

確保優先を基本方針とした。

C. 研究結果

術前の AKA-SA は Th7:1 例、Th9:7 例、Th10:10 例、T11:7 例、Th12:6 例、L1:2 例であった。ステントグラフト(SG)にて AKA-SA を閉塞させた症例は 21 例 (63.6%) で、AKA-SA の閉鎖有無を問わず、術後対麻痺を認めた症例は無かった。術後 CTA にて AKA-SA を再確認した症例は 11 例で、いずれも新たに側副血行路が形成されていた。SG 展開後、MEP 電位変化を認めたのは 3 例 (9%) で、1 例に MEP の消失および 2 例に MEP 電位の低下 (10%・60%) を認めた。いずれも昇圧剤投与により、平均血圧を 90~100mmHg 以上に維持することで MEP 波形が出現、振幅も速やかに復帰し、術後対麻痺を認めていない。3 例とも AKA-SA 閉鎖した症例で、内 2 例は対麻痺ハイリスク症例(胸腹部置換術後)であった。

D. 考察

我々は胸部下行・胸腹部大動脈瘤の Open 手術の際に対麻痺予防策として 1) 大動脈遮断遠位側灌流 (Distal perfusion) の維持、2) 多分節大動脈遮断(Multiple aortic clamping)、3) より多くの分節動脈再建、4) 腹部主要分枝の灌流、5) SEP、MEP による術中モニター、6) 術中脊髄虚血の回避を目的として遮断大動脈分節内の分節動脈灌流を行い、その有用性を報告してきた。同様の考え方から、ステントグラフト内挿術において脊髄虚血を回避するため我々は、1)左鎖骨下動脈温存もしくは再建し、2)術中平均血圧を 80mmHg 以上で維持し、AKA-SA 閉鎖に関しては、中枢・末梢ランディングゾーン確保優先を基本方針としてきた。結果として SG 展開後、MEP 電位変化を認めたのは 3 例 (9%) で、いずれも昇圧剤投与により、平均血圧を 90~100mmHg 以上に維持することで MEP 波形が出現、振幅も速やかに復帰し、術後対麻痺を認めていない。この基本方針

は妥当であると思われた。

また、TEVAR においても術中 MEP モニターは、脊髄虚血を反映すると考えられ、術中に迅速に対応することができ、術後対麻痺予防策の一つとなることが示唆された。

E. 結論

1) ランディングゾーン確保優先を念頭とした、AKA-SA 閉鎖は妥当と考えられた。2) TEVAR においても術中 MEP モニターは、脊髄虚血を反映すると考えられ、術中に迅速に対応することができ、術後対麻痺予防策の一つとなることが示唆された。特に対麻痺ハイリスク症例では、術前 AKA 同定は必須であり、厳重な術中・術後管理が肝要と思われた。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

特に無し

2. 学会発表

永野貴昭、戸塚裕一、神谷知里、新垣涼子、前田達也、喜瀬勇也、仲栄真盛保、盛島裕次、新垣勝也、山城 聡、國吉幸男。TEVAR における術前 AKA 同定および術中 MEP モニターの意義。第 41 回日本心臓血管外科学会学術総会。舞浜、2011.2.23-25

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得

特になし

2. 実用新案登録

特になし

3. その他

特になし

厚生労働科学研究補助金(循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業)
分担研究報告書

脊髄障害防止の観点からみた胸部下行・胸腹部大動脈瘤外科治療ないしは
ステントグラフト治療体系の確立

荻 野 均 田 中 裕 史 松 田 均 佐 々 木 啓 明
伊 庭 裕 山 田 直 明 大 西 佳 彦

研究要旨:胸部下行・胸腹部大動脈手術において、術前の MRI や CT による Adamkiewicz 動脈の同定実施が胸部下行・胸腹部大動脈手術およびステントグラフト治療中の脊髄障害発生に与える影響(発生防止のための有効性)について多施設で検討する。同時に、脊髄障害発生に与える要因を検討することにより、脊髄障害発生率の軽減、治療成績の向上を目的とする。さらに、Adamkiewicz 動脈の同定に関して、部位、同定可能割合について多施設共同コホート研究(前向きおよび後ろ向き)にて調査し、同定技術の向上につなげる。

