

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 22 日現在

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26893113

研究課題名(和文) 頭頸部腫瘍に対する頭蓋底手術における軟部組織付き3Dモデルシミュレーションの開発

研究課題名(英文) Development of a combined three-dimensional bone and soft-tissue model simulation in skull base surgery for head and neck tumors

研究代表者

西尾 直樹 (NISHIO, NAOKI)

名古屋大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：90732719

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：頭蓋底手術は頭頸部外科領域では最も難易度の高い手術の一つであり、術前のシミュレーションが欠かせない要素となる。我々は頭頸部腫瘍に対する頭蓋底手術において、合併症を減少させ、より正確な切除を実現するために、脳や眼球、大血管、耳下腺、皮膚といった実物大軟部組織付き3Dモデルを開発した。手術の前に手術室で実際に実物大3Dシミュレーションを行うことによって、頭蓋底手術をよりわかりやすくイメージすることが可能であった。実物大軟部組織付き3Dシミュレーションが頭蓋底手術において、外科医のトレーニングと手術の安全性と質の改善に寄与する。

研究成果の概要(英文)：Skull base surgery is one of the most difficult surgeries in head and neck region and the preoperative surgical simulation is essential. To minimize complications and achieve more accurate resection in skull base surgery for head and neck tumors, we developed a combined 3D model with soft-tissue, such as brain, eye, vessels, parotid gland and skin. By performing a combined three-dimensional bone and soft-tissue model simulation in the operation room before the actual surgery, we could plan the surgery more easily. A combined three-dimensional bone and soft-tissue model simulation can contribute to training for surgeons and improved safety and surgical quality in patients undergoing skull base surgery.

研究分野：耳鼻咽喉科

キーワード：耳鼻咽喉科 頭蓋底 シミュレーション 頭頸部腫瘍

1. 研究開始当初の背景

頭蓋底手術は構造の複雑さや重要な構造が密集していることや周術期における合併症が致命的になることから耳鼻咽喉科・頭頸部外科領域では最も難易度の高い手術の一つである。1962年にKetchamらが頭蓋底腫瘍に対して、craniofacial resectionを報告して以来世界中で行われるようになったが、いわゆる Surgical challenge として施行されてきた。当院でも1990年代より、頭蓋底腫瘍に対して、脳神経外科、形成外科と合同で頭蓋顎一塊切除術を積極的に行い、良好な結果を報告してきた。(Saito K, et al. Head Neck 1999)

頭蓋底手術を正確かつ安全に施行するためには、術前に入念なプランニングが欠かせない要素となる。当院では名古屋大学情報科学科と共同で通常のパソコン上で術前のプランニングを可能とする3Dバーチャルイメージ(Virtual Surgescope)を開発し、術前に個々の症例で3DCTを用いてパソコン上で3D画像を作成しバーチャルシミュレーションを行うことで、臨床に活かしている。Oishiらも脳腫瘍に対して感触伝導ツールを用いてCGデータで仮想手術を可能としており、バーチャルシミュレーションの有用性を示している。(Oishi M, et al. Neurosurgery 2011)

近年、3Dプリンタの普及により実物大3Dモデル作成が可能となり、頭蓋底手術のシミュレーションについても変わりつつある。しかしながら、頭蓋底手術で最も難渋するポイントは内頭蓋底、外頭蓋底とも、脳や眼球、大血管、脳神経、咀嚼筋、唾液腺などといった軟部組織のために、視野確保が困難で手術操作が制限されることである。術前のシミュレーションで切除範囲をイメージすることはできるが、内外頭蓋底については視野確保が困難な部位であり、どのくらい軟部組織を牽引できるのか予想できず、「やってみないとわからない」のが現状であり、そのために不完全な切除になることや、予期せぬ合併症のリスクも増えることが課題であった。

2. 研究の目的

頭蓋底手術は頭頸部外科領域では最も難易度の高い手術の一つであり、術前のシミュレーションが欠かせない要素となる。本研究では、頭頸部腫瘍に対する頭蓋底手術において硬組織である頭蓋骨の3Dモデルを作成するのみならず、脳や眼球、大血管、脳神経、筋肉、唾液腺などといった弾力のある軟部組織3Dモデルも組み合わせることで、より実際の手術に近づけた実物大3Dシミュレーションの開発を目的とした。

