

博士學位論文

論文内容の要旨

および

論文審査の結果の要旨

東邦大学

小此木信一より学位申請のため提出した論文の要旨

学位番号甲第 584 号

学位申請者 : お 小 此 木 信 一

学位審査論文 : Operative simulation of anterior clinoidectomy using a rapid prototyping model molded by a three-dimensional printer

(3D プリンターによるラピッドプロトタイピングモデルを用いた前床突起削除の手術シミュレーション)

著 者 : Shinichi Okonogi, Kosuke Kondo, Naoyuki Harada, Hiroyuki Masuda, Masaaki Nemoto, Nobuo Sugo

公 表 誌 : Acta Neurochirurgica DOI:10.1007/s00701-017-3202-4

論文内容の要旨 :

目的 : 前床突起 (Anterior clinoid process: ACP) 周囲は解剖学的な立体的位置関係が複雑である。そのため、前床突起削除 (Anterior clinoidectomy: AC) を理解するには多くの手術経験を要することが多い。われわれは、computed tomography angiography (CTA) と magnetic resonance imaging (MRI) から三次元合成画像を作成し、その画像データを基に Three-dimensional (3D) printer を用いて rapid prototyping (RP) model を作製した。本研究の目的は、その三次元合成画像に対する RP model の解剖学的再現性、さらに AC 後の骨内部の再現性について評価することである。また、RP model の手術シミュレーションへの有用性について検討した。

方法 : 術前検査として、CTA と MRI を施行した 51 例を対象とした。三次元合成画像と RP model において、上眼窩裂最先端から骨の長さ、視神経や動脈の太さ、AC 後の骨内部の長さ等をそれぞれ測定し、RP model における再現性を評価した。また、ACP 近傍に病変がある群と ACP 近傍病変以外の群の 2 つに分けた。両群において、RP model の誤差と再現性について評価した。そして、完成した RP model で脳神経外科医 10 人に AC を行わせ、4 段階評価のアンケートを実施し、手術シミュレーションへの有用性を検討した。

結果 : RP model の解剖学的構造の再現率は、骨内部も含めて 91 から 98% と三次元合成画像の ACP 近傍を高い精度で再現してい

た。上眼窩裂最先端から骨の長さを測定した4項目のうち、1項目のみ統計学的有意差をもって誤差が生じていた。動脈、視神経、骨の太さにおいては、8項目中6項目に誤差を認めた。骨削除後の長さでは、4項目中1項目のみに有意差があった。ACP近傍病変の群とACP近傍病変以外の群の比較では、すべての項目において誤差を認めなかった。また、両群の再現性においても統計学的差異はなかった($p=0.17$)。脳神経外科医によるRP modelを用いた手術シミュレーションの評価では、各解剖学的同定、AC後の骨内部の同定の級内相関係数は0.93以上と高かった。

考察：3D printerで造形したRP modelの精度が担保されていることは、手術シミュレーションや手術トレーニングを行う際の根幹をなす。画像データからRP modelを作製するまで、その精度に誤差を生じる操作は、3つ挙げられる。第1に、異なる医用画像の位置合わせとして、本研究ではCTとMRIの画像データの位置設定を、normalized mutual informationによって自動で行った。この画像位置合わせの精度の高さから、サイバーナイフ治療のプランニングにも取り入れられている。したがって、本研究において、画像位置合わせがRP modelの精度に影響する可能性は低い。第2に、data formatの変換である。3D printerで用いられるのはSTL data formatであり、医療画像データのDICOM data formatから変換する必要がある。STL data formatは三次元形状を小さな三角形の集合体として表現するシステムであり、曲線や曲面を正確に表現することが困難である。そのため、DICOM data formatで描出されている画像をSTL data formatに変換すると、微細な形状が崩れたり、失われやすい。また、STL data formatへの変換時には、DICOM data formatのwindow width and window levelやimage threshold等が初期化されるために、再設定を余儀なくされる。本研究では、data formatによる誤差を最小限にするために、変換直前のDICOM data format上で、計測したmeasureと数値とを画像上に残したままSTL data formatに変換した。その結果、三次元合成画像とRP modelにおいて、解剖学的長さおよびAC後の骨内部の長さでは測定誤差が少なかった。第3に、RP modelの造形過程における誤差の発生がある。RP modelは、三次元画像と異なり、物理的特性を考慮しなければならない。出来上がったRP modelでは細かい血管や突起した部位は極めて脆弱であり、air sprayによって容易に破損する。また本結果のごとく、RP modelの血管や神経が画像上のそれらよりも太くなったり、正円孔などの小さな孔の視認性が低下する原因としては、素材粉末の不十分な除去や、専用ワックスの過剰な塗布が考えられる。