A. 研究目的

近年、大動脈瘤外科治療全体の成績向上が得られているが、胸腹部大動脈瘤の外科治療は手術侵襲も大きく成績は決して良好とは言えない。特に、術中の脊髄障害(対麻痺)は重要な問題で、広範囲胸腹部大動脈手術においては 10~20%の頻度で発生し、やや低いとされるステントグラフト治療においても 5~10%に発生する。したがって従来より、① 軽度低体温下の部分体外循環や左心バイパスによる下半身灌流法あるいは超低体温下の循環停止法、② MRI・CTを用いた Adamkiewicz 動脈の同定、③ 運動誘発電位(motor evoked potential、MEP)などによる術中脊髄虚血のモニタリング、④ 肋間・腰動脈の温存・再建、⑤ 脳脊髄液ドレナージ、⑥ 薬物療法、など様々な脊髄障害防止対策が試みられてきた。しかしながら、明らかなエビデンスに乏しく、一施設での症例数にも限界があり、各施設で独自の防止対策を行っているのが現状で、未だ標準化された脊髄障害防止対策の確立に至っていない。そのような中で、脊髄

の栄養血管として主に第8胸椎から第1腰椎の範囲の大動脈から分岐し肋間(腰)動脈を経て脊髄前面に至る Adamkiewicz 動脈が存在し、脊髄障害の防止のためにはその血行再建の必要性が指摘されている。しかしながら、術中限られた時間内で、手がかりもなく Adamkiewicz 動脈へとつながる責任肋間(腰)動脈を正確に同定し、かつその血行再建を成功させることは容易なことではない。したがって、術前に Adamkiewicz 動脈を MRI・CT により脊髄への血流パターンを把握することは、確実な Adamkiewicz 動脈血行再建を含め手術全体の戦略を立てる上で極めて有用と考える。本研究の目的は、胸部下行・胸腹部大動脈手術において、術前の MRI・CT による Adamkiewicz 動脈の同定実施が脊髄障害発生に与える影響(発生防止のための有効性)について検討する。さらに、胸部下行・胸腹部大動脈手術およびステントグラフト治療における脊髄障害発生に与える要因を検討することにより、脊髄障害発生率の軽減、治療成績の向上を目的とする。

B. 研究方法

① 胸部下行・胸腹部大動脈手術もしくはステントグラフト治療を施行された(る)患者において、MRI・CTによる Adamkiewicz 動脈の同定実施が脊髄障害発生に与える影響を多施設共同コホート研究（前向きおよび後ろ向き）にて検討する。② 胸部下行・胸腹部大動脈手術もしくはステントグラフト治療を施行される患者において、脊髄障害および院内死亡の発生に影響を与える要因について多施設共同コホート研究(前向き)にて検討する。③ Adamkiewicz 動脈の同定に関して、部位、同定可能割合について多施設共同コホート研究(前向きおよび後ろ向き)にて調査する。

1) 研究対象: ① 胸部下行、胸腹部大動脈手術もしくはステントグラフト治療を施行された患者、② 2000 年 1 月から 2010 年 12 月までに手術を施行された患者、③ 倫理委員会承認後に登録を行う患者に対しては、同意能力があり、自ら同意文書に署名できる患者

2) 研究デザイン: 多施設共同コホート研究(13 施設)

3) 目標症例数: ① 下行大動脈瘤 1,100～1,320 例、

② 胸腹部大動脈瘤 550～770 例

4) 評価項目:

主要評価項目: 退院までの脊髄障害発生割合

副次評価項目:

(1) Adamkiewicz 動脈の同定方法

(2) Adamkiewicz 動脈の部位

(3) Adamkiewicz 動脈の同定可能割合

(4) 手術による院内死亡割合

(5) 合併症の発生割合

(6) 下記項目の評価

① 手術: 術式(置換範囲)、補助手段、循環停止時間、心筋虚血時間、体外循環時間、手術時間、麻酔時間

② 出血: 術後出血、輸血量(MAP、FFP)、血小板輸血

③ 回復: 挿管時間、ICU 滞在日数、術後入院期間

④ 遠隔期調査における死亡割合、など

(倫理面への配慮)

本研究はヒトを対象とした臨床研究であり、ヘルシンキ宣言に基づく倫理原則、臨床研究に関する倫理指針、疫学研究に関する倫理指針、ならびに本邦における法的規制要件を遵守し実施する。患者を登録する前に、研究実施計画書について、各施設に倫理委員会または審査委員会から文章による承認を得る。患者への同意・説明文書には、試験データは研究者により厳重に保護される旨説明される。前向き研究においては、研究担当医師は、登録までに本研究についての内容を患者本人に説明し、参加について文書による同意を患者本人より得るものとする。同時に、当該研究の目的を含む研究の実施についての情報を公開し、研究対象者となる者が研究対象者となることを拒否できるように配慮する。また、実施計画書は、患者本人の希望により、いつでも閲覧できることとする。本研究で得られた個人情報や画像情報も含め厳重に保護し、個人を特定できる情報は開示しないなど取り扱いには十分留意する。本研究は研究対象者の自発的同意と協力により行い、その段階でも同意を撤回拒否でき、拒否による不利益はないものとする。