また、実際の手術とシミュレーションでの切除範囲の違いをCTデータとしてパソコンで誤差の計測をすることにより、シミュレーション自体の利点や課題についても検討し

た。

本研究により頭頸部腫瘍に対する頭蓋底手術において治療成績の改善を目指すとともに、頭頸部腫瘍患者に対して包括的な治療戦略とアプローチ法を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

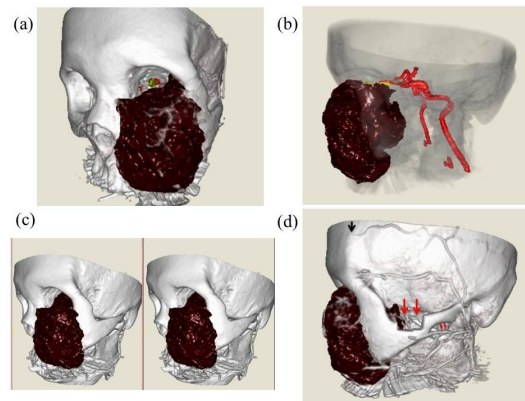
頭蓋底切除術を施行する頭頸部腫瘍の患者に対して、術前のCT画像データを基にパソコン上でバーチャルシミュレーションを行うとともに、実物大の頭蓋骨3Dモデルに弾力のある軟部組織付きモデルを組み合わせ、術前に手術室にてシミュレーションを施行する。実際の手術での切除範囲とシミュレーションでの切除範囲をCTデータとしてパソコン上で同期させ、切除範囲の違いを部位毎に距離を計測し検討した。

(1) CT撮影

頭蓋底手術を必要とする患者に対して、手術2週間前に頭頂部から頸部にかけて3DCTを撮影する。

(2) バーチャルシミュレーション

名古屋大学大学院情報科学研究科と共同で開発した3Dバーチャルイメージ(Virtual Surgescope)を利用して、通常のパソコン上で手術前の3DCTを基に3D画像を作成して、バーチャルシミュレーションにて骨切除され得られたCT画像をDICOMデータとする。



(上図) バーチャルシミュレーション

(a) 3D画像：腫瘍や血管などが色分けされている。

(b) 骨を半透明に設定すると、腫瘍や血管が透けてみえる。

(c) 2つの画像を交差法でみることにより、立体視が可能となる。

(d) バーチャル上で骨を削開ができる。

(3) 実物大軟部組織付き3Dモデルシミュレーション

得られた術前3DCTデータから、3次元画像処理ソフトウェア Zedview for color (レキシー、日本)にて3Dモデルを作成しSTL、PLYデータとしてエクスポートする。そのデータを3Dモデリングソフトウェア Geomagic

Freeform Modering Touch X (3D systems、米国)にて3次元モデリングし、実物大 3D モデルを作成する。同時に術前の CT データを基にして、軟部組織モデルを作成して、頭蓋骨モデルと組み合わせる。頭蓋底に存在する大血管については必要に応じて光造形にて作成する。

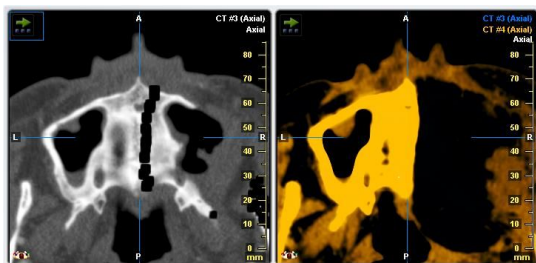
頭蓋底手術までに当施設の手術室において、3D モデルを実際の手術と同様の方法でヘッドピンにてフレームに固定する。手術で使用するドリルなどの手術器具を使用して、実際の手術と同様の手順で、内外頭蓋底を骨切りすることで、頭蓋顎一塊切除するシミュレーションを行う。

(4) 頭蓋底手術

シミュレーションで得られた情報と参考しながら、シミュレーションと同様の方法で頭蓋底手術を施行する。

(5) 画像解析

解析にはパソコン上で高精度プランニングソフトウェアである iPLAN (BlainLab、ドイツ)を利用して、それぞれの画像データを周囲の骨などを目安に位置を同期し一致させ、誤差を計測する。



(上図) 右上顎洞癌 cT4aNOMO にて右前中頭蓋底切除、遊離腹直筋皮弁術後

左：バーチャルシミュレーションにて骨切除され得られた CT 画像

右：手術後 1 か月の時点での CT 画像

(右上顎洞が切除されている)

