大きい。

## 論文審査結果の要旨

### I 論文の概要と評価

第 1 章の序文では本研究の背景と目的が述べられている。研究の背景では、筆者が用いた MDCT の性能と、その装置による頭部 3D-CTA の実際の撮影法が解説されている。筆者が用いた 320 列の検出器を有する MDCT では、X 線管球が被写体の周囲を 1 回転するのに要する 0.275 秒という短い時間に体軸方向 16cm の撮影範囲における 3 次元撮影 (Volume Scan) が可能で、空間分解能は 0.5x0.5x0.5 mm が得られている。時間分解能と空間分解能の高い MDCT を循環時間が 7~10 秒と短い脳血管に応用するためには、頭部 3D-CTA における高い精度の撮影開始タイミングが要求されることになる。そこで筆者は、くも膜下出血の主たる原因となる脳動脈瘤の発生する好発部位であるウィリス動脈輪近部に撮影開始のトリガーとなる関心領域 (以下、ROI) を配置することを思いつき本研究が進めている。研究の目的は、従来から臨床現場で行われている目視による撮影開始ではなく、頭蓋内に撮影開始のトリガーとなる ROI を配置することで自動的な撮影開始を行い、それによって得られた脳動脈の描出能が従来の方法に比べていかに向上するかを検証することである。

第 2 章では本研究での使用機器と対象症例、第 3 章では研究方法が述べられている。本研究の優れた着眼点は、これまで冠動脈など頭部以外の領域における Volume Scan による 3D-CTA ではすでに適用されていた Bolus Tracking 法による自動撮影法を頭部 3D-CTA に応用したことにある。頭蓋内の主

要動脈は造影剤による増強効果を示す血管系と同等あるいはそれ以上の濃度を示す骨に接して走行している。そのため自動撮影開始のためのトリガーとなる ROI を血管内に配置するのが非常に困難であった。筆者は内頸動脈終端部に ROI を配置することを提案し、さらに動脈硬化症例や動脈瘤手術後の症例など血管壁の石灰化や手術による金属クリップ、金属コイルなど増強効果を示す血管系との識別が困難な構造を有する症例に対しては内頸動脈終端部より足側に ROI を配置するという対処法が提案されている。

第4章では臨床症例4例で得られた頭部3D-CTA画像が提示され、ROI解析が行われた53症例についての得られた結果が示されている。対象53例中38例(71.7%)においてROI配置に成功し、概ね適正なタイミングでの動脈相撮影に成功した。15例(28.3%)においてはROI配置に失敗し、撮影のタイミングにばらつきが出る結果となっている。15例のうち撮影が自動から手動に切り替えられたのは11例で、うち7例では撮影タイミングは適正、2例では早過ぎる、2例では晚過ぎるという結果が示されている。症例1はROI配置が問題なくなされた例で、症例2はウィリス動脈輪の高さではないが、手術によって動脈瘤のクリッピングがなされた例、症例3はウィリス動脈輪部にクリッピング手術がなされ、内頸動脈終端部より足側にROIを配置した例、症例4はROI配置部が不適切であったと例である。症例1、2ではROI配置は正確に行われ、自動撮影が成功したと評価されている。症例3はROIに隣接する骨構造による不具合で、目視による手動で撮影が開始されたと考えられた。このような場合には、従来のBolus Tracking法によるTDCを参考にしながら自動撮影から手動撮影に切り替えるなどの注意が必要であることが考察されている。症例4は自動撮影が行われたが、撮影タイミングは遅れる結果となった。こうした場合にも自動撮像から手動撮像への切り替える処置が必要と考えられている。撮像タイミングの評価では、ROIの配置に成功した38例では分布にばらつきが少なく、ROIの配置に失敗した15例では分布にばらつきが大きい結果となっている。ROIの配置に成功した群/失敗した群について、静脈のCT値の平均(109.7 / 132.2HU ( $p < 0.05$ ))に有意差が見られている。動脈のCT値(310.7 / 305.4HU ( $p > 0.05$ ))および動静脈のコントラストの平均(200.9 / 173.3HU ( $p > 0.05$ ))には有意差が認められていないが、後者ではROIの配置に成功した場合の方が高いコントラストになる傾向が示されている。

第5章の考察では、本論文の新規性がVolume Scanを用いる頭部3D-CTAにBolus Tracking法を用いて自動撮影を可能とすることに有り、この方法はこれまでの文献検索でも報告されていないことが明言されている。撮影開始を自動化するためにROIを内頸動脈終端部に配置することで適切なタイミングでの自動撮影が71.7%と高い成功率で行え、さらにこのROIの配置部が脳動脈瘤の好発部位であるウィリス輪内と理想的な部位であることから検査目的の動脈相が安定して的確に描出できる方法であることが証明されている。本研究ではROI閾値を170HUとして自動撮影が行われた37症例中33症例(89.2%)で適正なタイミングでの撮影が行われていたが、4症例ではタイミングが遅れる結果となっている。筆者も考察中で言及しているように、この研究では造影剤投与条件を最大投与量が80mL、注入速度が4.0mL/secと固定されており、症例ごとの微調整がなされていないことが大きな原因と考えられる。造影剤のBolus性が担保できると考えられる検査についてはROI閾値を高くす

る必要性、あるいは体重あたりのヨード量や造影剤投与条件の検討が今後の課題とされる。

## II 論文の審査結果

本論文で、筆者は検出器が320列の MDCT を使用する Volume Scan による頭部 3D-CTA に Bolus Tracking 法を用いる自動撮影の実現性を検討し、53症例の臨床データを解析し、38症例（71.7%）で ROI 配置に成功し、概ね適正なタイミングでの動脈相撮影を成功させている。本論文が提唱する新たな知見として以下の3点が上げられる。

- 1) 自動撮影開始のための ROI を脳動脈瘤の好発部位であるウィリス動脈輪内の内頸動脈終端部に ROI を配置した。これによって頭部 3D-CTA 検査の精度向上と安定性が担保されることが期待できる。
- 2) 動脈硬化症例や動脈瘤手術後の症例など、内頸動脈終端への ROI 配置が困難な症例への対処法として内頸動脈終端部より足側に ROI を配置するという対処法が提案されている。
- 3) 被験者の体動による ROI の位置ずれや ROI 周囲の骨や石灰化などによる理由で適正な撮影タイミングが得られなかった場合に手動撮影への切り替えの必要性が言及されている。

論文審査会において以下のような意見が出され、それらの一部については、論文中の文言の修正や加筆する旨が筆者に伝えられた。

- 1) ROI 設定領域が小さすぎるので、撮影担当者に高度の技量が要求される。
- 2) ROI 閾値を 170HU に設定したのはこれまでの臨床経験から得られたデータ解析によるものと考えられるが、今後は個々の症例についての適正值が設定されるよう期待する。
- 3) この方法によって造影剤投与量の低減が可能となると考えられるが、この点についても検討されることを推奨する。

本論文は、題名『Discussion about Improvement of Stability of the Scan Timing by Placing Small ROI in Cerebral 3D-CTA』で英文誌（Open Journal of Radiology, Vol 5, No 4, pp224-234, 2015）に掲載されていることから主査および副査のすべての審査委員は博士の学位に値する英語力が十分であると判断した。なお筆者は2015年3月に本研究科博士後期課程を単位取得退学となっているが、退学後も今まで指導教官の下で適切な指導が行われていた。

以上の諸点を鑑み、本論文は博士（保健衛生学）の学位に値するものと判断する。