C. 研究結果

2000 年 1 月から 2010 年 12 月までに施行された症例 432 例を登録した。手術症例 330 例、ステントグラフト 132 例。脊髄障害の発生率は 4.2%、3.0%。Adamkiewicz 動脈の同定率は 81%、64%。Adamkiewicz 動脈の同定と脊髄障害の発生には相関はなかった。

D. 考察

われわれは登録開始の 2000 年より、Adamkiewicz 動脈の同定をはじめており、同定検査が施行されなかった症例では、脊髄障害のリスクが低いと思われる症例が多く含まれている可能性がある。さらに詳細な、置換範囲、Adamkiewicz 動脈の位置等の検討を加える必要があると思われる。

E. 結論

当院での登録データのための検討では Adamkiewicz 動脈の同定と脊髄障害との間に相関は認めなかったが、今後さらに詳細な検討が必要と思われた。

F. 健康危険情報

なし。

G. 研究発表

1) 論文発表

1. Ogino H. 1. Is Hypothermia a reliable adjunct for spinal cord protection in descending and thoracoabdominal aortic repair with regional or systemic cooling? 2010. Gen Thorac Cardiovasc Surg. 58(5): 220-2 (Editorial)
2. Matsuda H, Ogino H., Fukuda T, Iritani O, Sato S, Iba Y, Tanaka H, Sasaki H, Minatoya K, Kobayashi J, Yagihara T: Multidisciplinary approach to prevent spinal cord ischemia after thoracic endovascular aneurysm repair for distal descending aorta. Ann Thorac Surg. 90(2):561-5. 2010.
3. Matsuda H, Fukuda T, Iritani O, Nakazawa T, Tanaka H, Sasaki H, Minatoya K, Ogino H. Spinal cord injury is not negligible after TEVAR for lower descending aorta. Eur J Vasc Endovasc Surg. 39(2):179-86. 2010.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし。

2. 実用新案登録

なし。

3. その他

なし。

III. 研究成果の刊行物・別刷

Images in cardio-thoracic surgery

Three-dimensional demonstration of the collateral circulation to the artery of Adamkiewicz via the thoracodorsal artery with multi-slice computed tomography angiography

Kunihiro Yoshioka ^{a,*}, Ryoichi Tanaka ^a, Takeshi Kamada ^b, Akihiko Abiko ^c

^a Department of Radiology, Iwate Medical University, Morioka, Japan

^b Department of Cardiovascular Surgery, Iwate Medical University, Morioka, Japan

^c Department of Cardiology, Iwate Medical University, Morioka, Japan

Received 17 August 2009; accepted 18 November 2009; Available online 24 December 2009

Keywords: Thoracodorsal artery; The artery of Adamkiewicz; Aneurysm; Computed tomography; Spinal cord

A 59-year-old woman with a thoraco-abdominal aortic aneurysm was hospitalised and scheduled to undergo endovascular aneurysm repair. Computed tomography (CT)

angiography using 64-row multi-slice CT clearly demonstrated the artery of Adamkiewicz and its collateral circulation via the left thoracodorsal artery (Figs. 1 and 2).

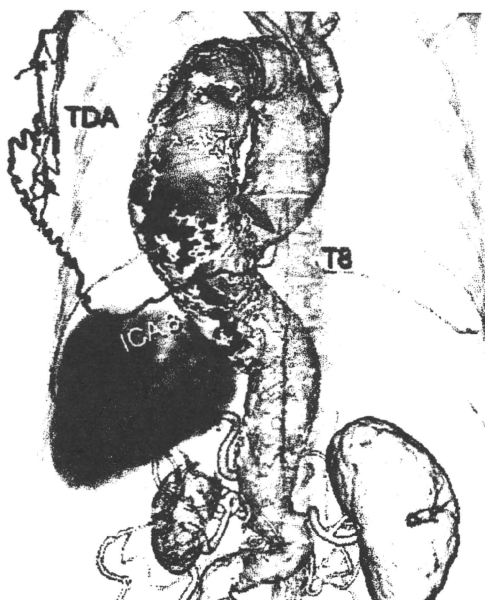


Fig. 1. The posterior view of volume-rendering image with semitransparent skeletal system shows that the left 8th intercostal artery (ICA 8), which is the origin of the artery of Adamkiewicz (arrow), is occluded proximally at the aorta. This image also shows collateral circulation from the left thoracodorsal artery (TDA) to ICA 8. T8: 8th thoracic vertebra.

