

脳神経領域の手術支援 ～撮影から画像処理まで～

柏葉脳神経外科病院 先端医療研究センター | 平野 透

脳神経領域の三次元画像は2000年代に登場した64列以上のマルチスライスCT(MDCT)により、三次元画像の有用性は病変の可視化から手術支援画像に移行してきたと考えている。脳動脈瘤を含む脳神経領域の病変では穿通枝などを含む人体の中でも最も微細な血管を描出する必要があり、撮影条件や造影剤注入方法などを考慮することが重要となる。特に微細血管の描出には脳動脈の抹消まで高いCT値を維持するための適切な条件設定が重要であり、画像ノイズを抑えた撮影線量の設定、そして脳動脈の抹消まで高いCT値を維持するための撮影タイミングや撮影時間で検査を行わなければならないと考えている。

脳神経領域の手術支援画像では脳血管や頭蓋骨以外に脳神経や造影効果が不良な腫瘍などCTでは描出が難しい構造物も三次元画像化することが望まれるため、MRIなどの様々なシーケンスのボリュームデータとのFusion Imageが有用である。また手術支援画像としては様々な構造物の位置関係が判る画像以外に開頭野からの画像も重要と考えている。

はじめに

脳神経領域の三次元画像は1990年代前半のシングルスライスCT(SSCT)の頃

から作成されていた。頭部は体幹部に比べて息止めや臓器の移動等の影響が少なく、撮影時間が長いSSCTでの応用が可能であったためである。その後2000年代に登場した64列以上のマルチスライスCT(MDCT)により、患者への造影剤投与の適正化や1mm以下の装置が持つ最小の収集スライス厚の選択が全ての症例で使用可能になり、穿通枝や皮質枝などの微細血管の描出ができてきた。64列以上のMDCTの使用により今までより更に詳細な構造の表示やマルチモダリティを用いたFusion Imageによる三次元画像によって様々な画像を作成することで、三次元画像は病変の可視化から手術支援画像に移行してきていると考えている。手術支援画像の作成には三次元画像作成のスキルは勿論であるが手術に関する知識や実際に手術を見学するなど、三次元画像作成者はCT検査の知識以外に自己研鑽の部分も必要になってくると感じている。本稿では自身が経験した脳外科手術に役立つ画像作成のためのCTの撮影から画像処理まで報告させて頂く。

1. 3D-CT Angiography (3D-CTA)の撮影と造影剤投与に関して

脳神経領域の3D-CTAで多くの施設で検査対象となる疾患は脳動脈瘤の検査と思われる。脳動脈瘤が存在する部位の多くは穿通枝と言われる1mm以下の微細

な血管が瘤近傍に存在している。この穿通枝を傷つけると様々な機能障害などを起こすため、脳動脈瘤の術前情報として3D-CTAにおいて穿通枝の描出は重要な情報となっている。また脳全体を骨構造で覆われ更に1mm以下の微細な血管を描出しなければならない頭部領域において造影剤の適切な注入方法や撮影線量の検討が特に必要な検討項目と考えている。穿通枝などの1mm以下の微細血管の描出においては0.5mmや0.625mmなどの最小収集スライス厚を使用した場合でもパーシャルボリューム効果の影響を考慮すると脳血管内のCT値を高くする必要があり。微細血管ファントムの結果からはファントムのベースとのCT値差が450 Hounsfield Unit(HU)以上で1mm以下の模擬血管が描出されており、臨床においても同程度のCT値を確保することで良好に穿通枝を描出できている。また濱口ら¹⁾は穿通枝の描出においてはファントムのベースとの差が450HUにおいて最小スライス厚での画像の標準偏差(SD)が6～8程度で描出が可能と報告しており、撮影線量に関しては他の部位に比べて高い線量設定になっている(図1)。しかし0.25mm等の収集スライス厚、更に画像マトリックスが1024*1024を使用可能な高精細CTにおいては微細血管に対するパーシャルボリューム効果による影響が0.5mmや0.625mmなどの収集ス

ライス厚を使用するCT装置とは異なるため、高精細CTを使用する場合には線量設定などを再度検討する必要があると考える。

造影効果が高いほど、画像ノイズが少ないほど模擬微細血管の描出は向上している。

造影剤注入に関しては上記に示したよ

うに脳実質と脳血管とのCT値差が大きくなると微細血管の描出が向上しており、各施設のCT装置に適正化した造影剤注入レートや造影剤投与量を決定する必要がある。更に微細血管の描出には造影剤投与後の撮影タイミングも重要な検討事項と考えている。脳血管3D-CTAの画像処理においては脳動静脈の複雑な血管構

築を正確に描出することに時間を要し、脳神経外科領域の画像処理の中で最も苦勞し難い工程になっている。また脳の動脈から静脈までの灌流は人体の中でも早く、脳動静脈分離は難易度が更に高くなっている。近年、動脈から静脈までの灌流が早い脳血管の3D-CTAにおいて多列化CTやDual Source CT又は面検出器CT (ADCT)を使用し静脈への灌流が始まる前で脳動脈ピークCT値に到達する前の動脈優位相での撮影と脳動脈のCT値が急峻に下がり静脈のCT値が高くなる時相の静脈優位相での2相撮影によって脳動静脈分離を行うことが可能になってきた。しかしこの動脈優位相では脳動脈ピークCT値の前の撮影のためにピークCT値を確保することが出来ず微細血管の描出には向かない場合もあり、穿通枝や皮質枝などの描出が難しい場合があると考えている。また2相撮影では造影剤注入後の撮影回数が増えることによる患者への被ばくも考慮する必要がある(図2)。