近年、様々なmaterialを用いた3D printerが開発されており、そのうち本研究の3D printerは石膏を主体としているためドリリングが可能である。これまで、われわれが涉猟し得た限り、3D printerによるRP modelを骨のドリリングのトレーニング用とした報告はない。本研究における脳神経外科医のアンケート結果では、ドリリングの感想として人骨との近似性が高いことが示された。また、骨内部の内頸動脈および視神経の再現性も良好であり、ACの手術トレーニング用modelとして十分なスペックを持つと考えられた。なお、本RP modelのドリリングにおいて注意すべき点は、石膏の削りかすが深部の微小な解剖学的部位の上に堆積して隠してしまうことである。本結果において、AC時にoptic strutの視認性が低下したことも、このことが原因であると考えられた。3D printerの利点のひとつは、一度RP modelの画像データを入力すれば、同様のmodelを際限なく造形できることである。したがって、反復練習しやすい環境下となり、手術手技の円滑な習得が期待されよう。

結論：本研究において、3D printerを用いて作製したACP近傍のRP modelは、骨内部も含めて良好な解剖学的再現性を示した。また、本RP modelはドリリング用の手術教育ツールとして有用であると結論した。

1. 学位審査の要旨および担当者

学位番号甲第 584 号	氏 名	小 此 木 信 一
学位審査担当者	主 査	岩 渕 聡
	副 査	高 橋 寛
	副 査	黒 田 優
	副 査	海 老 原 覚
	副 査	榊 原 隆 次

学位審査論文の審査結果の要旨 :

内頸動脈瘤や頭蓋底腫瘍の手術の際に、内頸動脈や視神経に可動性をもたせるために前床突起を削除する操作が必要なことがある。しかし、前床突起周辺には重要な血管、神経が走行しており、その構造に個人差もあるため、前床突起削除操作には十分な解剖学的理解と豊富な経験を要する。そこで、著者らはCT angiography と MRI から三次元合成画像を作成し、その画像データを基に 3D printer を用いて rapid prototyping (RP) model を作製し、解剖学的再現性、実際の前床突起削除後の骨内部の再現性について評価し、本 model の手術シミュレーションへの有用性について検討した。

対象は CTA と MRI を施行した 51 例で、三次元合成画像と RP model において、上眼窩裂最先端からの長さ、視神経や動脈の太さ、前床突起削除後の骨内部の長さを測定し再現性を評価した。また、脳神経外科医 10 人に RP model の前床突起を削除してもらい、4 段階評価のアンケートを実施し、手術シミュレーションへの有用性を検討した。その結果、RP model の解剖学的構造の再現率は、骨内部も含めて 91~98%と三次元合成画像の前床突起近傍を高い精度で再現していた。また、脳神経外科医による RP model を用いた手術シミュレーションの評価では、各解剖学的同定、前床突起削除後の骨内部の同定の級内相関係数は 0.93 以上と高かった。以上より、本研究において、3D printer を用いて作製した前床突起近傍の RP model は、骨内部も含めて良好な解剖学的再現性を示し、本 model は前床突起を削除する際のドリリング用の手術教育ツールとして有用であると考えられた。

平成 29 年 10 月 23 日に開催された学位審査会では、5 名の出席者（事前審査 1 名）で審査が行われた。研究要旨の発表後、内容について活発な質疑応答が行われた。実際の手術との比較による再現性について、計測は何名で行われ、一例に対して何回行ったか、血管の拍動について影響はないか、width に誤差が大きかった理由などについて、種々の質問がなされた。申請者はこれらの質問に対して、本研究の背景、意義、限界、今後の課題などを含めて適切に回答した。

以上より、これまで 3D printer による RP model をドリリングのトレーニング用とした報告はなく、本 model が手術トレーニング用 model として臨床に役立つものと期待されることから、本研究の意義は高く、審査委員全員一致で学位授与に値するとの結論に至り、学位審査会を終了した。