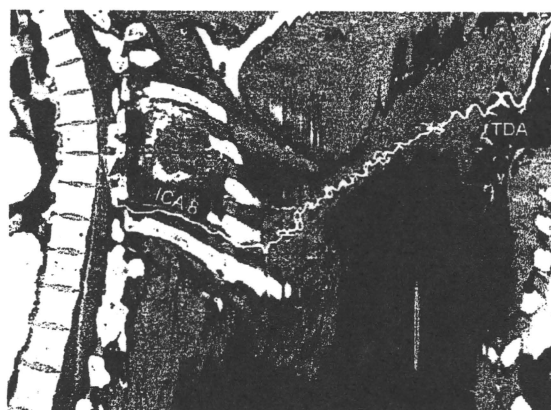


Fig. 2. A curved planar reformatted image shows full continuity from the TDA to the artery of Adamkiewicz (arrow) via ICA 8.

* Corresponding author. Address: Department Radiology, Iwate Medical University, 19-1, Uchimaru, Morioka, Iwate, 020-8505, Japan.
Tel.: +81 19 651 5111; fax: +81 19 624 8384.
E-mail address: kyoshi@iwate-med.ac.jp (K. Yoshioka).

Images in cardio-thoracic surgery

Three-dimensional demonstration of the collateral circulation to the artery of Adamkiewicz via the thoracodorsal artery with multi-slice computed tomography angiography

Kunihiro Yoshioka^{a,*}, Ryoichi Tanaka^a, Takeshi Kamada^b, Akihiko Abiko^c

^a Department of Radiology, Iwate Medical University, Morioka, Japan

^b Department of Cardiovascular Surgery, Iwate Medical University, Morioka, Japan

^c Department of Cardiology, Iwate Medical University, Morioka, Japan

Received 17 August 2009; accepted 18 November 2009; Available online 24 December 2009

Keywords: Thoracodorsal artery; The artery of Adamkiewicz; Aneurysm; Computed tomography; Spinal cord

A 59-year-old woman with a thoraco-abdominal aortic aneurysm was hospitalised and scheduled to undergo endovascular aneurysm repair. Computed tomography (CT)

angiography using 64-row multi-slice CT clearly demonstrated the artery of Adamkiewicz and its collateral circulation via the left thoracodorsal artery (Figs. 1 and 2).

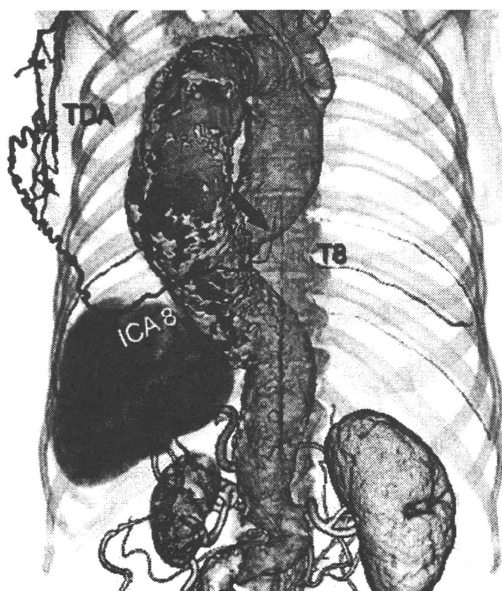


Fig. 1. The posterior view of volume-rendering image with semitransparent skeletal system shows that the left 8th intercostal artery (ICA 8), which is the origin of the artery of Adamkiewicz (arrow), is occluded proximally at the aorta. This image also shows collateral circulation from the left thoracodorsal artery (TDA) to ICA 8. T8: 8th thoracic vertebra.

