

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 31 日現在

機関番号：32653

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21591804

研究課題名（和文） 大血管ナビゲーションを駆使した術者のイメージング能力向上に  
寄与する革新的治療戦略研究課題名（英文） An innovative treatment approach supporting development of  
surgeons' imaging by the TAAA Navigator

研究代表者

青見 茂之 (AOMI SHIGEYUKI)

東京女子医科大学・医学部・准教授

研究者番号：30183726

研究成果の概要（和文）：

大血管対象のナビゲーションシステム“TAAA Navigator”を開発してきた。従来のレジストレーション方法に改良を加え、機能を統合した新システムを構築した。レジストレーションは開胸前に体表上から骨の特徴点を探索し、点レジストレーションする方法とした。画像上のレジストレーション点は骨の特徴点から方向別に皮下組織厚の厚みに応じた値を移動させた点として設定する。レジストレーション後は手術中のベッド移動量を計測する参照用マーカを利用し、結果を追従させる。開胸後、体表点と体内点の組み合わせによる点レジストレーションで標的を探索する。臨床利用中には評価できないレジストレーション誤差についてファントムで調査した。皮下組織厚のオフセット補正は誤差の低減に効果的であった。部位ごとに与えた信頼度に応じた誤差補正の効果についてはさらなる検討を要する。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a surgical navigation system called “TAAA Navigator”, which is especially designed for aortic vascular surgery. The system consists of functions that are based on our recent studies: a multipoint-based registration algorithm on bone structure, a correction method of tissue thickness, a reference marker system tracking bed position, and a target detection method using both external and internal points on body. In this paper, we report a newly applied registration algorithm to correct errors derived from the tissue thickness of patients. A model formula was provided to analyze error factors on tissue thickness. The error components were divided into the average value and the deviation value. In this algorithm, the average value was regarded as the offset of tissue thickness and the deviation value was as the weight of the measurement. A phantom examination showed the offset was effective. To reveal the efficacy of the weight, further discussion would be needed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・胸部外科学

キーワード：心臓大血管外科学，大動脈瘤，人工血管置換術，手術ナビゲーション，レジストレーション，リファレンスマーカ



## 1. 研究開始当初の背景

患者の安全と手術者の安心を確保するための手術ナビゲーション開発を行ってきた。従来のナビゲーションシステムは主に脳神経外科や整形外科領域で用いられてきた。術前画像を応用するナビゲーションシステムは臓器の変形が大きい胸腹部領域では難しいといわれていた。

われわれのグループでは、東京女子医科大学先端生命医学研究所で開発された脳腫瘍完全摘出のためのナビゲーションシステムを土台とし、大血管外科で臨床応用できるまでに向上させた。

手術ナビゲーションは Adamkiewicz 動脈につながる重要な肋間動脈の位置確認など手術で客観的に判断したいときに非常に役立つ。これを他施設でも利用できるように貢献したいと考えた。工学部の支援を受けながら開発を進めてきたが、医療従事者だけでシステム運営ができるようになるためには、システムの汎用性を向上させることが重要な課題であった。

## 2. 研究の目的

大血管外科用のナビゲーションシステムを汎用化させるためにシステムの簡易化を目指した。患者の画像情報と実際の身体構造との位置合わせ（レジストレーション）の簡易化が重要な点である。特にベッドの移動による再レジストレーション回避、開胸前に標的部位の位置関係を把握して手技を進めるための新レジストレーション方法の開発を目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) ベッドマーカの開発

大動脈人工血管置換術の手術では術中の状況に応じて視野や作業性を確保するために、適切なベッド位置にすることが求められる。しかし、従来のシステムではベッド位置の移動に伴って患者が移動した場合に再レジストレーションが必要となり、利便性に難があった。そこで新たに患者の移動量を計測し再レジストレーションを不要にする基準マーカシステムを新たに開発した。

