

原著

希釈造影剤を用いた 3D-RA による頸動脈ステント留置後の血管内
腔評価の基礎的検討

依田 彰吾¹⁾ 濱田 祐介¹⁾ 川内 寛¹⁾ 佐久間 秀之¹⁾
天野 達雄²⁾ 佐藤 允之³⁾ 松丸 祐司⁴⁾

1) 国家公務員共済組合連合会 虎の門病院 放射線部

2) 杏林大学医学部附属病院 脳卒中内科

3) 国立病院機構 水戸医療センター 脳神経外科

4) 筑波大学附属病院 脳神経外科

依田 彰吾

国家公務員共済組合連合会 虎の門病院 放射線部

東京都港区虎ノ門 2-2-2 03-3588-1111(3821)

shogoyoda@hotmail.co.jp

keyword

- ・ 3D-Rotational Angiography
- ・ Carotid Artery Stenting
- ・ diluted contrast agent

宣言

「本論文を，日本脳神経血管内治療学会 機関誌「**Journal of NeuroendovascularTherapy**（脳神経血管内治療）」に投稿するにあたり，筆頭著者，共著者によって，国内外の他雑誌に掲載ないし投稿されていないことを誓約致します。」

希釈造影剤を用いた 3D-RA による頸動脈ステント留置後の血管内腔評価の基礎的検討

要旨

目的

近年 Cone beam CT (CBCT) の普及により CBCT を使用した血管描出、頭蓋内ステントの描出が報告されているが 3D-Rotational Angiography (3D-RA) による報告は少ない。我々は 3D-RA と希釈造影剤を用いた頸動脈ステント描出の検討を行なった。

方法

素材、形状の異なる頸動脈ステントを被せた模擬血管 Phantom を作成し、Phantom 内に希釈した複数の造影剤を封入して各頸動脈ステントに適した造影剤希釈倍率を求めた。

結果

各頸動脈ステントで評価良好な造影剤希釈倍率は異なり、Carotid Wall Stent では 50%—17%、PRECISE と PROTÉGÉ では 20%—10% が適していた。

結論

頸動脈ステントの種類により適切な造影剤希釈倍率は異なり、適切な濃度を選択することでステント形状、プラークや内膜肥厚、ステント内の血管内腔を画像化し、頸動脈ステント留置後の血管内腔評価が可能である。

緒言

近年、Flat Panel Detector 搭載型血管撮影装置の普及により Cone beam CT (CBCT) や 3D-Rotational Angiography (3D-RA) といった回転撮影の画質は飛躍的に向上し撮影の場面は広がってきている。

頚動脈ステント留置術 (CAS) 後において頚動脈ステント (CS) の形状と血管の密着性、血管内への Plaque Protrusion を評価することは必須であり、評価方法としては intravascular ultrasound (IVUS) が多く用いられている。High Resolution CBCT (HRCBCT) と希釈造影剤を使用した頭蓋内ステントの描出は報告されており ¹⁾ ²⁾、CS 描出においても Benndorf らが非造影 CBCT による CS と血管壁の描出の有用性を報告している ³⁾。また Hosokawa らが CBCT と希釈造影剤を使用した CS の描出を報告している ⁴⁾。

当施設の血管撮影装置に搭載されている回転撮影は CBCT、HRCBCT、3D-RA の 3 種類である。それらの撮影条件は明確に分かれており、CBCT では分解能不足、HRCBCT では動きや金属のアーチファクトにより評価困難な症例を経験した。

過去の報告では、異なる材質、構造の CS (Carotid Wall Stent、PRECISE) の描出において最適な希釈造影剤希釈倍率は同じであるとされている。また、臨床症例では患者の総頚動脈血流量の個人差までは考慮されていない。

本研究の目的は CS の種類、頚動脈血流量の個人差による描出の違いを 3D-RA と造影剤の希釈倍率により最適化する撮影法の検討である。

今回我々は 3D-RA と希釈造影剤を使用し、CS の形状、Plaque や内膜肥厚、CS の血管内腔の 3 つの要素をひとつの画像内に描出した。

また、構造や材質の異なる CS に対して造影剤の希釈倍率を変化させ、各 CS に適切な希釈倍率を求める基礎的検討を行なった。その結果をもとに過去の症例を後ろ向きに検討を行い、臨床にて個々の患者に対応できる撮影法を検討した。

方法および対象

使用機器

使用した血管撮影装置は Allura XperFD20/20 (PHILIPS, Amsterdam, Noord-Holland, Nederland)、workstation は装置付属の Xtravision を用いた。3D-RA 撮影条件は管電圧：オート、照射野サイズ：8inch、撮影時間：4.1 秒である。(Table 1)

CS は異なる 3 種類のス TENT、①Carotid Wall Stent (Boston Scientific, Natick, MA, USA)、②PRECISE (Johnson & Johnson, Miami, FL, USA)、③PROTÉGÉ (Covidien, Irvine, CA, USA) を検討に使用した。自作 Phantom として、模擬プラーク (CT 値 50Hounsfield Unit のアクリル変性シリコン樹脂) を留置した模擬血管を作成した。(Figure 1) 得られた画像の画素値を計測するために、画像処理ソフトは image J (U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA) を使用した。

1. 造影剤有効希釈倍率を求める Phantom study

自作 Phantom 内に希釈倍率を変化させた造影剤を封入した。封入した希釈造影剤はイオパミドール 300 (300mg Iodine/ml, Bayer Yakuhin, Ltd., Osaka, Japan) を使用し、原液の造影剤を 100% とし

て生理食塩水にて希釈した造影剤 50%、33%、20%、17%、10%、8%の 7 種類を使用した。それらを直径 25cm のアクリル製円柱水 Phantom の中心に配置し 3D-RA の撮影を行なった。(Figure 1)

画像解析方法

各 CS、各希釈倍率の画像を Cube size : 50%、Matrix size : 512×512×512 reconstruction、filter: very sharpにて再構成を行った。画像表示はXperCT modeによる Maximum Intensity Projection(MIP) 表示を使用し、表示スライス厚は1mmとした。CSの形状、模擬Plaque、CSの模擬血管内腔をひとつの画像内に分離して描出されているかを評価するためにCSと模擬プラークが1スライス面に含まれる短軸像を評価画像とした。