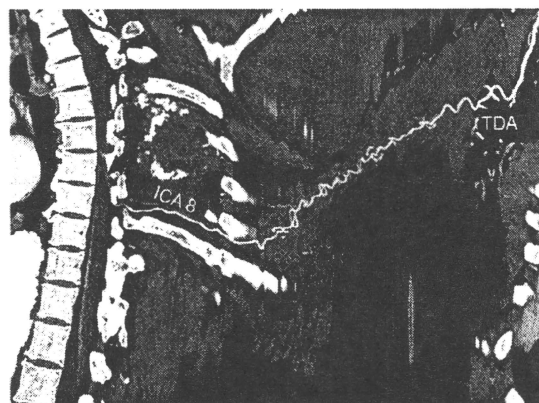


Fig. 2. A curved planar reformatted image shows full continuity from the TDA to the artery of Adamkiewicz artery (arrow) via ICA 8.

* Corresponding author. Address: Department Radiology, Iwate Medical University, 19-1, Uchimaru, Morioka, Iwate, 020-8505, Japan.
Tel.: +81 19 651 5111; fax: +81 19 624 8384.
E-mail address: kyoshi@iwate-med.ac.jp (K. Yoshioka).

Images in cardio-thoracic surgery

Three-dimensional demonstration of the collateral circulation to the artery of Adamkiewicz via the thoracodorsal and inferior phrenic arteries

Kunihiro Yoshioka ^{a,*}, Ryoichi Tanaka ^a, Takeshi Kamada ^b, Yuhjiroh Naganuma ^c

^a Department of Radiology, Iwate Medical University, Morioka, Japan

^b Department of Cardiovascular Surgery, Iwate Medical University, Morioka, Japan

^c Department of Cardiology, Iwate Medical University, Morioka, Japan

Received 8 February 2010; received in revised form 24 March 2010; accepted 1 April 2010; Available online 18 May 2010

Keywords: Thoracodorsal artery; Inferior phrenic artery; The artery of Adamkiewicz; Computed tomography; Thoracic endovascular aneurysm repair

A 75-year-old woman with a thoracic aortic aneurysm (Fig. 1) was admitted for thoracic endovascular aneurysm repair (TEVAR). TEVAR was performed successfully without

spinal cord ischaemia. Postoperative computed tomography demonstrated collateral blood flow to the artery of Adamkiewicz via the bilateral thoracodorsal arteries and left inferior phrenic artery (Fig. 2).

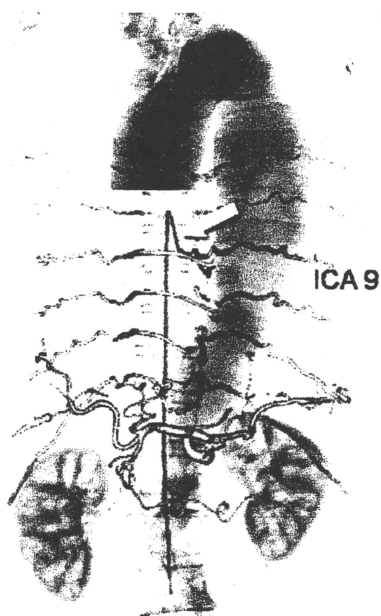


Fig. 1. Preoperative evaluation of the thoracic aortic aneurysm and the artery of Adamkiewicz using a 64-slice computed tomography. The anterior view of volume-rendered image with semitransparent aorta and skeletal system shows the artery of Adamkiewicz (arrow) originating from the left 9th intercostal artery (ICA 9). The heart and ascending aorta are electronically removed to show the artery of Adamkiewicz.

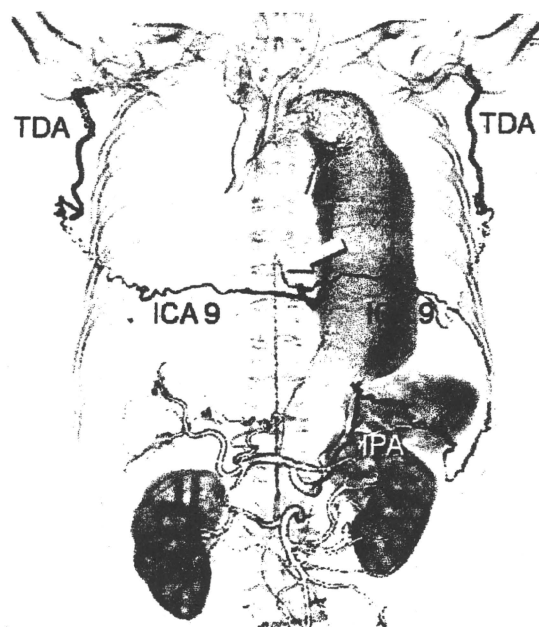


Fig. 2. Postoperative evaluation using the same computed tomography unit. The anterior view of volume-rendered image with semitransparent aorta and skeletal system shows the artery of Adamkiewicz (arrow) and occluded left 9th intercostal artery at the ostium, which is covered by the stent-graft. The image also shows collateral blood flow to the artery of Adamkiewicz from the bilateral 9th intercostal arteries (ICA 9) via the bilateral thoracodorsal arteries (TDA) and left inferior phrenic artery (IPA).

