

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名	本橋 邦夫
学位	博士 (医学)
学位記番号	新大院博 (医) 第 1034 号
学位授与の日付	令和 4 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
博士論文名	術前 3 次元仮想シミュレーションと術中顕微鏡融合ナビゲーションシステムを統合した大型頭蓋底腫瘍に対する手術支援法の確立
論文審査委員	主査 教授 川島 寛之 副査 教授 石川 浩志 副査 准教授 渡邊 慶

博士論文の要旨

【はじめに】 頭蓋底部腫瘍の摘出は脳神経外科手術の中でも難易度が高く、三次元解剖の把握と適切な手術戦略が必要とされる。申請者は当施設で独自開発した 3 次元手術シミュレーション法である interactive virtual simulation (IVS) を用い、仮想術野における切除可能域をもとに大型頭蓋底腫瘍を分割化し、この手術計画情報を手術顕微鏡と連動させた術中ニューロナビゲーションに反映することで手術支援とする「IVS 誘導手術」の確立を試みた。

【材料と方法】 小脳橋角部および蝶形骨縁内側部の直径 25mm 以上の髄膜腫 13 症例の手術を対象とした。IVS 法では、市販の画像解析ソフト Zed-View で放射線画像データから脳・神経、血管、頭蓋骨、腫瘍など構造物を抽出、それぞれ 3 次元ポリゴンデータに変換し、モデル作成ソフト Freeform Modeling 上で一つの三次元 CG モデルとした。ここでは CG モデルの各構造を自由に削ったり変形したりすることが可能で、骨開窓や脳の牽引による仮想術野や腫瘍到達路が作成できる。そこで視野角ごとに摘出可能域を周辺構造との関係も考慮して順次分離してゆき、一つの大きな腫瘍をいくつかのコンパートメントに分割した。骨削除した頭蓋骨、牽引した脳、腫瘍の分割成分など加工データは、手術室のナビゲーションシステムへ融合し、次に手術用顕微鏡の視軸を手術ナビゲーションシステムに登録、手術室のモニター上に手術顕微鏡の術野画像とシミュレーションデータを反映した手術ナビゲーション画像が連動するようにした。以上のシステムで、シミュレーション結果を確認しながら腫瘍摘出を遂行する「IVS 誘導手術」を試みた。

【結果】 全症例において CG モデルの作成と IVS 法による術前シミュレーションが有効に行われ、IVS による仮想術野の作成と大型腫瘍の 3~6 個のコンパートメントへの分割化がなされた。術中はモニター上に顕微鏡手術画像、連動させたナビゲーションの三次元画像と各種軸断面画像を適宜切り替えながら手術を進めることができ、三次元画像と顕微鏡画像の連動では実際の術野において脳や骨で隠れた部の腫瘍の広がりや、また各軸断面画像では顕微鏡の視入方向が描出されることにより術者の進行方向を常時確認することができた。腫瘍摘出中は終了したコンパートメントを順次消去することで、腫瘍残存部を視覚的に理解できた。13 例中 11 例の摘出術では計画通りの摘出がなされ、2 症例は予測外の出血により計画以上の残存があった。しかし、術後に大きな後遺症を生じた症例はなく、長期的に再治療を要したのも 1 例のみであった。

【考察】本研究では申請者らが開発した IVS 法により、頭蓋底部の大型髄膜腫の摘出に実践に則した手術シミュレーションを適応し、その中で腫瘍を複数のコンパートメントとして分割化した摘出手順を定めた。これまで発展してきた3次元画像技術を、解剖の理解だけではなく、実際の手術計画とそれを基盤にした手術の遂行にまで発展させた試みは本研究以外に類を見ない。熟練した脳外科医はその経験から、大型の頭蓋底腫瘍性病変と重要構造物の解剖学的な関係や術野の中で見えない腫瘍の広がりや想像し、速やかに除去できる部分、硬膜への付着を考慮すべき部分、重要構造との関係が懸念される部分など、大きな腫瘍を的確にいくつかの部分に分けながら摘出に関わる戦略を脳内で構築していると思われる。術前 IVS 法で腫瘍性病変を仮想摘出しながらコンパートメントに分けてゆく作業は、まさにこの経験を誰もが行うことを可能とし、実際の術中所見と照合しても有用性が高かった。IVS 法での手術計画を実際の手術にリアルタイムに反映させるためにニューロナビゲーションシステムへの投影を行なったが、術者の使用する手術顕微鏡との連動を確立したことで、ナビゲーションモニター上に描出されるシミュレーション結果から手術の進行度が可視化することができたのも本研究の特徴である。シミュレーション結果を術中操作に反映させ、実際の手術症例を通して満足すべき成績を得ることができ、現段階では最適の表現方法であろうと考える。申請者が今回提唱した「IVS 誘導手術」に関しては、手術の確実性だけでなく、手術教育の側面における有用性も強調されるべきである。リアルタイムな映像環境下で手術アプローチや戦略を議論したり、学んだりすることは、脳外科医の教育に有効な手段となろう。

【結論】高難度頭蓋底腫瘍手術において、IVS 法での術前シミュレーション・手術ナビゲーション・手術顕微鏡を融合させた視覚的手術支援技術を実現したことにより、新しい「IVS 誘導手術」を確立することができた。

審査結果の要旨

難易度の高い頭蓋底部腫瘍の摘出に対する新たな手術支援法の有効性を検討した研究である。独自開発した3次元手術シミュレーション法である Interactive virtual simulation (IVS)を用いて仮想術野における手術計画を作成し、その計画を手術顕微鏡と連動した術中ニューロナビゲーションに反映させ手術支援を行う「IVS 誘導手術」を行った。あらかじめ、術前に撮影した CT や MRI などの画像から、脳・神経、血管、頭蓋骨、腫瘍などの構造物を抽出し、3次元 CG モデルを作成する。次にこのモデルを用いた仮想術野において大きな腫瘍をいくつかのコンパートメントに分割して摘出するシミュレーションを行う。実際の手術では、このシミュレーションしたデータを手術ナビゲーション画像に反映させて腫瘍摘出を行なう。実際に頭蓋底部の髄膜腫の 13 症例に対して、この「IVS 誘導手術」を行い、11 例において計画通りの腫瘍摘出が行われ、2 例では予測外の出血による計画以上の腫瘍残存があった。以上から、「IVS 誘導手術」の有効性と、微細な血管などの構造物を反映することの限界が確認できた。

以上の研究内容は、医学の発展に寄与し、学位論文に資するものと判断する。