評価方法は視覚評価にてスコアリングを行い、CS・模擬血管内腔・模擬プラークそれぞれが明確に分離できるものをgoodとしscore 2、模擬血管内腔の造影剤濃度が高く、CSとの境界が不明瞭であるが模擬プラークは明確に分離できているものをfairとしscore 1、CSは視認できるが模擬血管内腔の造影剤濃度が低く、血管内腔と模擬プラークの分離が不明瞭であるものをpoorとしscore 0とした。評価者は放射線技師5名とし、評価者の平均scoreが2（5名全員がgood）の希釈倍率を各CSにおける有効希釈倍率とした。

また、画像処理ソフトの image J を用いて Figure 2 に示すように Region of interest (ROI) を設置し、各模擬血管 Phantom 内の希釈造影剤、CS、模擬プラーク、水 Phantom のピクセル値を測定し

た。

2. 造影剤使用希釈倍率の検討

CS の種類によって描出に必要な造影剤の希釈倍率が異なることが Phantom study の結果より示された。

Hosokawa らの報告⁴⁾では CBCT の基礎実験と臨床の結果で最適な造影剤濃度に差があり、それは動脈血流によるものと提唱している。健常人の総頸動脈血流量に関して約 9mL/sec という報告があり^{5) 6)}、当院における 3D-RA の基本注入レートが 4ml/sec であることから総頸動脈内では造影剤は希釈されていることが考えられる。総頸動脈内を有効希釈倍率の造影剤で満たすためには総頸動脈血流量と注入レートから総頸動脈内で希釈される倍率を求め、使用する造影剤の希釈倍率を決定する必要がある。

そこで我々は CAS 術前または CAS 術後に行われた頸動脈エコー (CUS) にてパルストップラ法を用いて測定された平均血流速度 TAMV (time averaged maximum velocity) (mm/sec) と術前血管撮影検査にて撮影した 3D-RA で計測された総頸動脈血管径 A_{diameter} (mm) から予測総頸動脈血流量 F_{estimate} (ml/sec) を算出し、造影剤注入レート $F_{\text{injection}}$ (ml/sec) と造影剤濃度 C_{contrast} (%) を考慮して予測血管内希釈倍率 C_{estimate} (%) を求めた。

予測血管内希釈倍率を求めた計算式は以下のとおりである。

$$F_{\text{estimate}} = \text{TAMV} \times \left(A_{\text{diameter}} / 2 \right)^2 \times \pi$$

$$C_{\text{estimate}} = 1 / \left(F_{\text{estimate}} / F_{\text{injection}} / C_{\text{contrast}} \right) \times 100$$

以上の計算式を使用して予測血管内希釈倍率が **Phantom study** で示された有効希釈倍率に合致するか、それにより使用した造影剤希釈倍率が有効であったか過去の症例を後ろ向きに評価した。計算に用いる **TAMV** は **CS** によって拡張された状態の血流速度が必要であるため、**CAS** 時の **3D-RA** には **CAS** 直後に施行した **CUS** の測定値、**follow up** 時の **3D-RA** には直前の **CUS** の測定値を用いた。また、当施設の総頸動脈に対する造影剤注入速度は **4mL/sec** を基本としているが、**3D-RA** 撮影前の **DSA** と総頸動脈の狭窄率を観察し、症例毎に医師と放射線技師の合意によって注入速度を **3.5—4.5mL/sec** の範囲で選択している。

画像評価は症例毎に **Phantom study** にて用いた **good、fair、poor** の三段階評価を評価者 5 名の合議により決定した。

評価対象

2015 年 3 月から 2016 年 3 月までの間に **CAS** または **CAS** 後の **follow up** を目的とした血管撮影にて **3D-RA** を撮影しており、その前後の **CUS** にて **TAMV** を計測している 52 症例 (**CAS** 直後 39 症例、**follow up** 13 症例) (男性 44 人、女性 8 人) を対象とした。年齢は 69.8 ± 7.1 歳 (範囲 : 36—86 歳) である。各 **CS** の内訳は **Carotid Wall Stent** : 37 症例、**PRECISE** : 2 症例、**PROTÉGÉ** : 13 症例である。なお本研究は当院倫理委員会の承認を受け実施した。

結果

1. 有効希釈倍率を求める **Phantom study** の結果

造影剤希釈倍率100%における視覚評価の結果は平均score1であり、ピクセル値の測定では3種類全てでCSよりも模擬血管の方が高値となった。画像上ではCSより模擬血管がX線高吸収になり周囲にハレーションが生じたためステントと模擬血管にコントラスト差がなくステントと模擬血管の分離を確認することが困難だった。Carotid Wall Stentでは50%—17%の希釈倍率、PRECISEとPROTÉGÉでは20%—10%の希釈倍率における視覚評価の結果は平均score2であり、ピクセル値の測定でもCS、模擬血管、模擬プラークのそれぞれで測定値が分離できていた。画像上においてもCSの形状、模擬プラーク、血管内腔を明確に分離することができた。Carotid Wall Stentの10%—8%、PRECISE、PROTÉGÉの8%における視覚評価の平均スコアはCarotid Wall Stentで1.2-0、PRECISEで0.2、PROTÉGÉで0だった。ピクセル値の測定では模擬血管と模擬プラークの測定値は近い値であった。画像上においても血管内腔の造影剤濃度が低く、画像上では模擬プラークとの境界が不明瞭であり分離することが困難だった。

(Figure 2) (Table 2)

2. 使用希釈造影剤倍率の検討の結果

2. 使用希釈造影剤倍率の検討の結果

過去の症例に対し各CS、使用希釈造影剤倍率、CUSのTAMVから予測血管内希釈倍率を算出し、臨床画像を評価したものをTable 3に示す。各CSの希釈倍率100%を用いた症例は本研究開始以前に撮影されたものであり、拡張後の血管形状の観察を目的としている。希釈造影

