

主論文

Utility of second-generation single-energy metal artifact reduction in helical Lung computed-tomography for patients with pulmonary arteriovenous malformation after coil embolization

(肺動静脈奇形コイル塞栓術後の患者に対する肺ヘリカル CT における第 2 世代 SEMAR の有効性)

【緒言】

肺動静脈瘻 (PAVM) は肺動静脈の毛細血管床を介さない異常な交通であり、心筋梗塞や脳梗塞、脳膿瘍、喀血などの重篤な合併症のリスクがある。カテーテルを用いたコイル塞栓術が標準的な治療法であるが、塞栓後の合併症や AVM の再開通、再燃などの評価に治療後の画像評価が極めて重要である。CT が PAVM の一般的な画像検査法となるが、塞栓コイルは CT における金属アーチファクトを引き起こしうる。金属アーチファクトは画質の低減を引き起こし、塞栓後の合併症や AVM 再発を不明瞭にする可能性がある。これまでに多数の金属アーチファクト低減法が用いられてきているが、近年新たな金属アーチファクト除去ソフトである、single-energy metal artifact reduction (SEMAR) が実臨床に導入された。歯科補綴物や下肢人工関節、外科クリップ、心デバイスなどにおいて、SEMAR の金属アーチファクト除去の有効性が報告されている。腹部領域においては、複数の論文にて SEMAR の金属コイルのアーチファクト除去における有効性が報告されているが、胸部領域において報告はない。第一世代の SEMAR は元々 volume scanning のみに対応しており、最大 16cm までしか撮像することが出来なかったが、PAVM はしばしば多発するため、検査として不十分であった。最近の第二世代の SEMAR は helical scanning に対応しており、肺全体をカバーすることが可能となった。SEMAR は PAVM コイル塞栓後の胸部ヘリカル CT においても金属アーチファクトを低減するものと仮定を立て、SEMAR の金属アーチファクト除去の効果を検討した。

【材料と方法】

当施設の 2015 年 5 月から 2017 年 4 月までの画像データを用いて、PAVM のコイル塞栓術後に造影 CT が撮像された方を対象とした。

患者背景

20 患者 (男性 2 名, 女性 18 名 ; 平均年齢 61.2 ± 11.0 歳), 27 病変 (PAVM の瘤径平均 7.8

± 4.0 mm ; プラチナ塞栓コイル平均 9.8 ± 5.0 個) を対象とした。

撮影条件

320 列 CT (Aquilion ONE ViSION, 東芝メディカル) を使用し, CT の撮像条件としては当院の一般臨床でのプロトコルを用いた。非イオン性ヨード造影剤を用いて, 体重に合わせて 3ml/sec で注入し, 注入から 14 秒後に撮影した。厚さ 1mm, 間隔 0.8mm, 造影 CT は軟部条件, 単純 CT は肺野条件関数にて再構成し, SEMAR 使用・未使用にて水平断の画像を再構成した。

画質評価

客観的評価として, 円形の region of interest (ROI) をコイルの周りに配置し, コイル周囲の標準偏差 (SD 値) の平均を noise index と定義した。ROI は平均 100 平方 mm とし, 金属より 1cm 離れた部位に ROI を設定した。SEMAR 前後で同様に ROI を配置し, その平均 SD 値を計測した。

PAVM の排出静脈の評価目的に, 胸部条件 CT を斜位画像に再構成した。コイルと排出静脈間が最短となるように再構成し, SEMAR 前後で金属アーチファクトの影響のない最短距離を測定した。

主観的評価として, 15 年及び 17 年の臨床経験を持つ放射線科専門医 2 名が画質評価を行った。金属アーチファクトの visual score を 4 段階 (4 : minimal, 3 : mild, 2 : strong, 1 : extensive) で評価した。画像はそれぞれ順序不同で盲検的に評価した。

統計解析

データは非線形分布であったため, 中央値 (四分位点間距離) で記載した。Wilcoxon signed-rank test にて評価し, 主観的評価は評価者間の一致率を kappa 係数にて評価した。統計解析には SPSS ver.22 (IBM) を用い, $p < 0.05$ を統計学的有意とした。