* Corresponding author. Address: Department of Radiology, Iwate Medical University, 19-1 Uchimaru, Morioka, Iwate 020-8505, Japan. Tel.: +81 19 651 5111; fax: +81 19 624 8384.

E-mail address: kyoshi@iwate-med.ac.jp (K. Yoshioka).

術後の対麻痺を回避するための取り組み

鎌田 武
田中良一湊谷謙司
吉岡邦浩脇本将寛
安孫子明彦門崎 衛
岡林 均*

はじめに

胸部下行大動脈瘤に対する胸部ステントグラフト内挿術 (TEVAR) 後の対麻痺, 膀胱直腸障害といった脊髄虚血 (SCI) は, 患者の QOL を著しく低下させる重篤な合併症の一つである. TEVAR 後 SCI の発生率は 2.5~10.0% と報告^{1~5)} によりばらつきがあるものの, 一般的に従来の人工血管置換術の発生率と比較し低い傾向にあると考えられてきた. Bavaria ら⁶⁾ は, TEVAR と人工血管置換術では有意差をもって TEVAR のほうが術後の SCI の発生率が低い (TEVAR: 3%, 人工血管置換術: 14%) と報告した. その一方で 2007 年の Coselli ら⁷⁾ の報告から, 2,286 例の胸腹部大動脈瘤術後の SCI の発生率は 3.8% であり, TEVAR 後の SCI の発生率が必ずしも人工血管置換術と比較して低いとは限らないと考えられる. 術後 SCI の危険因子については, 腹部大動脈瘤術後³⁾, 腹部大動脈瘤の合併⁸⁾, 年齢⁵⁾, 性別⁸⁾, 長いステントグラフトの留置範囲⁴⁾, 左鎖骨下動脈の閉塞¹⁾, 術中・術後の低血圧²⁾ などさまざまな報告がなされ, 現状では術後 SCI 発生の詳細なメカニズムは解明されていない. そこでわれわれは, TEVAR 後の SCI を回避するため次のような取り組みを行っている.

- 1) Adamkiewicz 動脈の術前評価.
- 2) Adamkiewicz 動脈への側副血行路形成を

意識した TEVAR の留置計画.

- 3) 術中 MEP 測定とそれを考慮した麻酔計画.
- 4) 脊髄灌流圧の維持.
- 5) 脳脊髄液 (CSF) ドレナージ.

これらの取り組みについて, いくつかの具体的な症例を提示しながら報告する.

I. Adamkiewicz 動脈の術前評価

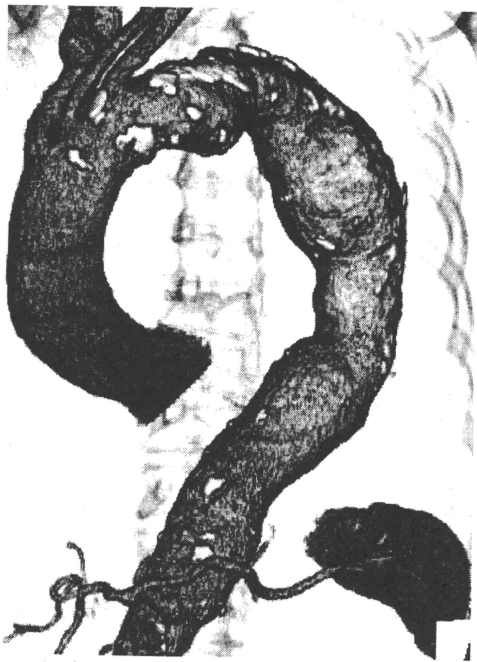
TEVAR 後の SCI の発生率が人工血管置換術と比較し必ずしも低いとはいえず, その発生メカニズムもはっきり解明されていないことは前述した. そのためわれわれは術前に CTA や MRA を用いて, 脊髄への重要な血液供給路である Adamkiewicz 動脈とそれに連続する肋間動脈 (CSA) を同定し, その CSA を可能な限り温存するようにステントグラフトを留置している. CSA の分岐位置と胸部大動脈瘤の位置関係から, ステントグラフトの留置範囲の決定に苦慮した症例を提示する.