剤を用いた症例は本研究の Phantom study の結果を参考に CS の形状、plaque、CS 内の血管内腔の観察を目的として撮影された症例である。Carotid wall stent 留置患者に使用した希釈造影剤倍率は 100% と 50% であった。100% 造影剤では予測血管内希釈倍率は $42.7 \pm 18.3\%$ 、50% 造影剤では $19.9 \pm 5.4\%$ になり Phantom study における有効希釈倍率の範囲内となった。視覚評価の結果は 100% では good : 13 例 (87%)、50% では good : 20 例 (91%) であった。

PRECISE 留置患者に使用した希釈造影剤倍率は 100% と 20% であった。100% 造影剤使用では予測血管内希釈倍率は 26.3% となり PRECICE の有効希釈倍率 20—10% の範囲からは高濃度側へ外れた。20% 造影剤使用では予測血管内希釈倍率は 11.9% となり有効希釈倍率の範囲内となった。視覚評価の結果は 100% では fair、20% では good であった。

PROTÉGÉ 留置患者に使用した希釈造影剤倍率は 100%、67%、25% であった。100% 造影剤使用では予測血管内希釈倍率は $29.8 \pm 9.2\%$ となり PROTÉGÉ の有効希釈倍率 20—10% の範囲からは高濃度側へ外れた。67% 造影剤使用では予測血管内希釈倍率は 14.7% となり PROTÉGÉ の有効希釈倍率の範囲内となった。25% 造影剤使用では $11.5 \pm 1.6\%$ となり Phantom study における有効希釈倍率の範囲内となった。視覚評価の結果は 100% では good : 1 例 (11.1%)、fair : 8 例 (89%)、67% では good、25% では good : 3 例 (100%) であった。(Table 3)

臨床症例

1. Carotid Wall Stent

61 歳男性、症候性右内頸動脈狭窄症に対し CAS を施行し、2 年後の follow up 検査にて再狭窄が認められた。CS は Carotid Wall Stent を使用した。(Figure 3)

右内頸動脈へ CAS を施行した時の予測総頸動脈血流量は CAS 後の CUS の TAMV を用いて 11.2mL/sec であり、100% 造影剤を注入速度 4.0mL/sec にて使用したことから予測血管内希釈倍率： $C_{\text{estimate}} = 1 / (11.2 / 4.0 / 1.0) \times 100 = 35.7\%$ となった。Carotid Wall Stent の有効希釈倍率が 50—17% であり、得られた臨床画像においても CS と血管内腔が明確に分離され、Plaque protrusion が無いことを確認することができた。

follow up 時の撮影では検査直前の CUS の TAMV を用いて予測総頸動脈血流量は 11.8mL/sec であり、50% 造影剤を注入速度 4.2mL/sec にて使用したとから予測血管内希釈倍率： $C_{\text{estimate}} = 1 / (11.8 / 4.2 / 0.5) \times 100 = 17.8\%$ となった。得られた臨床画像では CS と血管内腔、CS 内の内膜肥厚がそれぞれ明確に分離された。

2. PROTEGE

66 歳男性、両側無症候性内頸動脈狭窄症に対し両側内頸動脈剥離術を施行し、その後両側へ CAS を施行した症例を提示する。右内頸動脈へ CAS を施行した直後は当時 3 D-RA を撮影していなかったため、右 CAS 施行 1 年後 follow up、3 年後 follow up、左 CAS 直後に 3 D-RA を撮影した画像である。使用した CS は左右ともに PROTEGE

を使用した。(Figure 4)

1年後 follow up 時の予測総頸動脈血流量は CAS 後の CUS の TAMV を用いて 8.0mL/sec であり、100%造影剤を注入速度 3.8mL/sec で使用したことから予測血管内希釈倍率： $C_{\text{estimate}} = 1 / (8.0 / 4.0 / 1.0) \times 100 = 47.3\%$ となった。PROTÉGÉ の有効希釈倍率が 20-10%であり、得られた臨床画像においても CS より血管内腔の濃度が高くなり、画像内ではプラークの分離は明確だが CS と血管内腔の分離は不明瞭であった。

3年後 follow up 時の撮影では検査直前の CUS の TAMV を用いて予測総頸動脈血流量は 9.1mL/sec であり、25%造影剤を注入速度 4.0mL/sec にて使用したことから予測血管内希釈倍率： $C_{\text{estimate}} = 1 / (9.1 / 4.0 / 0.25) \times 100 = 11.0\%$ となった。得られた臨床画像では CS と血管内腔にコントラストがあり、CS、血管内腔、前回より増加した内膜肥厚が明確に分離された。

左内頸動脈へ CS を留置した際の予測総頸動脈血流量は CAS 直前の CUS の TAMV 度を用いて 18.1mL/sec であり、右内頸動脈の平均血流速度よりも早いことから 67%造影剤を 4.0mL/sec にて使用した。予測血管内希釈倍率： $C_{\text{estimate}} = 1 / (18.1 / 4.0 / 0.67) \times 100 = 11.3\%$ であった。得られた臨床画像では CS と血管内腔にコントラストがあり、CS と血管内腔の明確な分離と CS 内に Plaque protrusion が無いこと確認することができた。

3. PRECISE

76 歳男性、無症候性右内頸動脈狭窄症に対し CAS を施行し、2 年

後の follow up 検査にて再狭窄が認められた。CS は PRECISE を使用した。(Figure 5)

右内頸動脈へ CAS を施行した時の予測総頸動脈血流量は CAS 後の CUS の TAMV を用いて 15.2mL/sec であり、100%造影剤を注入速度 4.0mL/sec にて使用したことから予測血管内希釈倍率： $C_{estimate} = 1 / (15.2 / 4.0 / 1.0) \times 100 = 26.3\%$ となった。PRECISE の有効希釈倍率が 20-10% であり、得られた臨床画像においても CS と血管内腔の濃度が同等になり、CS と血管内腔の分離は不明瞭であった。

