

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23659683

研究課題名（和文）融合化三次元画像を用いた拡張現実手術シミュレーション装置の開発

研究課題名（英文）Developmental of augmented reality surgical simulation using fusion three-dimensional image

研究代表者

齊藤 延人 (Nobuhito SAITO)

東京大学・医学部附属病院・教授

研究者番号：60262002

研究成果の概要(和文):複数の医用画像データを融合させた三次元画像の構築手法を開発した。提案手法による融合三次元画像は異なる医用画像データのレジストレーション制限を克服し、高い空間分解能を有し、複雑化した3次元表示の視認性向上に成功した。提案手法による融合三次元画像は東京大学医学部附属病院脳神経外科で235症例に臨床応用され、高い有用性が示された。ビデオモニターを用いた拡張現実法による手術シミュレーションを開発した。提案手法は同病院にて15症例に臨床応用され、その有用性が示された。

研究成果の概要(英文): The reconstruction technique of three-dimensional image with which medical multimodal image data were fused was developed. Our proposed method conquered registration restrictions of different medical image data, has high spatial resolution and succeeded in the improvement in visibility of the complicated three-dimensional image. Clinical application of the fusion three-dimensional image by the proposed method was carried out at 235 cases by Department of Neurosurgery at the University of Tokyo Hospital, and high usefulness was shown. The operative surgical simulation by the augmented reality technique using a video monitor was developed. Clinical application of the proposed method was carried out in the hospital at 15 cases, and the usefulness was shown.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・脳神経外科学

キーワード：神経画像診断学、脳機能画像、バーチャルリアリティ、神経科学、脳・神経

## 1. 研究開始当初の背景

脳神経外科領域に置いて術前の詳細な画像検討は非常に重要であり、様々な各種術前画像検査が施行され、2次元断面画像データは数千枚以上となることも少なくない。これに対して各種画像検査を融合させて3次元画像を作成している報告が相次いでいるが、制限された画像検査同士の融合しかできない。これらの弱点を克服すべく我々

は画像処理ソフトウェアを用いることによって機能画像データをも含めた術前検討に必要な全ての各種画像検査を融合した画像を作成し臨床応用することに成功した。更に作成した融合化3次元画像をポリゴン変換によるメッシュ編集を用いて仮想的な皮膚の切開、脳の圧排や血管などの組織の移動も可能にした。今後は提案手法による融合化3次元画像構築時間の短縮を目指すべ

く自動 3 次元再構築プログラムを開発し、更に拡張現実手法を用いた既存にはない新しい手術支援システムの構築を目指す。

## 2. 研究の目的

融合化 3 次元画像を透明液晶ディスプレイ上で操作し、手術中に患者自身の体に投影する。これにより肉眼では見えない場所を検討したり、術野のオリエンテーションをつけることに役立たせる。この拡張現実を用いた手術支援システムの位置情報は光学式トラッキングシステムを用いて被験者との自動位置合わせを行う。従来の手術ナビゲーションシステムは極めて単純な 3 次元画像しか描出することができないため、提案手法による融合化 3 次元画像を表示することができる仮想現実手術ナビゲーションシステムが完成されれば、拡張現実を用いた手術支援装置としてだけではなく、融合化 3 次元画像が描出可能な手術ナビゲーションシステムとしても非常に有用であると考えられる。

### 1) 各種術前検査データを融合した 3 次元モデル構築方法の改良

提案手法による融合化 3 次元構築方法に自動化を随所に導入することによって、画像構築時間の短縮化を目指す。自動化の方法として、自動脳抽出機能、自動血管抽出機能、自動融合機能などを検討しており、これらの効率的な自動化のプログラミングを構築する。

### 2) 新たな手術支援装置の開発

本研究にて作成した融合化 3 次元画像をポータブル液晶ディスプレイ上に映す。液晶ディスプレイを通して手術患者を観察できる拡張現実手術シミュレーション装置を開発する。具体的には移動式透明液晶ディスプレイ付きのワークステーションの開発及び、光学式トラッキング位置合わせによる 3 次元画像と患者自身とのレジストレーションの方法を確立する。

## 3. 研究の方法

### 1) 高精細融合化 3 次元モデルの構築方法の改良

全ての医用画像データを正規化相互情報量法による自動融合機能によって融合できるようにする。このため融合に適した各種検査の最適な信号閾値や撮像データ範囲をさがす。この処理は全て画像処理ソフト Avizo 上で行うが、全ての画像を自動的に融合するにはプログラミングの追加が必要であり、これは大学院生あるいは外部委託によって行う。本研究は実際の臨床に使用できることを目的としているので、最終的には全ての画像の融合を汎用パソコン上で数クリックで可能となるようにプログラミ

