

報告番号 ※甲 第 号

主論文の要旨

論文題目

ステント支援脳動脈瘤コイル塞栓術におけるステント描出のためのコーンビームCTの
定量的解析

氏 名 栗山巧

論文内容の要旨

1. 緒言

血管内治療の成績は、技術の進歩と装置の開発により予後が向上してきた。脳動脈瘤コイル塞栓術は、バルーンまたはステントによる支援を用いてプラチナコイルを脳動脈瘤内に充填する様々な方法(バルーン/ステント支援コイル塞栓術)で脳動脈瘤を血栓化させることが目的である。ステント支援コイル塞栓術は、頸部径の長い脳動脈瘤にプラチナコイルを完全に詰める方法である。cone-beam computed tomography (CBCT) は、ステント留置の場所を決める時、ステント径を決める時やステントの再留置をする時に使われる。さらに、ステント支援コイル塞栓術を経時的に支援する時に、高画質の3次元画像が必要である。

3次元最大値投影法(three dimensional maximum intensity projection [3D MIP])により作成したステントは、 2×2 のビニングを使用したflat-panel detector (FPD)の画像再構成により視認することが一般的である。近年、進化したFPDでは、CBCT画像のcontrast to noise ration (CNR)が向上した 1×1 のビニングを使用できるようになり、高分解能を持つ3次元血管画像を得ることが可能となった。血管撮影機器の性能が向上したため、CBCT撮影は3D-DSA画像と同等の画質であり、CBCTの撮影時間を短くした場合、被ばく線量は減少する。

本研究の目的は、CBCTの撮影時間とビニングを変化させた時の留置ステントの描出能を定量的に評価することで、ステント支援コイル塞栓術におけるステントの描出において、10秒の 1×1 ビニングが従来の20秒の 2×2 ビニングに置き換わるか否かを検討することである。

2. 機器と方法

2-1 撮影時間とビニングの基礎検討

自作ファントムは、ステントと生理食塩水を10mlシリンジに封入したものを作成した。封入したステントは、自己拡張型のクローズ型(筒型で網目と網目同士がつながっている一体型の形状)を用いた。生理食塩水を用いて造影剤(イオパミロン 300; 株式会社バイエル, 大阪, 日本)を10%, 15%, 20%, 25%濃度に希釈してファントムに封入した。ファントムは、生理食塩水を満たした容器内に入れ、空気中の寝台上に設置した。FOVが 30×40 cmのFPDを搭載したAngio装置(Artis Q BA Twin; 株式会社シーメンス, フォーチェイン, ドイツ)を用いて、CBCTを撮影した。CBCTの撮影時間とビニングの組み合わせは、10秒の 1×1 , 10秒の 2×2 , 20秒の 1×1 と20秒の 2×2 とした。3D MIP画像を画像再構成するためにCBCT画像のデータをワークステーションへ転送した。画像再構成したすべてのCBCT画像は、DICOM形式としてノートパソコンに転送した。

画像解析に使用したソフトは、フリーソフトウェアの解析ツール(ImageJ v1.43; National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA)を用いた。ステントストラットと背景のノイズ部分に $0.5 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$ の大きさの円形の関心領域(region of interest [ROI])を置き、コントラストノイズ比(contrast-to-noise ratio [CNR])を求めた。CNRは、5回繰り返し測定し、平均と標準偏差を求めた。それぞれの計測は、10年以上の経験を持つ放射線技師が計測した。留置したステントのCNRで使用したコントラスト値の単位は、 HU_{CBCT} とした。

半値幅(full width at half maximum [FWHM])を求めるためにステントストラット部分に手で直線を引き、プロットプロファイルを作成した。基本となるステントのコントラスト値は、生理食塩水中で計測した値である。留置したステントのFWHMで使用したコントラスト値の単位は、 HU_{CBCT} とした。

2-2 撮影時間とビニングの臨床検討 (10 秒の 1×1 ビニング と 20 秒の 2×2 ビニング)