基準マーカシステムの要求条件は次の3点である。

- ① 計測器で保証された測定精度以内である基準となるベッドマーカの位置計測精度はナビゲーションの精度に大きく影響する。光学式位置計測装置である（Polaris Spectra, Northern Digital Inc.）で保障された精度の0.25mm以下を達成することが望ましい。
- ② 取り付け基部とマーカが分離可能であるベッドは不潔領域にあるが、位置計測用のマーカは清潔領域に設置したい。位置計測装置は光学式であり、マーカを清潔領域と不潔領

域を分けるドレープの奥に設置すると計測ができないためである。

### ③ 滅菌可能である

ベッドマーカは清潔領域に取り付けるため、滅菌可能な材料で製作する。ジュラルミンを使用した。

以上より、製作した基準マーカシステムを Fig. 1 に示す。ベッドへの取り付け基部を Fig. 2 に示す。実際の運用では Fig. 3 に示すように基部の上からドレープを被せ、その上からベッドマーカを取り付ける。基部にはφ10mmの球形のへこみがあり、この部分とベッドマーカのφ9mmのピンの位置が合致する。この位置決めピンの先端形状を球形にしている。



Fig. 1 Positioning marker part of a bed marker

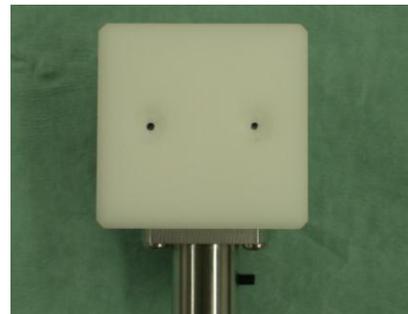


Fig. 2 Installation part of a bed marker



Fig. 3 Combination of a bed marker

(2) レジストレーションアルゴリズムの改良

従来の大血管ナビゲーションでは開胸前に、体表面でのレジストレーション（体表面上から触って確認した骨の特徴点を用いる）を行った後、ベッドを移動させて開胸し、体内のレジストレーション（体内の骨の特徴点を用いる）を行うことでナビゲーションに必要な精度を確保してきた。ベッドマーカの開発により、体表面でのレジストレーション結果を用いて、そのまま体内のナビゲーションを行うことを目指した。

従来法において、体表面のレジストレーションが 10mm 程度の誤差を生じるのに対し、体内のレジストレーションでは 5mm 以内の誤差であった。

体表面のみで精度を確保するために新たなレジストレーションアルゴリズムを開発した。基準点として利用する各解剖学的特徴点の間にある計測誤差の違いを調整するために重み付けという概念を導入した。重み付けレジストレーションアルゴリズムは信頼度の概念を導入することで各レジストレーション点が最終的な計算結果に与える影響に違いを与え、より信頼度の高い計測誤差の小さい点が最終結果に大きな影響を与えるようにしている。これにより信頼度の低い点の計測誤差の影響を低減し、偶然誤差に耐性を持たせることを狙った。

(3) ファントムを対象にした評価

自作のレジストレーション評価用ファントムを対象に実験を行った。骨格モデルに対して、胸部、腹部それぞれの皮下組織を模擬するモデルを設置する。ここで、皮下組織厚は患者の平均厚とした。解剖学的特徴点の組み合わせは下記の通りであり、その配置を Fig. 4 に示す。評価に用いた指標は基準位置合わせ誤差（FRE : Fiducial Registration Error）と標的位置合わせ誤差（TRE : Target Registration Error）とした。

① 計測点

- ・FRE 算出用：体表 3 点（胸骨角 (a), 左前腸骨棘 (b), 恥骨稜 (c)）
- ・TRE 算出用：体内 3 点（左側の肋間動脈起始部 Th10 (d), Th11 (e), Th12 (f)）

② 評価方法

ポインティングにより点 a-f を計測し、FRE と TRE を求めた。このとき、レジストレーションは次の 4 通りとした。A) 補正なし、B) 平均値の補正あり、C) 偏差の補正あり、D) 平均値、偏差両方の補正あり。被験者は 10 名とし、試行は 5 回ずつ、ランダムに行った。FRE、TRE はそれぞれ Eq. 1, Eq. 2 で示される。