【結果】

客観的評価

noise index は造影 CT の軟部条件において, SEMAR 前後で 243.9 (220.4–286.0) HU から 194.4 (161.6–211.9) HU へと有意差をもって改善した ($p < 0.001$)。単純 CT の肺野条件においても, SEMAR 前後で 394.7 (351.1–444.9) HU から 307.6 (273.2–334.6) HU へと有意に改善した ($p < 0.001$)。

PAVM のコイルと排出静脈間の最短距離の描出は, SEMAR 前後で 3.6 (0.88–8.8) mm から 1.8 (0–5.6) mm へと有意に改善した ($p = 0.0014$)。

主観的評価

visual score は造影 CT 軟部の条件において、SEMAR 前後で 2 評価者とも 1 (1-1) から 3 (3-3) へと有意に改善した ($p < 0.001$)。単純 CT の肺野条件でも、それぞれ 2 (1-2) から 3 (3-3) へと有意に改善した ($p < 0.001$)。

2 評価者間の一致率は、 $\kappa = 0.89$ と非常に良好であった。

【考察】

我々はコイル塞栓後の肺部ヘリカル CT において、肺野条件と縦隔条件のいずれでも、SEMAR を用いることで金属アーチファクトを有意に除去することを報告した。画質の客観的評価において、軟部条件の noise index は肺野条件より優れていた。過去のファントム研究にて、輪郭を強調するような高分解能条件（肺野条件など）は、軟部条件より高い SD 値を呈することが報告されており、本研究においても同傾向を呈したものと考えられた。

過去の文献ではコイル塞栓後の SEMAR の金属アーチファクト除去における有効性は、腹部領域でのみ報告されている。今回我々の研究では、胸部領域のヘリカル CT にてもその有用性を報告した。また過去の論文では SEMAR により金属に隣接した舌癌、成熟嚢胞性奇形腫や膀胱結石、腎動脈瘤の血栓化部分の描出が改善したと報告されている。我々の研究でも隣接した構造の描出が改善しており、提示した症例ではコイルに隣接した肺出血と思われるすりガラス影の描出が改善していた。SEMAR は肺や縦隔のその他の病変の検出率を改善させる可能性があるものと考えられた。

同一平面に 2 個のコイルが存在した症例では、visual score が比較的低い傾向が見られた。過去の報告では、両側の人工股関節や複数の塞栓コイル、歯科補綴物が同一平面上に見られた場合に SEMAR での金属アーチファクト除去が不良であり、SEMAR のプロセスにおける非線形の補間が原因となっているものと考察されている。遺伝性出血性末梢血管拡張症では PAVM が多発する事が多く、PAVM のコイル塞栓後では SEMAR での金属アーチファクト除去を低減させる可能性がある。また complex type の PAVM では、複数の供血動脈が存在により塞栓コイルの形状が不整形となり得るため、金属アーチファクトが増強する可能性がある。

金属アーチファクト除去を低減するその他の要因として、過去の報告では動脈の塞栓コイルでは外科クリップと比較し金属アーチファクトがより改善しており、これは塞栓コイル（プラチナ）と外科クリップ（チタン）の金属の原子番号の違いから生じたものと考察されている。SEMAR での金属アーチファクト除去における効果的あるいは非効果的な要因を評価するためには、多視点的なさらなる研究が必要と考えられた。

PAVM コイル塞栓後のフォローとしては、動脈血圧測定や核医学的な肺シャント率測定、造影心エコー、胸部レントゲン、単純および造影 CT、MRI など多岐にわたるが、未だに定ま

った検査法はない。肺動脈造影が塞栓後の再開通を評価する最も信頼性の高い検査法であるが、深部静脈穿刺という侵襲を伴うためフォローアップに用いることが難しく、CTが一般的な画像評価法となっている。コイル塞栓後のCTにおいては、動脈瘤や排出静脈径の縮小率（30あるいは70%より大きい）や排出静脈径（3あるいは2.5mmより小さい）が一般的な評価基準として用いられているが、我々の研究では排出静脈の描出が改善している。さらに、我々の研究では複数の症例で、血管の”pseudo-enhancement”（SEMAR前では血管が造影されて見えるが、SEMAR後では造影効果が見られなくなる）を認めた。SEMARは塞栓術後の再開通をより正確に評価し得る可能性があり、また血管の造影効果を正しく評価することで塞栓の達成度に関する新たな情報を得ることが出来る可能性があるものと考えられた。

【結論】

SEMARはPAVMコイル塞栓後の胸部CTの画質を改善する。