症例 1 73 歳, 男.

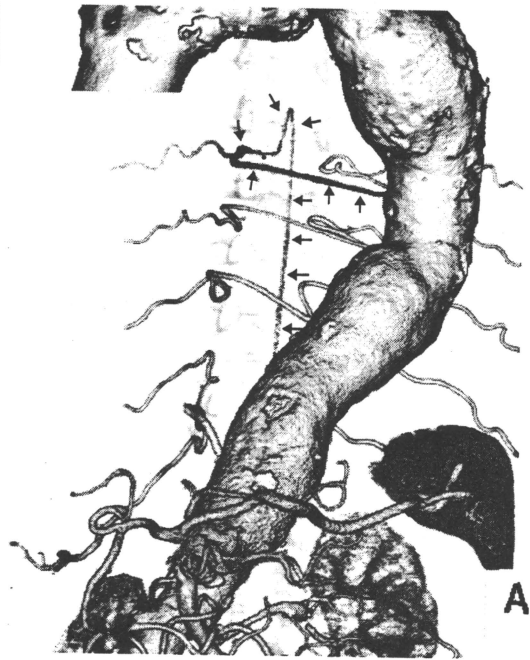
胸部下行大動脈に最大短径 60 mm の紡錘状動脈瘤を認め, Th9 より末梢の胸部下行大動脈も約 40 mm の拡張を認めた (図 1a). 術前 CTA では Adamkiewicz 動脈は右 Th7 の肋間動脈から連続 (図 1b) していたが, 大動脈から分岐する起始部に狭窄を認め (図 1c), 左 Th10 から前脊髄動脈への側副血行路の形成を認めた (図

キーワード: TEVAR, Adamkiewicz 動脈, 脊髄虚血, 予防

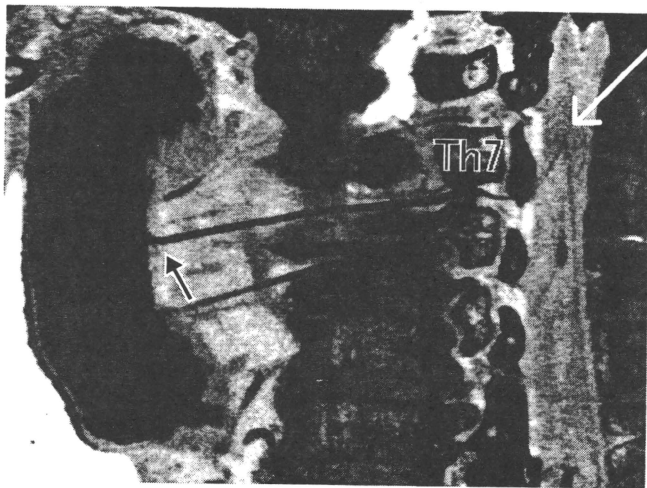
* T. Kamada, K. Minatoya (講師)〈心臓血管外科〉, M. Wakimoto, M. Kadosaki (准教授)〈麻酔科〉, R. Tanaka (講師), K. Yoshioka (准教授)〈循環器放射線科〉, A. Abiko (心臓血管・腎・内分泌外科), H. Okabayashi (教授)〈心臓血管外科〉: 岩手医科大学.



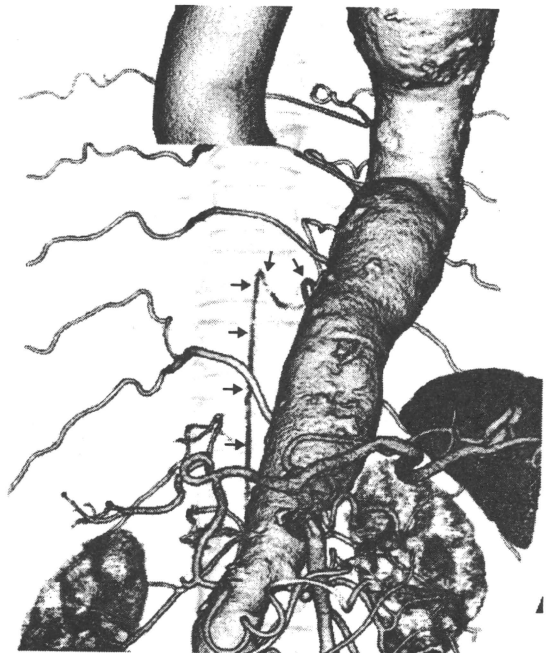
a. 胸部下行大動脈に最大短径 60 mm 大の紡錘状動脈瘤と、Th9 より末梢に 40 mm 大の拡張病変を認める。



b. Adamkiewicz 動脈は右 Th7 肋間動脈より連続している。



c. Th7 肋間動脈は大動脈から分岐する起始部に狭窄病変を認める (矢印)。



d. 左 Th10 から前脊髄動脈への側副血行路を認める。

図 1. 症例 1. 画像所見

1d).