2 年後 follow up 時の撮影では検査直前の CUS の TAMV を用いて予測総頸動脈血流量は 7.0mL/sec であり、本研究の結果を参考に予測血管内希釈倍率を 12% にするために 20% 造影剤を注入速度 4.2mL/sec にて使用した。予測血管内希釈倍率： $C_{estimate} = 1 / (7.0 / 4.2 / 0.2) \times 100 = 12.0\%$ となった。得られた臨床画像では CS と血管内腔、内膜肥厚による再狭窄がそれぞれ明確に分離された。

考察

CAS 後の術後評価は非侵襲的な CUS が主流であり、狭窄が指摘された場合に血管撮影検査にて精査を行う。血管撮影における DSA は CS 留置後の拡張度や CS 内血栓、粥腫の突出を 1 方向、もしくは Biplane 装置ならば 2 方向の観察であり多方向の情報は撮影回数を必要とする。血管内超音波は病変部の性状や形状、狭窄度、CS 内の評価が可能であり DSA を補完する情報が得られるが、CS の内側にデバイスを通さなければならないため、穿孔や脳梗塞のリスクは

少なからず存在し対策として塞栓保護デバイスが必要である^{7) 8)}。

ステント留置直後ならば塞栓保護デバイスが血管内に留置されている場合もあるため IVUS による評価も安全に施行できるが、CAS 後経過観察の診断血管撮影検査では塞栓保護デバイスを用いることはなく、DSA や 3 D-RA などの X 線撮影のみで評価が行われる。3 D-RA を CAS 後の評価として用いるメリットとしては撮影に必要なカテーテル以外のデバイスを必要としないこと、希釈造影剤を使用するだけで特殊な技術を必要としないことである。

そのため塞栓保護デバイスが留置されている場合は血管内超音波が選択されるが、塞栓保護デバイスが無い診断血管撮影では 3 D-RA が有効である。

3D-RA と高分解能 CBCT の両者ともに造影剤コントラストの可視化に優れている撮影法である。そのため高分解能再構成による Volume Rendering 画像、多断面表示画像表示に優れている。高分解能 CBCT の画像コントラストを表示する Look up table は直線であるため全体の濃度が強調される。また収集画像数においては撮影時間 20 秒-620view であり、その多量の収集画像数は末梢血管や静脈などの造影効果の小さい血管を描出する低コントラスト分解能に優れる。しかし金属や拍動などの各種アーチファクトも血管同様に強調されてしまう。一方、3D-RA の Look up table は S 字曲線であることから任意の濃度範囲のコントラストを強調できるため造影血管と頸動脈ステントなどの金属のコントラスト差がある両者を描出する高コントラスト分解能に優れる。3D-RA は管電圧がオートで変化し金属アーチファクトが HRCBCT に比べ少ない。また撮影時間 4 秒-120view

であり、低コントラスト分解能を必要とする対象には不向きであるが、金属や拍動のアーチファクトの影響は受けにくい。

本研究においてはステントと造影血管の両者の描出、頸部拍動による動きの影響を最小限に抑える高速撮影を求めるため 3D-RA が適していると考ええる。

基礎実験で示した通り画像上で CS と血管内腔にコントラストをつけるためには CS を超えない程度の高濃度の希釈造影剤が必要である。Carotid Wall Stent の材質は Elgiloy であり X 線吸収が大きい。形状は closed cell 型の密なステント構造である。一方、PRECISE と PROTÉGÉ とともに材質は Nitinol であり Elgiloy に比べ X 線吸収は小さい。形状は open cell 型で free cell areas が広い。Carotid Wall Stent に比べ PRECISE と PROTÉGÉ では X 線吸収の小さい材質であり、CS の総面積が狭いことから、Carotid Wall Stent よりも低濃度の希釈造影剤が適していると考ええる。

Hosokawa らは Carotid wall stent と PRECISE とともに基礎実験では 5% の希釈造影剤が最適であると報告をしているが⁴⁾、我々は Carotid wall stent は 50-17%、PRECISE は 20-10%としている。

この濃度差は装置特有の Look up table の違いと収集画像数の違いによるものも要因の一つであると考ええるが、CS の形状と材質も重要な要因の一つであり、異なる CS における造影剤濃度はそれぞれ使い分けることが望ましいと考える。

臨床検討において我々は CUS の TAMV を用いて造影剤希釈倍率を求めたが、52 症例の TAMV は様々であったことから決められた造影剤希釈倍率では全ての症例に対応することは困難である。良好な画

像描出には総頸動脈内を造影剤で均一に満たすことが重要であり、血管径や狭窄の形状によって造影剤濃度を考慮しなければならない。特に高度狭窄症例では血流速度を造影剤注入速度が上回ってしまうケースもあり、総頸動脈血流による希釈がされずに造影剤に置換されてしまうおそれがある。そのため高度狭窄症例では血流速度に合った注入速度と、血液より比重の重い造影剤は **pooling** しやすいため低濃度の造影剤の使用が好ましい。

CAS、血管撮影検査の前に血流量を予測することで最適な造影剤希釈倍率を求めることが可能であるが、頸動脈の **TAMV** を求めるタイミングに課題があると考ええる。**follow up** の血管撮影検査ならば検査中に血流速度に変化がないため検査前の **CUS** の **TAMV** を使用できる。しかし **CAS** の場合、頸動脈拡張後に血流速度が変化するため **CS** 展開後の血流速度が必要である。術中に **TAMV** を求める方法としてはポータブルエコーなどで **3 D-RA** 直前に計測する手段が容易であると考ええる。Jo らが **Transcranial Doppler (TCD)** を用いて内頸動脈血流量を測定し、動脈血流によって造影剤を希釈する手法を報告している⁹⁾。目的血管がカテーテルから遠位にある内頸動脈であるため総頸動脈の描出には適用されない。しかし **TCD** は当院の **CAS** 手技中に頭蓋内血流の速度をリアルタイムに計測し脳梗塞の事前予測に用いており、装置自体は頸部への機器の写り込みなど撮影への影響がない。**TCD** から総頸動脈の血流速度の変換がなされれば安全、検査のスループットからも非常に有効な手段と成り得ると考え、これらは今後の検討課題とする。