この後ろ向き研究は、先端医療センターの映像医療審査委員会(承認番号 15-04-02)および名古屋大学大学院医学系研究科の臨床研究審査委員会(承認番号 16-302)の承認を得た。ステントを用いてコイル塞栓術を施行した脳動脈瘤疾患を持つ 28 症例(男性 10 名, 女性 18 名, 平均年齢 64 ± 12 歳 [36-78 歳])を対象とした。それぞれの患者に対し、ステント支援コイル塞栓術により 1 つの脳動脈瘤を治療した。脳動脈瘤の発生部位は、前方循環が 20 症例(71%)で、後方循環が 8 症例(29%)であった。グループ A は、2015 年 5 から 8 月の期間で撮影時間 20 秒の 2×2 ビニングで撮影した 14 人、グループ B は、2015 年 5 から 8 月の期間で撮影時間 10 秒の 1×1 ビニングを用いて CBCT を撮影した 14 人を対象とした。すべての患者でステントが安全に留置され、手技は終了した。

すべての画像再構成を施行した CBCT 画像は、DICOM 形式としてノートパソコンに転送した。グループ A とグループ B は、基礎検討と同様にステントの CNR およびステントストラットの FWHM を解析した。留置したステントの CNR および FWHM の測定は、基礎検討で記述したと同様の方法で ROI を用いて、コントラスト値の単位を HU_{CBCT} とした。両グループの面積線量計 (dose-area product [DAP])により自動的に得られる被ばく線量を調べた。

2-3 データ解析

解析ソフトは、エクセル Ver.14.6.4 を用いた。基礎検討では、対応のある t 検定を用いて、4 つの異なった撮影時間とビニングについて統計的評価を行った。統計的有意差は、ボンフェローニ補正を用いて 0.01 とした。臨床検討では、ノンパラメトリック U 検定を用いて、統計的評価を行った。統計的有意差は、0.05 とした。

3. 結果

3-1 撮影時間とビニングの基礎検討

10%濃度造影剤溶液内のステントは描出されるが、模擬血管を描出するには造影効果が足りない事を確認した。造影剤濃度を 15%にした 10 秒の 1×1 ビニングによる CBCT では、模擬血管とステントが描出された。25%濃度造影剤溶液では、模擬血管は描出されるが、ステントが描出されにくくなった。同じビニングの 10 秒と 20 秒の撮影時間では、ステントの CNR 値に有意差はなかった。

ステントストラットの FWHM は、同じビニングであれば 10 秒の撮影時間と 20 秒の撮影時間に有意差はなかった(10 秒の 1×1 ビニングと 20 秒の 1×1 ビニングで $p=0.5796$ 、10 秒の 2×2 ビニングと 20 秒の 2×2 ビニングで $p=0.2725$)。同じ撮影時間の FWHM には、ビニングの違いによる有意な差は見られなかったが、マーシナルな関係であると考え(10 秒の 1×1 ビニングと 10 秒の 2×2 ビニングで $p<0.01$ 、20 秒の 1×1 ビニングと 20 秒の 2×2 ビニングで $p=0.0242$)。異なる撮影時間と異なるビニングを比較した結果は、10 秒の 1×1 ビニングと 20 秒の 2×2 ビニングで $p=0.0371$ 、10 秒の 2×2 ビニングと 20 秒の 1×1 ビニングで $p<0.01$ であり、有意な差は見られなかったが、マーシナルな関係であると考え。

3-2 撮影時間とビニングの臨床検討 (20 秒の 2×2 ビニングと 10 秒の 1×1 ビニング)

撮影時間 20 秒の 2×2 ビニングのグループ A (中央値が 1.65, 95%信頼区間 [1.50-1.68])と撮影時間 10 秒の 1×1 ビニングのグループ B (中央値が 1.92, 95%信頼区間[1.73-2.08])の間で, CNR は有意差があった($p < 0.05$). グループ A (中央値が 0.73, 95%信頼区間 [0.63-0.83]) とグループ B (中央値が 0.65, 95%信頼区間[0.62-0.80])の間で, FWHM は有意差がなかった($p = 0.1985$). グループ A (中央値が $3574 \mu\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$, 95%信頼区間 [3123-4061 $\mu\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$]) とグループ B (中央値が $1035 \mu\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$, 95%信頼区間[999-1109 $\mu\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$])の間で, 被ばく線量は有意差があった($p < 0.05$).