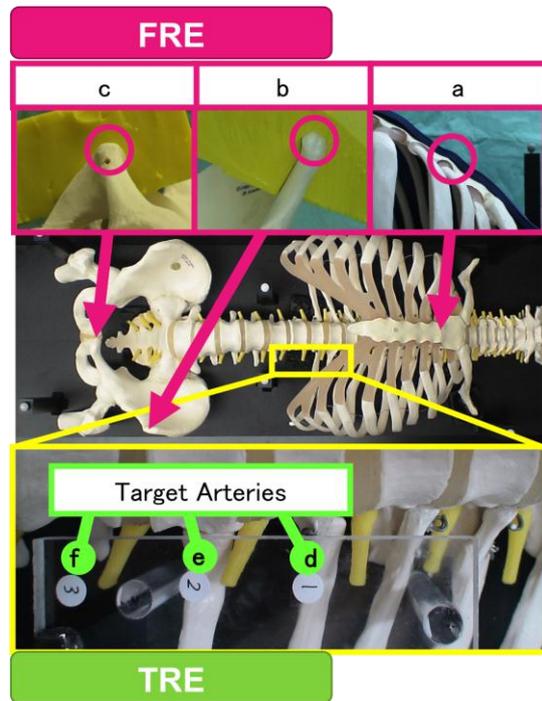


Fig. 4 Registration points for FRE and TRE

$$FRE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{img\_i} - {}^{img}T_{pol} P_{pol\_i})^2}{N}} \cdots \cdots (Eq. 1)$$

$$TRE = | P_{img\_t} - {}^{img}T_{pol} P_{pol\_t} | \cdots \cdots \cdots (Eq. 2)$$

${}^{img}T_{pol}$ : 計測座標系から画像座標系への変換行列,  
 $P_{img\_i}$ : 画像座標系での特徴点  $P_i$  の座標値,  
 $P_{pol\_i}$ : 計測座標系での特徴点  $P_i$  の座標値,  
 $P_{img\_t}$ : 画像座標系での目標点の座標値,  
 $P_{pol\_t}$ : 計測座標系での目標点の座標値とする。

(4) 臨床応用

大血管対象のナビゲーションシステムを改良し、新たに“TAAA Navigator”として構築した。ベッドマーカを設置し、臨床への応用を行った。

4. 研究成果

(1) ベッドマーカの開発

大血管ナビゲーションのベッド移動を補償するベッドマーカシステムを新規に開発しその精度評価を行った。その結果、ベッドマーカによる誤差は計測器の精度以下となり臨床において使用する上で十分な精度を持つことが分かった。またドレープが精度に与える影響は軽微であった。

(2) レジストレーションアルゴリズムの改良とファントムを対象にした評価

結果を Fig. 5 に示す。FRE はいずれも 5.4mm 程度で差が見られなかったが、TRE

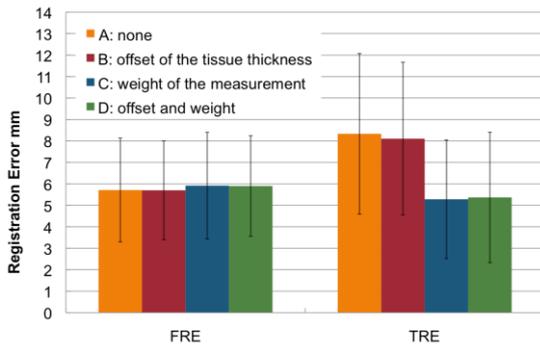


Fig.5 Comparison of registration error

には改善が見られた。皮下組織厚に基づく誤差の平均値による補正では 8.3mm から 5.3mm となった。一方で、重みの影響を与えることによる精度向上は見られなかった。計測点を増やしたときに重みの影響が出る可能性については今後の検討課題とする。

#### (4) 臨床応用

ベッド移動に対応させることで、開胸前のイメージをそのまま利用できることで、開胸後の体内構造との一致がスムーズになった。ファントムにおいては十分臨床に適していると考えられるが、臨床応用を行いその中で十分な性能を発揮できるかを評価し、新たな課題を検証する必要がある。