結語

CAS 後の血管内腔評価には頸動脈ステント、プラークおよび内膜肥厚、ステント内の血管内腔の三要素を画像化することが必須である。本研究で示した手法を用いることで頸動脈ステントの種類、頸動脈血流量の個人差による描出の違いを 3D-RA と造影剤の希釈倍率によって最適化することが可能である。

謝辞

本研究に際し、御協力を賜りました虎の門病院脳神経血管内治療科スタッフ、同院放射線部諸氏に深く感謝申し上げます。

利益相反の開示

筆頭著者および共著者全員が利益相反はない。

文献

- 1). R.M.Snoeren, M.Soderman, J.N.Kroon, et al.
High-resolution 3D X-ray imaging of intracranial nitinol stents.
Neuroradiology 2012;54(2):155-62
- 2). N.V.Patel, M.J.Gounis, A.K.Wakhloo, et al.
Contrast-Enhanced Angiographic Cone-Beam CT of
Cerebrovascular Stents:Experimental Optimization and Clinical
Application.
AJNR 2011;32(1):137-144
- 3). G.Benndorf, C.M.Strother, B.Claus, et al.

Angiographic CT in cerebrovascular stenting.

AJNR 2005;26:1813-1818

- 4). Hosokawa S, Kawai N, Sato M, et al.

Optimal contrast material concentration for distinguishing among carotid artery lumen, carotid stent, and neck in cone-beam computed tomography during carotid angiography: basic and clinical studies.

Jpn J Radiol.2012 ;30(4):358-364

- 5). Wada T, Kodaira K, Fujishiro K, et al.

Correlation of Common Carotid Flow Volume Measured by Ultrasonic Quantitative Flowmeter With Pathological Findings.

Stroke.1991;22:319-323

- 6). Takahashi H, Konno S, Watanabe K, et al.

Effects of aging on blood flow volumes, velocities, mean vessel diameters, and vessel elasticities of the common carotid artery in healthy volunteers: A longitudinal study.

Jpn J Stroke.1997;19:301-307

- 7). P.Musialek ,P.Pieniazek ,W.Tracz ,et al.

Safety of embolic protection device-assisted and unprotected Intravascular ultrasound in evaluating carotid artery atherosclerotic lesions.

Med Sci Monit.2012;18(2):MT7-18

- 8). Tsurumi A, Miyachi S, Yoshida J

The role of IVUS Virtual Histology in cerebrovascular disorders

carotid artery stenting.

Currently Practical Neurosurgery 2007;17(4):446-454

9). K.I.Jo, S.R.Kim, J.H.Choi, et al.

Contrast-enhanced angiographic cone-beam computed tomography without pre-diluted contrast medium.

Neuroradiology. 2015 ;57(11):1121-1126.

図表の説明

Table 1 3D-RA と HRCBCT の撮影条件の違い

＊)3D-RA では FPD size が 8 inch 以下の場合、binning が 1×1 になる

3D-RA=3D Rotational Angiography

CBCT=Cone beam CT

FPD=Flat Panel Detector

Figure 1

模擬血管 Phantom、頸動脈ステント、模擬ブランクの配置図

Figure 2 各頸動脈ステントにおける希釈造影剤倍率別の Phantom 画像

Carotido Wall Stent、PRECISE、PROTÉGÉ の三種類のステントに造影剤濃度 100-8%の希釈造影剤を封入した 7 種類の模擬血管 Phantom 画像と視覚評価の平均 score。および画素値を計測する Region of interest (ROI) の設置図。

Table 2

模擬血管 Phantom における各頸動脈ステント毎の希釈造影剤、頸動脈ステント、模擬プラーク、水 Phantom のピクセル値

Value are mean±standard deviation

Table 3 各頸動脈ステント症例における予測血管内希釈倍率の

算出結果及び視覚評価

Value are mean±standard deviation

C_{contrast} =Concentration of Contrast medium

F_{estimate} =Estimation Carotid arterial blood flow

C_{estimate} =Estimation Intravascular contrast agent concentration

Figure 3

同一患者における頸動脈ステント（Carotid Wall Stent）の DSA および 3 D-RA 画像

左：右総頸動脈に対して Carotid Artery Stenting（CAS）施術時の 3 D-RA。100% 希釈倍率造影剤を使用。

右：CAS 後 2 年 follow up 検査時の 3 D-RA。50% 希釈倍率造影剤を使用。

Figure 4

同一患者における頸動脈ステント (PROTEGE) の DSA および 3 D-RA 画像

左：右総頸動脈に対して Carotid Artery Stenting（CAS）施術後 1 年 follow up 検査時の 3 D-RA。100% 希釈倍率造影剤を使用。

中：CAS 後 3 年 follow up 検査時の 3 D-RA。25% 希釈倍率造影剤を使用。

右：左総頸動脈に対して CAS 施術時の 3 D-RA。67% 希釈倍率造影剤を使用。

Figure 5

同一患者における頸動脈ステント(PRECISE)の DSA および 3D-RA 画像

左：右総頸動脈に対して Carotid Artery Stenting（CAS）施術時の 3 D-RA。100% 希釈倍率造影剤を使用。

右：CAS 後 2 年 follow up 検査時の 3 D-RA。20% 希釈倍率造影剤を使用。

Table 1 3D-RAとHRCBCTの撮影条件の違い

	3D-RA	High resolution CBCT
Tube voltage [kV]	50-125(Auto)	80
Exposure time [sec]	4.0	20
Frame rate [fr/sec]	30	30
FPD size [inch]	8.0	8.0
Matrix	1024	1024
pixel size [μ m]	154	154
Filter	0.1mmCu+1.0mmAl	none
Rotation angle [deg]	210	210
projection images	121	620
binning	1 $\times$ 1 [*]	1 $\times$ 1

