

審査の結果の要旨

氏名：柴田 英介

本研究は血管内治療のシミュレーションで使用可能な腹部内臓動脈瘤の中腔モデルを3次元構築の技術を応用して、①血管中腔モデルの作製方法を確立、②脾動脈の中腔モデルにおいてモデル形状の作製毎のばらつき、精度を評価、③径の小さい狭窄モデルにおける精度を確認するため、門脈狭窄の中腔モデルにおいてモデル形状の作製毎のばらつき、精度を評価、更に④複数の腹部動脈瘤に対して中腔モデルを作製し、CTデータと作製したモデルを比較して正確度の検証をしており、最後にこれらの結果に基づき、⑤実際に血管内治療の術前シミュレーションにモデルを応用したものである。血管中腔モデルの作製方法を確立をした上で、結果としては以下の②～⑤を得ている。

②中腔モデルのモデル形状の作製毎のばらつき、精度を評価する目的で、CT血管造影で得られたデータを元に、3Dプリンターで同一の中腔の脾動脈瘤モデルを複数作製した。脾動脈瘤モデルの各モデル間の断面積の誤差はSD値で 5mm^2 以下（範囲：0.0-5.0）であり、モデル形状の作製毎のばらつきは少なく、精度が高いことが示唆された。

③中腔モデルの細い部位でのモデル形状のモデル作製毎のばらつき、精度を評価するために、同一の中腔の門脈狭窄モデルを複数作製した。モデルを門脈の長軸と直行する断面で評価した際の各モデル間の断面積の相違はSD値で 4mm^2 以下（範囲：0.8-3.9）であり、血管の細い部位でもモデル形状の作製毎のばらつきは少ないことが示唆された。

④モデルがオリジナルのデータと比較してどの程度正確であるか、正確度を評価するために、2006年3月から2015年8月において真性腹部内臓動脈瘤に対して塞栓をした症例を抽出し、合計15個の動脈瘤について各々中腔モデルを作製した。オリジナルのデータとこれらのモデルの動脈瘤体積を測定し、更に動脈瘤に加えて流入・流出動脈を含めた全体の形態を評価することで正確度を確認した。オリジナルの画像とモデルで動脈瘤のサイズに有意差は認めなかった(Wilcoxon signed rank test, p-value = 0.56)。更に動脈瘤に加えて流入動脈・流出動脈の形態評価ではDice coefficient indexで 0.911 ± 0.041 （範囲：0.842-

0.958) と、中腔モデルの正確度が高いことが示唆された。

⑤モデルの臨床応用については、中腔ではない通常の血管モデルと、前述のように精度や正確度を評価した中腔モデルと同様の手法で作製した血管の中腔モデルを使用して、術前シミュレーションにおける有用性について検討している。血管モデルでは血管の位置関係を立体視することで解剖の理解を高め、血管内治療におけるカテーテルやガイドワイヤーの適した形を考察することができている。更に中腔モデルは血管内治療術前のシミュレーションに使用し、術前に計画した治療方法で塞栓物質のサイズや量、治療道具での血管選択の可否など多くのフィードバックを得ることができ、治療方針における検討に重要な役割を果たした。更に将来的に患者の放射線被曝線量の低減、治療時間の短縮、合併症率の低下につなげていくことができると考えられた。

以上、本論文により 3次元構築の技術を応用し、FDM方式の3Dプリンターを用いてCTデータに基づいた中腔モデル作製が技術的に可能であり、モデルの精度と正確度が高いことを初めて示唆することができた。モデルを用いた血管内治療のシミュレーションなど臨床応用をする上での礎となる研究であり、臨床での有用性を確認した。今後の血管内治療のシミュレーションモデルに関する臨床応用で、重要な貢献をなすと考えられ、学位の授与に値するものと考えられる。