ングを作成する。また現時点で各組織モデルの構築はリージョングローイング法などの自動機能とマニュアルセグメンテーション法とを組み合わせでおこなっているが、3 次元モデル作成においてこの過程が最も時間を要する。そこでこれを自動化するプログラミングを作成する。すなわち、自動脳抽出機能、自動血管抽出機能などを Avizo ソフトウェアに組み入れる。これにより 3DCG モデル構築時間の大幅な短縮が見込まれる。プログラミングは大学院生あるいは外部委託とする。完成した 3 次元モデルを実際の臨床で使用。具体的には、術前にこれを作成し、病変の局在や向き、正常組織との関係を比較する。症例数は約 100 例で前向き調査とする。手術前に、脳神経外科手術熟練者 1 名、経験症例数 5 例未満の脳神経外科専門医 1 名、非専門医 1 名、画像作成医の 4 名が合同で、3 次元画像を確認して手術のシミュレーションを行う。3 次元モデル構築時間も測定する。術後直ちに術前に検討を行った 4 人の医師が、解剖構造、血管構造、空間形状に細分して、術中所見と比較した視認性と類似性を評価する。

### 2) 拡張現実を用いた手術支援装置の開発

本研究にて作成した 3 次元モデルをポータブル液晶ディスプレイ上に映し、この液晶ディスプレイを通して手術患者を観察できる手術支援システムを開発する。具体的には移動式透明液晶ディスプレイ付きのワークステーションの開発及び、3 次元モデルと患者自身とのレジストレーションの方法を確立する。上述の 3 次元モデルを投射した透明液晶ディスプレイを作成する。このディスプレイ上では通常のワークステーションでの 3 次元モデルと同じような様々な操作が可能であり、これを通して被験者(患者)の病変部を透かしてみようにする。患者自身と 3DCG とのレジストレーションには、光学式トラッキングシステムを用いたマーカー識別によるアフィン変換にて行う。このレジストレーション機能を Avizo ソフトウェアで可能になるようプログラミングを行う。

完成した拡張現実手術シミュレーション装置及び手術支援装置を実際の臨床にて検証する。前向き研究でそれぞれ 10 例ずつの症例数とし、シミュレーションでは 3 次元モデルと実際の手術所見で相違がないかを確認する。評価は術前に三次元画像の検討を行った 4 人の医師が、解剖構造、血管構造、空間形状、実空間との誤差に細分して、術中所見と比較した視認性と類似性を評価。術前拡張現実画像の有益性について、1. Essential、2. Useful、3. Not useful、4. Confusing の 4 段階で評価を行い、デ

ータ・ベースに入力を行う。

#### 4. 研究成果

##### 1) 高精細融合化 3次元モデルの構築方法の改良

脳神経外科領域で使用する医用画像のほぼ全てを、独自に考案した初期設定値を用いることによって正規化相互情報量法による半自動化レジストレーション方法を確立することとに成功した (Kin et al., JNS 117: 78-88, 2012)。セグメンテーションでは、同一組織に対して数種類のモダリティーを用いて、且つ同一組織を任意の領域に分割し、各々の領域において最も対象組織がよく描出され且つノイズが少なくなるような閾値を設定する方法を開発した。本法を multimodal individualizing tissue threshold 法と名付けた (Yoshino et al., Br J Neurosurg 26: 927-928, 2012)。複雑膨大化した融合三次元画像の視認性を向上させるために、サーフェスレンダリングとボリュームレンダリングとを混在させたハイブリッドレンダリング法を開発した (Kin et al., Neurosurgery 69: 40-48, 2011)。提案手法による融合三次元画像を用いた手術シミュレーションの臨床応用は、東京大学医学部附属病院脳神経外科において平成 23 年 4 月 28 日から平成 24 年 3 月 31 日までの間に 235 例に使用され、本大学病院ではルーチンの術前検討方法となった (Saito et al., Clinical Neurosurgery in press)。既存技術との比較では、神経内視鏡手術 10 症例に対して術前に把握すべき解剖情報の精度が有意に向上した (Kin et al., Neurosurgery 69: 40-48, 2011)。脳幹部海綿状血管腫における静脈奇形の診断率が有意に向上した (Kin et al., JNS 117: 78-88, 2012)。本法は頭蓋内疾患だけでなく、その他の領域の疾患に対しても有用であった。脊髄血管障害 13 例では病変の同定率が既存方法に比較して有意に向上した (Takai et al., JNS spine 15(6): 654-659, 2011)。

2) 拡張現実を用いた手術支援装置の開発  
拡張現実法を用いた手術支援装置の開発は成功した。具体的にはビデオミキサー (V8、ローランド社) を用いて融合三次元画像と手術ビデオモニターとをリンクさせた。位置姿勢情報は独自に開発した手術ナビゲーションシステムを用いて計測点と計画点とをアフィン変換によってレジストレーションし、その座標情報を用いた。平成 23 年 4 月 28 日から平成 24 年 3 月 31 日までの期間で 15 症例に臨床応用した (脳神経外科ジャーナル. 20 巻 4 号 : 238-246, 2011)。