Table 2 模擬血管Phantomにおける各頸動脈ステント毎の希釈造影剤、頸動脈ステント、模擬プラーク、水Phantomの画素値

		Pixel values(Mean±SD)						
		100%	50%	33%	20%	17%	10%	8%
Carotid wall stent	Dilution contrast medium	214.9±8.0	169.9±7.6	144.2±6.9	121.7±7.1	109.5±8.4	78.2±11.7	66.7±13.1
	carotid stent	159.8±47.3	149.4±49.1	157.7±44.7	155.2±68.4	158.8±73.1	151.8±74.2	151.6±79.0
	simulated plaque	77.3±31.9	54.8±14.8	55.0±12.9	46.2±9.5	43.5±15.2	42.5±17.5	48.6±17.5
	water phantom	52.7±9.9	43.4±9.2	47.0±21.9	36.3±13.2	37.0±11.6	21.9±15.8	38.1±16.2
PRECISE	Dilution contrast medium	224.0±0	168.6±12.0	139.6±8.4	125.9±11.4	106.3±9.7	85.9±14.7	65.5±12.9
	carotid stent	140.4±33.1	143.6±43.2	145.9±47.9	141.8±43.7	143.0±44.3	139.5±50.6	139.1±52.2
	simulated plaque	58.2±11.0	53.4±12.9	53.3±10.7	62.5±10.5	47.0±13.1	49.3±15.2	49.6±10.9
	water phantom	32.9±8.0	31.9±10.4	34.6±9.2	33.5±10.0	36.9±9.6	34.3±13.0	36.0±14.8
PROTÉGÉ	Dilution contrast medium	235.9±9.3	167.1±10.1	140.6±10.6	120.8±10.4	101.5±10.0	86.6±13.9	63.6±10.5
	carotid stent	140.6±50.0	138.2±26.4	142.8±48.6	140.3±46.3	143.8±57.3	141.1±64.9	139.9±66.1
	simulated plaque	58.0±8.8	52.4±13.8	49.1±15.6	43.9±11.6	43.4±15.7	41.2±11.9	52.6±10.0
	water phantom	36.6±8.5	34.7±12.1	28.6±10.9	36.8±10.1	31.2±15.2	31.7±11.3	36.5±8.8

Table 3 各頸動脈ステント症例における予測血管内希釈倍率の算出結果および視覚評価

	C _{contrast} (%)	F _{estimate} (mL/s)	C _{estimate} (%)	Visual Evaluation (cases)		
				good	fair	poor
Carotid wall stent (n=37)	100% (n=15)	12.4±5.7	42.7±18.3	13	2	0
	50% (n=22)	11.8±3.2	19.9±5.4	20	0	2
PRECISE (n=2)	100%(n=1)	15.2	26.3	0	1	0
	20%(n=1)	7.0	11.9	1	0	0
PROTÉGÉ (n=13)	100% (n=9)	14.5±4.5	29.8± 9.2	1	8	0
	67% (n=1)	18.1	14.7	1	0	0
	25% (n=3)	11.8±3.2	11.5±1.6	3	0	0