そこで頭蓋内の動脈のCT値がピークになるタイミングでの1相撮影による脳血管3D-CTAをお勧めしたいと考えている。3D-CTAの撮影では全脳の範囲で脳動脈がピークCT値に近いタイミングで撮影を完了するように設定することで静脈系においても高いCT値を得ることも可能であり、更に1相撮影であるため位置ずれが全くない動脈・静脈系の三次元画像を取得が可能になると考えている。

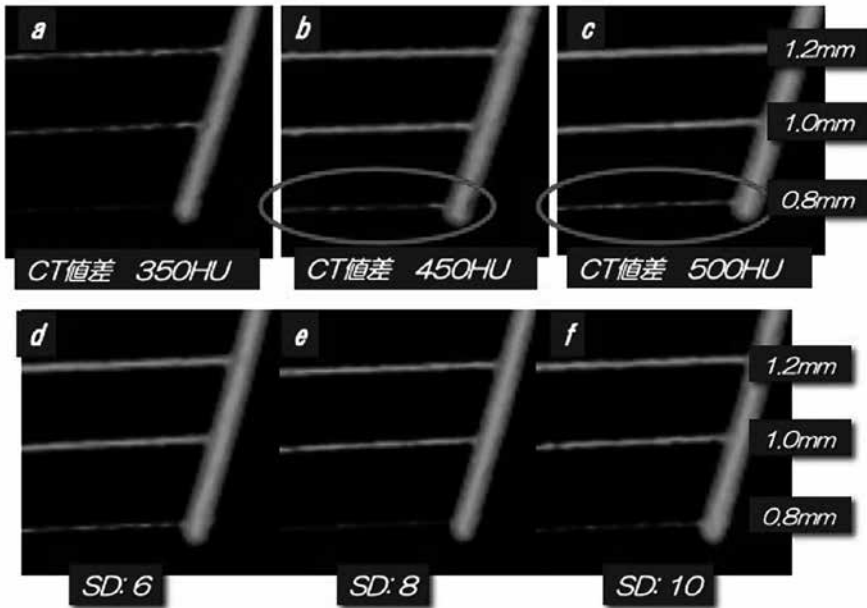


図1 模擬微細血管ファントムを用いた異なる条件による模擬血管の描出の違い
a~c: ファントムのベース部の画像SDが8での造影剤効果の違いによる模擬微細血管の描出
d~f: 模擬血管の根幹部のベースとのCT値差が450HUで画像SDを変化させて場合の模擬微細血管の描出。

⇒巻頭カラー参照

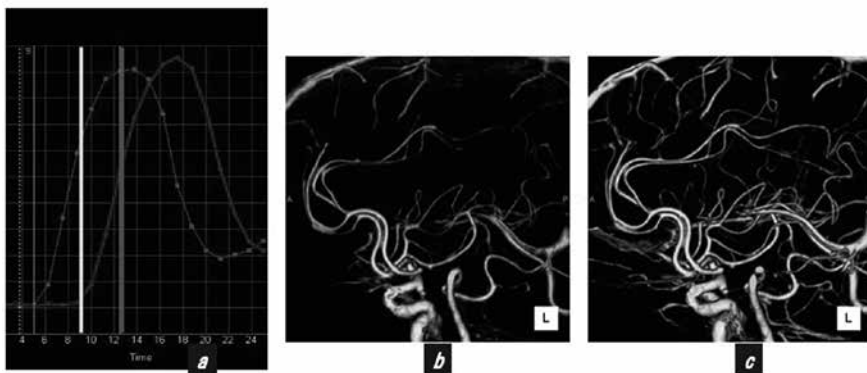


図2 造影剤注入後の撮影タイミングの違いによる微細血管の描出
a: 4D-CTのデータから得られた頭蓋内動脈のTime Enhancement Curve(TEC)、黄色線:静脈が灌流れが到達する前のタイミング、赤線:脳動脈のCT値がピークになるタイミング
b: 静脈からの灌流が到達する前のタイミングの画像で作成した三次元画像。
c: 脳動脈のCT値がピークになるタイミングの画像で作成した三次元画像。
脳動脈のCT値がピークになるタイミングの画像で作成した三次元画像では脳動脈の末梢まで描出が可能になっている。

⇒巻頭カラー参照

脳動静脈描出のために 造影剤注入後の1相撮影 (動脈のピーク)での 利点・欠点

利点

- ・1相で完了するので被ばく低減になる
- ・動脈と静脈との位置ずれが無い
- ・皮質・穿通枝の描出が高い確率で良好

欠点

- ・画像処理が複雑で時間を要する
- ・血流(灌流)の把握が難しい