#### 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 10 件)

- ① 前田拓也, 青見茂之ほか: 腹部大動脈縮窄症(mid-aortic syndrome)から大動脈閉塞へ進行した小児に対する上行-腹部大動脈バイパス術, 日本血管外科学会雑誌, 20 (2011) (査読有)
- ② Y., Nakayama, S., Aomi et al: Operation for a Massive Bilobed Thoracoabdominal Aortic Aneurysm Complicated With the Occlusion of Inferior Vena Cava, Ann Thorac Surg, 91 (2011) (査読有)
- ③ 青見茂之: 大動脈外科の歴史, 胸部外科, 64 (2011) (査読無)
- ④ 青見茂之: 【大動脈瘤/大動脈解離を知る】大動脈瘤/大動脈解離の病変と病態, Vascular Lab, 7 (6) (2011) (査読無)
- ⑤ 青見茂之, 小澤英樹: 【手術 vs 非手術 最新のエビデンスから】腹部大動脈瘤, 外科, 72 (13) (2010) (査読無)
- ⑥ 青見茂之: 【大動脈基部再建・置換術のテクニック】Bentall 手術 ボタン法+interposition graft 法, CIRCULATION Up-to-Date, 5 (4) (2010) (査読無)

- ⑦ 青見茂之: 動脈疾患の最近の治療戦略, 心臓, 41 (2009) (査読無)
- ⑧ 齋藤聡, 黒澤博身, 青見茂之, 山崎健二: 【大動脈基部置換術】基本術式 大動脈基部病変に対する外科治療 小児外科から成人まで, 胸部外科, 62 (2009) (査読無)
- ⑨ 植松美幸: 体内構造を透かし見て目標血管を特定する 大血管ナビゲーションシステム, 未来医学, 24 (2009) (査読無)
- ⑩ 植松美幸, 中野善隆, 松川紘大, 宇都宮隆平, 中村亮一, 村垣善浩, 伊関洋, 青見茂之, 梅津光生: 大血管手術の安全性を高める画像支援ナビゲーションシステム, に本バーチャルリアリティ学会論文誌, 14(1), (2009) (査読有)

[学会発表] (計 20 件)

- ① 市橋琢弥, 梅津光生, 植松美幸, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 術前・術中画像の統合的利用によるステントグラフト留置支援システムの開発, 第 24 回バイオエンジニアリング講演会 (2012. 1. 7-8) (大阪)
- ② 青見茂之: 人工血管 Triplex の使用経験, 第 49 回日本人工臓器学会 (招待講演) (2011. 11. 25-27) (東京)
- ③ 青見茂之: 大動脈基部再建術, 第 39 回日本血管外科学会学術総会 (2011. 4. 20-22) (沖縄)
- ④ 米沢数馬, 青見茂之ほか: 弓部置換術における大口径人工血管トリプレックスの使用経験, 第 39 回日本血管外科学会学術総会 (2011. 4. 20-22) (沖縄)
- ⑤ 富岡秀行, 青見茂之ほか: 弓部大動脈瘤手術時の脳保護法(高度粥状硬化症例についての工夫を中心として), 第 39 回日本血管外科学会学術総会 (2011. 4. 20-22) (沖縄)
- ⑥ 植松美幸, 梅津光生, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 大血管手術用 TAAA Navigator の構築と臨床に向けた評価, 第 20 回日本コンピュータ外科学会 (2011. 11. 22-24) (横浜)
- ⑦ 許家群, 植松美幸, 梅津光生, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 大動脈ステントグラフト留置のための血管位置同定システム, 第 50 回日本生体医工学会 (2011. 4. 29-5. 1) (東京)
- ⑧ 寶亀亮悟, 青見茂之ほか: 今野手術後の胸部大動脈仮性瘤に対し緊急手術し、救命しえた 1 例, 第 154 回日本胸部外科学会関東甲信越地方会 (2010. 11. 13) (東京)
- ⑨ 許家群, 植松美幸, 梅津光生, 東隆, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 大動脈ステントグラフト留置を支援する画像表示システムの開発, 日本生体医工学