4. 考察

4-1 撮影時間とビニングの基礎検討

1×1 ビニング の CNR は, 2×2 ビニングから得られる CNR とほぼ同等であった. 造影剤濃度を 15%にした 10 秒の 1×1 ビニングによる CBCT は, 留置したステントの位置と血管との関係を把握するのに十分満足できると考えられた.

ビニングの観点から言えば, CBCT の投影画像は, 視野の幾何学的な歪曲が許容できる範囲でオフセットや FPD の感度補正をフェルドガンブのアルゴリズムを用いて転換している. そのため, すべての角度において構成される値は, ヘップ&ローガンフィルターを用いて整値化された. 2×2 ビニングは, 4 つの画素を 1 つの画素として見立てる. 非線形補間を用いて 14bits 収集によるデフォルト値は, 16bits 表示に拡大され, 値のない画素値は補間される. しかし, 1×1 ビニングは, 16bits 収集による 16bits 表示であり, 補間されないボクセルを表示することができる. 1×1 ビニングを用いた CBCT 画像は, ステント描出に対して高い解像度と濃度の表示範囲が可能であることが示唆された.

15%の造影剤濃度で 10 秒の 1×1 ビニングを用いた CBCT 画像は, 留置したステントと血管を観察するために十分満足できる画像を提供できる. 高濃度の造影剤を使用すれば, 血管の描出は容易であり, 留置したステントの位置と血管との関係を評価しやすい.

4-2 撮影時間とビニングの臨床検討(10 秒の 1×1 ビニング と 20 秒の 2×2 ビニング)

画像再構成された CBCT 画像は、撮影時間 10 秒では、画像の境界にギザギザがあり、撮影時間 20 秒では、画像の境界はなめらかに表示された。10 秒の 1×1 ビニングによる CBCT 画像は、プロジェクション数が少ないことによる画質的な欠如があるにも関わらず、これらの特徴は、脳動脈瘤コイル塞栓術において、10 秒の 1×1 ビニングが患者にとって有益であることを示唆した。

米国医学物理学会は、人の頭の大きさ程度のファントムに対してコーン角を持つ CT 撮影による被ばく線量は、ファン角を持つ CT 撮影による吸収線量と同等であると報告している。同じ撮影範囲の場合、CBCT の DAP 値は、寝台に動きがない多列 CT における computed tomography dose index (CTDI) と同様であることが報告されている。グループ B の DAP 値は、グループ A の撮影データの約半分であったが、グループ A と比較して約 70% の減少であった。このことから患者に対する放射線被ばくの減少が示唆された。グループ B において、放射線の照射線量が減少するだけでなく、データ転送や画像再構成時間も早くなった。これらの結果は、撮影時間が 10 秒の 1×1 がステント支援脳動脈瘤コイル塞栓術を施行する患者さんにとって有益であることを示している。したがって、我々はステントを使用して脳動脈治療を施行する際には低線量となるような CBCT を使用することを推薦する。DAP が実用的な患者の被ばく減少を必ずしも示すわけではないので、更なる研究で我々の調査結果を確かめる必要がある。

この研究の限界は、まず、留置したステントを描出するための CBCT 画像の定性的評価ができなかったことである。加えて、臨床検討の人数が少ないため、留置する形状が違ふステントを選ぶことが難しかった。血管内治療に使われるステントの重要性が高まる中で、低線量で描出するステント画像の必要性は増えていくだろう。

5. 結語

我々の基礎検討で 20 秒の 2×2 ビニングと比較して、10 秒の 1×1 ビニングは、ステントの CNR と FWHM が有意に高いことを示した。しかし、臨床検討においては、同程度のステントストラットの FWHM となった。臨床検討の結果は、10 秒の 1×1 ビニングと 20 秒の 2×2 ビニングの間に FWHM に有意な違いはなかった。しかしながら、10 秒の 1×1 ビニングで撮影した患者群は、20 秒の 2×2 ビニングで

撮影した患者群と比較して、約 70% 減となる放射線被ばくが認められた。我々の現在の研究に基づいて、診断画像に使われる 10 秒の 1×1 ビニングの有益性は、ステント支援コイル塞栓術におけるステントの描出において従来の 20 秒の 2×2 ビニングに置き換わるものである。