Fig.1

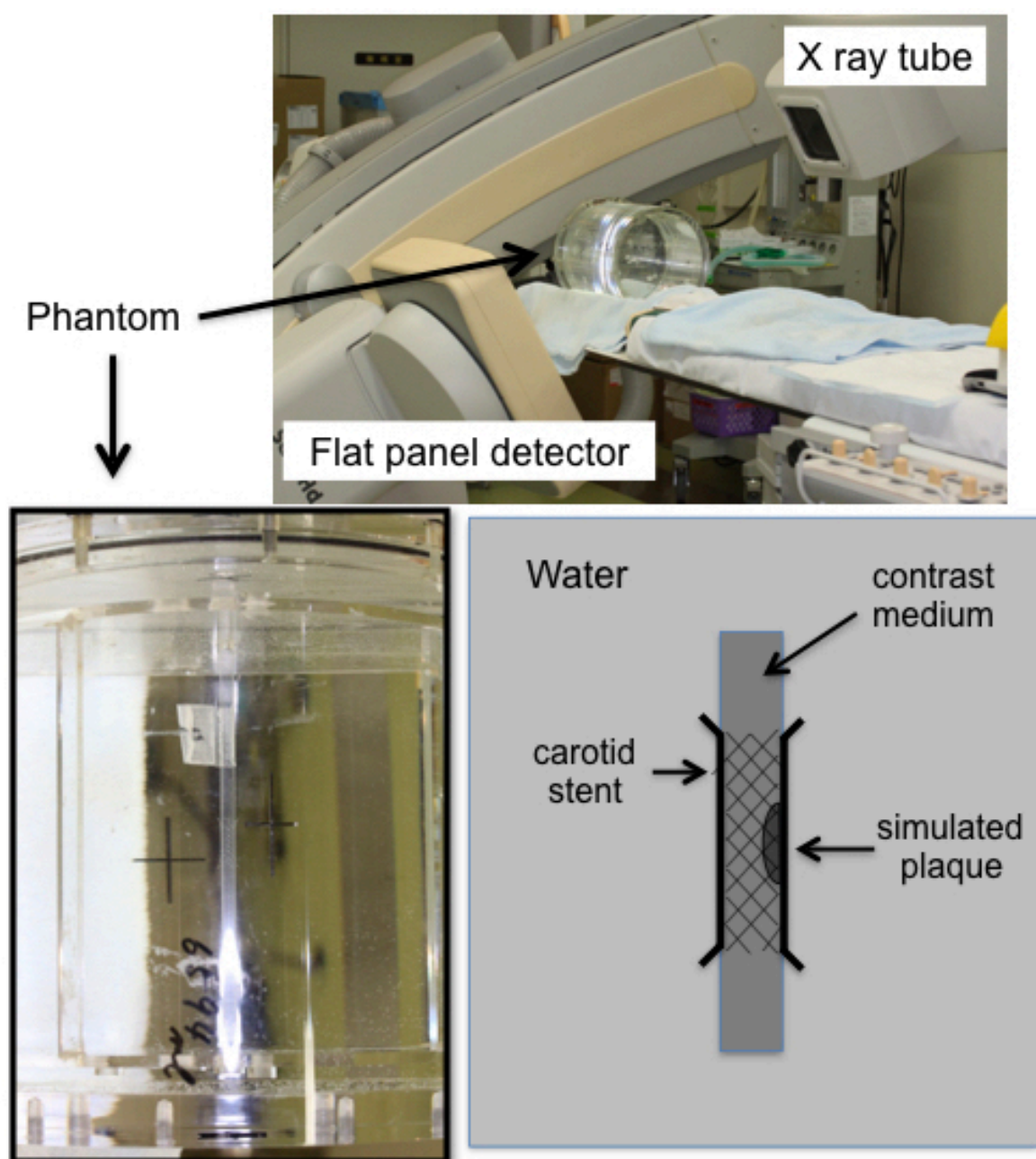


Fig.2

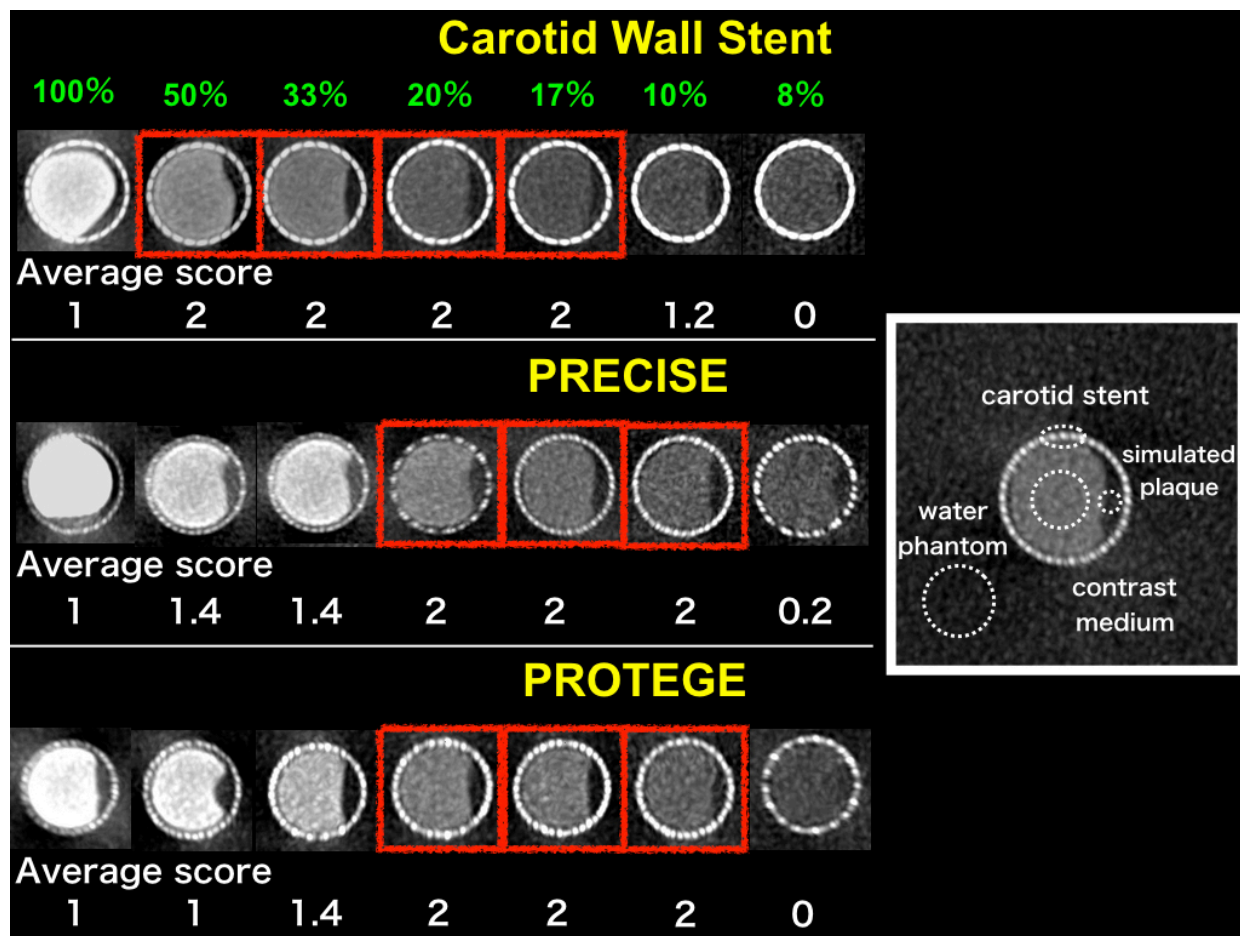