4. 研究成果

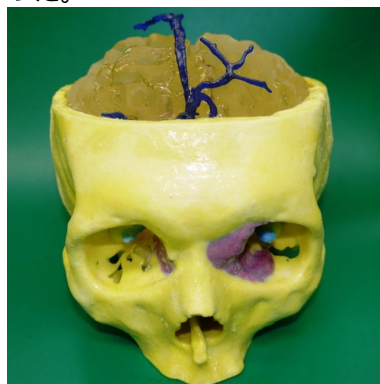
(1) 実物大軟部組織付き 3D モデルシミュレーション

頭蓋底手術において脳・眼球・耳下腺・皮膚といった臓器を軟部組織 3D モデルとして再現して、頭蓋骨の 3D モデルと組み合わせた実物大 3D シミュレーションを開発した。軟部組織 3D モデルの作成はソニーイーエムシーエス(株)に依頼した。大血管については光造形により再現し、脳・眼球・耳下腺・皮膚といった臓器についてはシリコンにより再現した。

本研究において患者自身の CT 画像から実物大 3D モデルを作成して実際に手術室でシミュレーションを行うといった「模擬手術」についての方法が確立できた。

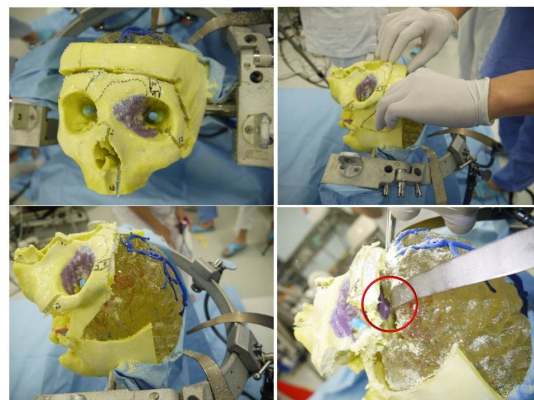
局所進行鼻副鼻腔癌に対する前中頭蓋底切除術：

脳・眼球・耳下腺・皮膚といった軟部組織付き 3D モデルを作成し、実際に手術室にてそのモデルを切除するシミュレーションを行った。



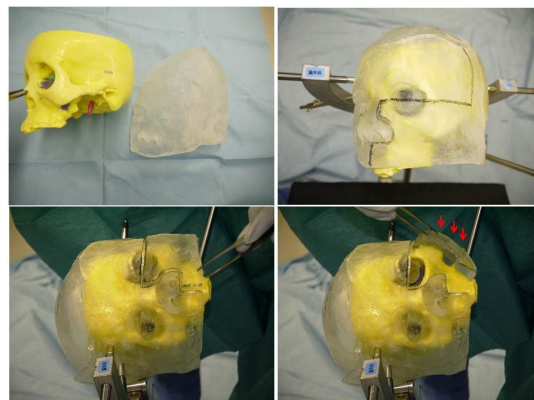
(上図) 実物大軟部組織付き 3D モデル

軟部組織付き 3D モデルにより脳ベラによるトラクションや supraorbital bar 作成、開頭部位などの決定のイメージがわかりやすく、手術計画に有用であった。



(上図) 実際の 3D モデルシミュレーション

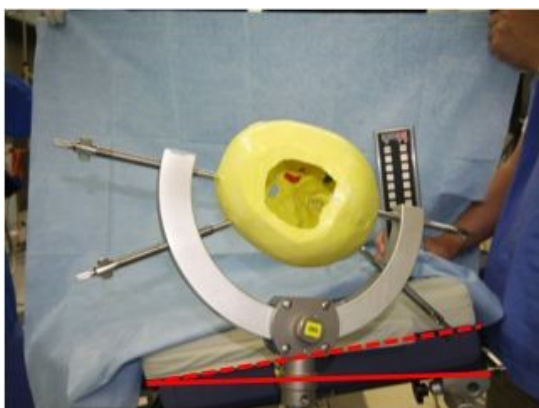
顔面の皮膚を薄いシリコンにて被覆して再現し、メスなどの手術器具にて実際に「模擬手術」を施行した。皮膚切開や皮弁挙上といった、頭蓋骨までのアプローチ法を実践的に再現することが可能であり、解剖の理解が深まった。