会関東支部若手研究者発表会 2010  
(2010. 11. 27) (東京)

- ⑩ 植松美幸, 梅津光生, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 臨床現場で学んだ経験をもとに使いやすさ向上を狙った大血管ナビゲーションシステム, 第48回日本人工臓器学会 (2010. 11. 18-20) (仙台)
- ⑪ 植松美幸, 梅津光生, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 胸腹部領域を対象にしたナビゲーションシステムの臨床応用の現状と課題, 第19回日本コンピュータ外科学会 (2010. 11. 2-4) (福岡)
- ⑫ 許家群, 植松美幸, 梅津光生, 東隆, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 大動脈ステントグラフト挿入術を支援する血管輪郭表示システム, 第19回日本コンピュータ外科学会 (2010. 11. 2-4) (福岡)
- ⑬ 坂本怜, 植松美幸, 梅津光生, 飯村浩, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 標的血管の位置合わせ誤差を軽減するためのレジストレーション法の比較検討, 第19回日本コンピュータ外科学会 (2010. 11. 2-4) (福岡)
- ⑭ 植松美幸, 梅津光生, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 体表レジストレーションの導入による手術ナビゲーションシステム運用の改善, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2010 (2010. 9. 18-20) (大阪)
- ⑮ 植松美幸, 梅津光生, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 目標血管位置の特定のための皮下組織厚の影響縮小による位置決め誤差の削減, 生体医工学シンポジウム 2010 (2010. 9. 10-11) (札幌)
- ⑯ 植松美幸, 梅津光生, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: ベイズ推定に基づく皮下組織厚補正を用いた体表上の解剖学的特徴点ベースのレジストレーション, 第49回日本生体医工学会大会 (2010. 6. 25-27) (大阪)
- ⑰ 坂本怜, 植松美幸, 中野喜隆, 許家群, 梅津光生, 飯村浩, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 解剖学的特徴点を用いたレジストレーションにおける皮下組織厚に依存する誤差計測, 第49回日本生体医工学会大会 (2010. 6. 25-27) (大阪)
- ⑱ 許家群, 植松美幸, 梅津光生, 飯村浩, 青見茂之, 中村亮一, 鈴木孝司, 村垣善浩ほか: 大動脈ステントグラフト術のための自動画像セグメンテーション, 第49回日本生体医工学会大会 (2010. 6. 25-27) (大阪)
- ⑲ 東隆, 青見茂之, 富岡秀行, 山崎健二: Preventive aortic root and asc aorta replacement increases the chance of

survival in Marfan patient, 第38回日本血管外科学会 (2010. 5. 20-22) (大宮)

- ⑳ 齋藤聡, 青見茂之, 富岡秀行, 佐々木英樹, 山崎琢磨, 植松美幸ほか, MDCTを用いた術中navigation systemを用いた胸腹部大動脈瘤手術 選択的肋間動脈再建, 第39回日本心臓血管外科学会総会 (2009. 4. 22-24) (富山)

[図書] (計1件)

- ① 青見茂之, マルフアン症候群: 井村裕夫ほか編, 症候群ハンドブック, 中山書店, 172-173 (2011)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

青見 茂之 (AOMI SHIGEYUKI)  
東京女子医科大学・医学部・准教授  
研究者番号: 30183726

### (2) 研究分担者

梅津 光生 (UMEZU MITSUO)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号: 90132927

中村 亮一 (NAKAMURA RYOICHI)  
千葉大学・大学院工学研究科・特任准教授  
研究者番号: 30366356

鈴木 孝司 (SUZUKI TAKASHI)  
東京女子医科大学・医学部・助教  
研究者番号: 00468688

植松 美幸 (UEMATSU MIYUKI)  
国立医薬品食品衛生研究所・医療機器部・主任研究官  
研究者番号: 10424813

### (3) 連携研究者

村垣 善浩 (MURAGAKI YOSHIHIRO)  
東京女子医科大学・医学部・教授  
研究者番号: 70210028