Fig.3

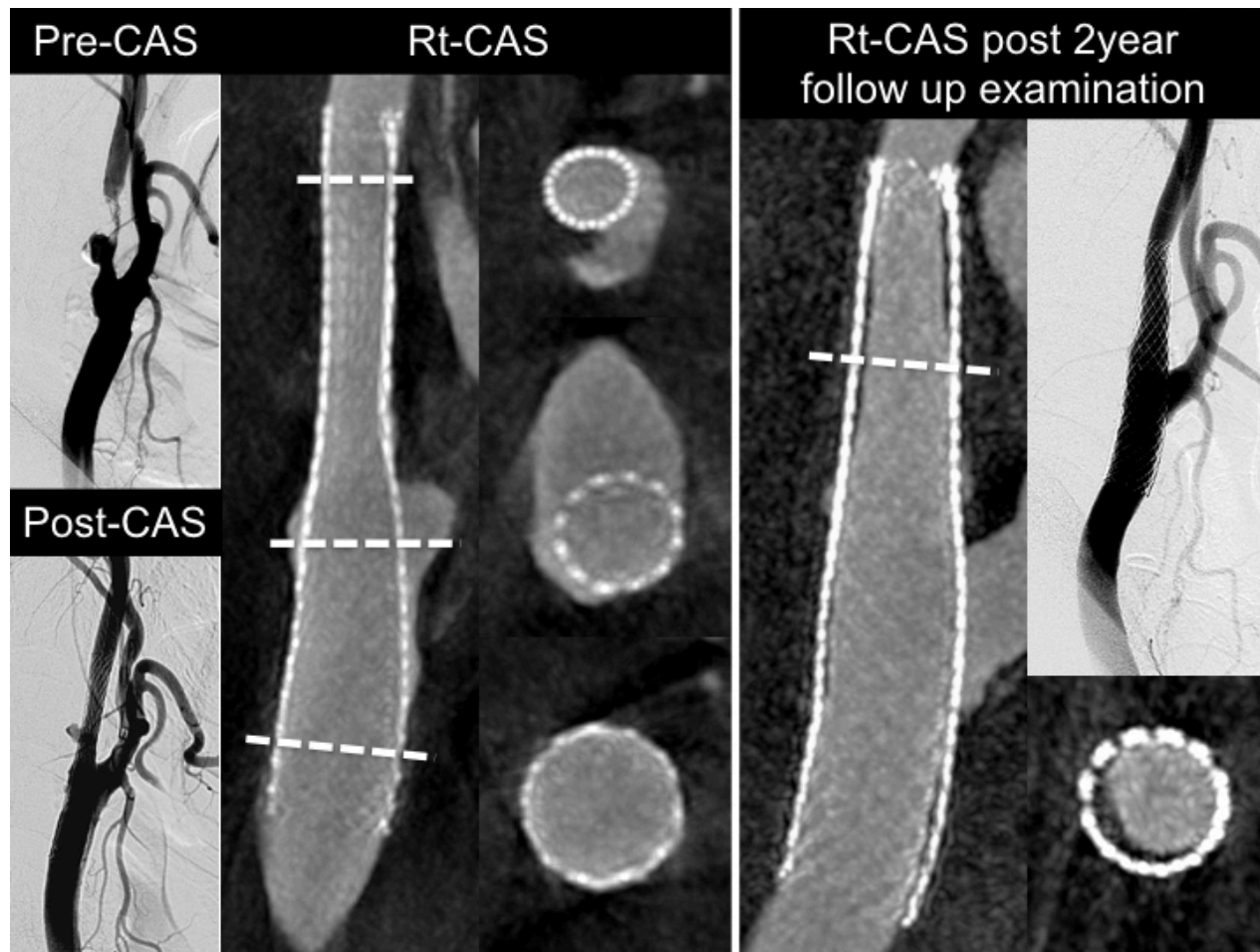


Fig.4

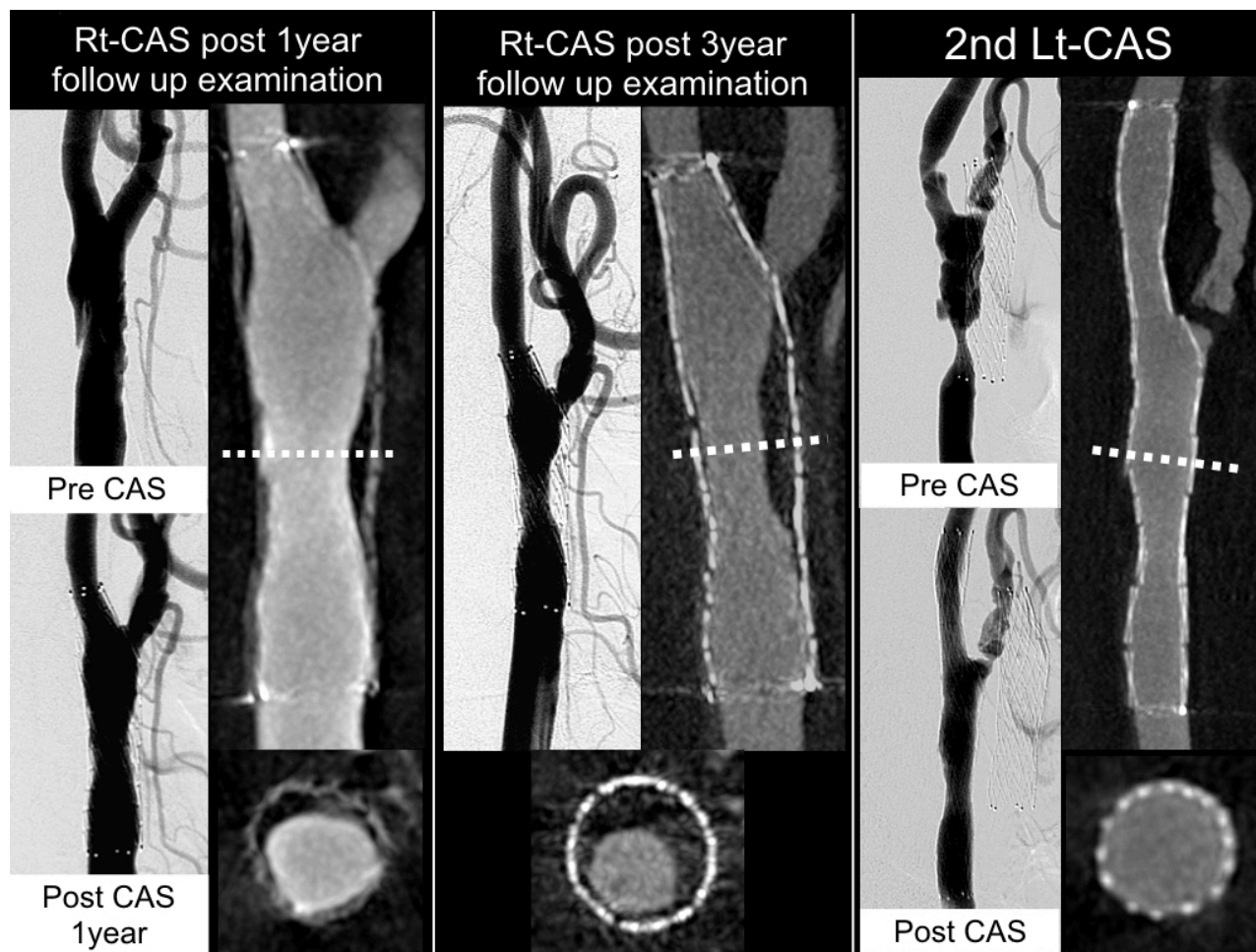


Fig.5