(上図) 皮膚・眼球付き 3D モデル

局所進行外耳道癌に対する側頭骨垂全摘術：

側頭骨垂全摘術においては術中の患者の体位やベッドの角度が重要であるが、手術室での軟部組織付き 3D モデルシミュレーションを行うことで、側頭骨垂全摘術ではベッドを水平から 12 度傾けた体位が最も手術操作を円滑に行えることが確認できた。



(上図)側頭骨垂全摘術において、12度ベッドを傾けたところ

同モデルは第 27 回日本頭蓋底外科学会でのハンズオンセミナーにて実際に参加者により模擬手術が行われ、日本全国でのそれぞれの施設での手術方法の違いについて検討することが可能であった。

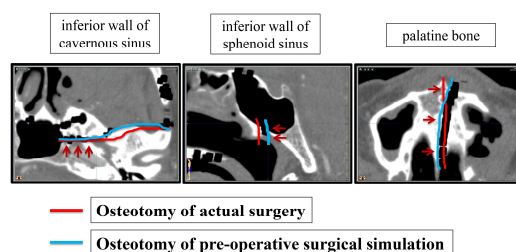
平成 27 年度までに計 6 症例に臨床応用され、このシミュレーションにて研鑽を行った若手医師が執刀するレベルにまで達し、術後在院死亡や再手術もなく、良好な手術成績を収めている。

(2)シミュレーションにおける切除ラインの正確性の検討

眼球摘出を含む前中頭蓋底切除術を施行した、進行副鼻腔癌 7 症例を対象とした。手術直前のバーチャルシミュレーション画像と手術後の頭部 CT を iPLAN (BrainLAB)を用いて同期させ骨切除ラインを比較した。検討部位は 内頸動脈錐体骨部～卵円孔の軸位断、蝶形骨洞下壁の矢状断、硬口蓋の軸位断について比較した。、では 3 点、では 2 点ずつ計測し、その平均値を測定値とした。

誤差については、では 3.1mm、では 3.5mm、

では 2.3mm であり、やや誤差はあるものの、ほぼ術前のシミュレーション通りに切除ができていた。においては全例にてシミュレーションの骨切り線より前方での骨切り線となっていた。シミュレーションと実際の手術を振り返り、比較検討することで、手術の課題などをフィードバックし、解剖と術式の理解が深まった。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

1. Nishio N, Fujimoto Y, Fujii M, Saito K, Hiramatsu M, Maruo T, Iwami K, Kamei Y, Yagi S, Takahashi M, Hayashi Y, Ando A, Nakashima T. Craniofacial Resection for T4 Maxillary Sinus Carcinoma: Managing Cases with Involvement of the Skull Base. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2015 Aug;153(2):231-8. 査読有
DOI: 10.1177/0194599815586770

[学会発表](計 5 件)

1. 西尾直樹：側頭下窩における軟部組織付き 3D バーチャルシミュレーションの有用性. 第 32 回東海頭蓋底外科研究会. 2016 年 3 月 19 日, 愛知県 名古屋市 名古屋市立大学病院
2. Naoki Nishio: Accuracy of virtual surgical simulation in craniofacial resection. American Academy of Otolaryngology- Head and Neck Surgery Foundation(AAO-HNSF) Annual Meeting 2015 年 9 月 27 日, アメリカ ダラス Kay Bailey Hutchison Convention Center
3. 西尾直樹：側頭骨垂全摘における耳管の評価 3D バーチャルシミュレーションでの詳細な検討. 第 63 回中部地方部会連合講演会. 2015 年 7 月 18 日, 長野県 松本市 ホテル プエナビスタ
4. 西尾直樹：【シンポジウム】頭蓋底手術における軟部組織付き 3D モデルシミュレーション. 第 27 回日本頭蓋底外科学会. 2015 年 7 月 9 日, 愛知県 名古屋市 名古屋国際会議場
5. 西尾直樹：3D バーチャルシミュレーションはオーダーメイドチタンメッシュ使用時にも有用である. 第 116 回日本耳鼻咽喉科学会総会. 2015 年 5 月 21 日, 東京都 千代田区 東京国際フォーラム

6. 研究組織

(1)研究代表者

西尾 直樹 (NISHIO, Naoki)
名古屋大学医学部附属病院・助教
研究者番号：90732719

(2)研究分担者

なし