#### 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)

1. Saito N, Kin T, Yoshino M, Nakagawa D, Shojima M, Oyama H, Imai H, Nakatomi H. Surgical simulation of cerebrovascular disease with multimodal fusion three-dimensional computer graphics. Clinical Neurosurgery. in press. 査読有
2. Yoshino M, Kin T, Nakatomi H, Oyama H, Saito N. Presurgical planning of feeder resection with realistic three-dimensional virtual operation field in patient with cerebellopontine angle meningioma. Acta Neurochirurgica. 査読有
3. Kin T, Nakatomi H, Shojima M, Tanaka M, Ino K, Mori H, Kunimatsu A, Oyama H, Saito N. A new strategic neurosurgical planning for brainstem cavernous malformation using an interactive computer graphics with multimodal fusion images. J Neurosurg 117: 78-88, 2012 査読有
4. Takai K, Kin T, Oyama H, Shojima M, Saito N. 3D analysis of the angioarchitecture of spinal dural arteriovenous fistulas with special reference to intradural retrograde venous drainage system. J Neurosurg Spine. 2012 査読有
5. Hanakita S, Takai K, Kin T, Shojima M, Saito N. Double independent spinal dural arteriovenous fistulas at the thoracic spine. Acta Neurochir (Wien). 154 (7): 1157-1158, 2012 査読有
6. Yoshino M, Kin T, Shojima M, Nakatomi H, Oyama H, Saito N. A high-resolution method with increased matrix size can characterize small arteries around a giant aneurysm in three dimensions. Br J Neurosurg. 26: 927-928, 2012 査読有
7. Kin T, Shin M, Oyama H, Kmada K, Kunimatsu A, Momose T, Saito N. Impact of multiorgan fusion imaging and interactive three-dimensional visualization for intraventricular neuroendoscopic surgery. Neurosurgery. 69: 40-48, 2011 査読有
8. Takai K, Kin T, Oyama H, Iijima A, Shojima M, Nishido H, Saito N. The use of 3D computer graphics in the diagnosis and treatment of spinal vascular malformations. J Neurosurg Spine. 15(6): 654-659, 2011 査読有
9. Kunii N, Ota T, Kin T, Kamada K, Morita A, Kawahara N, Saito N. Angiographic classification of tumor attachment of meningiomas at the cerebellopontine

- angle.World Neurosurg. 75(1):114-121, 2011 査読有
10. 金 太一、斉藤延人. 「2種類の病変が混在した脳幹部血管奇形の1例」脳神経外科ジャーナル. in press. 査読有
  11. 金 太一、庄島正明、吉野正紀、中川大地、武笠晃丈、今井英明、辛正廣、小山博史、斉藤延人、「コンピュータグラフィックスによる手術シミュレーション」脳神経外科ジャーナル in press. 査読有
  12. 中富 浩文、金 太一、吉野正紀、國井尚人、斉藤延人. 「小脳橋角部髄膜腫の治療戦略」斉藤 延人 編集：ビジュアル脳神経外科. メジカルビュー社 pp152-167、2012
  13. 金 太一、斉藤 延人. 「脳動脈瘤 診断（最新の神経放射線的診断学）」及び「その他の脳血管奇形」太田 富雄 編著：脳神経外科学 改訂第11版. 金芳堂 pp812-827、pp1003-1023、2012
  14. 金 太一. 「顔面けいれんのabnormal muscle response」Clinical Neuroscience30巻7号 中外医学社 pp842-843、2012
  15. 金 太一、吉野正紀、庄島正明、今井英明、中富浩文、小山博史、斉藤 延人. 高精細融合3次元画像を用いた脳血管障害手術シミュレーションの構築手法の工夫と手術戦略上の利点. The Mt. Fuji Workshop on CVD. 30巻：104-108, 2012 査読有
  16. 吉野 正紀、金 太一、中富 浩文、小山 博史、斉藤 延人. 聴神経腫瘍の術前検討に必要な顔面神経の検出 —セグメンテーション困難領域に於けるセグメンテーションの工夫—. VR医学. 10巻：27-34、2012 査読有
  17. 金 太一、小山博史、庄島正明、辛 正廣、斉藤 延人. 3次元融合画像とシミュレーション. 脳神経外科ジャーナル. 20巻4号：238-246, 2011 査読有
  18. 中富 浩文、金 太一、斉藤 延人. 脳幹部海綿状血管腫の外科治療. BRAIN and NERVE. 63巻1号：31-40, 2011
  19. 斉藤 延人、金 太一. 第四脳室と橋・延髄の解剖と外科治療. 脳神経外科ジャーナル. 20巻6号：438-445, 2011 査読有

〔雑誌論文〕（計 15 件）

〔学会発表〕（計 43 件）

〔図書〕（計 4 件）

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

なし

## 6. 研究組織

研究代表者

齊藤 延人 (SAITO NOBUHITO)

東京大学・医学部附属病院・教授

研究者番号：60262002