本例の場合、拡張した下行大動脈全体をステントグラフトでカバーすると Th7, Th10 両者を塞ぐこととなる。ステントグラフトの留置範囲の長さ⁴⁾や末梢留置位置⁵⁾が、術後 SCI の危険因子に

なるとの報告があり、本例において Th7, Th10 双方をステントグラフトで閉塞することは、術後対麻痺発生の高リスクと判断された。そのため Th8 レベルで約 2 cm の landing zone を確保し、ステントグラフトを留置することとした。術後に

SCIの所見はなく、また術後造影検査でエンドリークも認めなかった。術前のAdamkiewicz動脈とCSAの同定が、ステントグラフトの留置範囲を決定するうえで重要な鍵となる症例であった。TEVARの場合、人工血管置換術と異なりCSAを再建することができないため、術前にCSAを同定し可能な限りそれを温存する治療計画は、術後SCIを予防する重要な要素の一つであると考えられる。

II. Adamkiewicz 動脈への側副血行路形成を意識した TEVAR の留置計画

術前同定したCSAが胸部大動脈瘤そのものから分岐している症例や、CSAを温存するとlanding zoneが短くエンドリークが強く危惧される症例では、やむをえずステントグラフトでCSAを閉塞することとなる。CSAをステントグラフトで閉塞しても必ずしも術後SCIを発生するとは限らないが、Kawaharadaら⁹⁾はCSAをステントグラフトで閉塞した症例で約10%に術後SCIの所見を認めたと報告している。同報告では、CSAを温存した症例では術後SCIは認めていないことから、CSAの閉塞はSCIの危険因子と考えられる。CSAを閉塞したにもかかわらず術後SCIが発生しない背景として、CSA閉塞後のAdamkiewicz動脈への新たな側副血行路の形成が指摘¹⁰⁾されている。われわれが経験した症例を提示する。

症例2 62歳、男。

胸部下行大動脈（気管分岐部の高さ）に最大短径48mmの動脈瘤を認め、その末梢（横隔膜の高さ）に最大短径65mm大の嚢状動脈瘤を認めた（図2a）。Adamkiewicz動脈は左Th10肋間動脈から分岐していた。動脈瘤とTh10肋間動脈が近く温存は困難であったため、やむをえずこれを閉塞することとし、ステントグラフトは大動脈弓部から腹腔動脈直上まで留置した。術後造影でエンドリークは認めなかった（図2b）。左Th10肋間動脈はステントグラフトにより起始部は閉塞していたが、大動脈の近位部から全長にわたり描出され、Adamkiewicz動脈への連続性を認めた（図2c）。

本例ではCSA閉塞後に新たな側副血行路が形成され、Adamkiewicz動脈への灌流が維持され

ていたことがわかる。しかしながら現在、CSA閉塞後に確実にAdamkiewicz動脈への側副血行路が形成されるかどうか、また側副血行路が形成されたとしても、どこからAdamkiewicz動脈へ灌流されるかは、術前から予測することは困難である。CSA閉塞後の側副血行路としては、Yoshiokaらの報告¹¹⁾が参考となる。Yoshiokaらは、高度の動脈硬化により約23%の頻度でAdamkiewicz動脈を分岐する肋間動脈が大動脈の起始部で閉塞し、側副血行路が形成されていると報告しており、新たに形成された側副血行路として肋間動脈の筋枝¹²⁾、内胸動脈¹³⁾、左胸背動脈¹⁴⁾をあげている。われわれはこれらの報告をもとにステントグラフトの留置範囲を決定している。すなわちステントグラフトによりCSAを閉塞する症例では、できる限り閉塞するCSA近傍の肋間動脈を温存し、左鎖骨下動脈の血流も温存することに留意している。このようなCSA閉塞後の側副血行路の形成を意識したlanding zoneの設定も、術後のSCIを予防する一つの重要な要素であると考えている。

III. 運動誘発電位（motor evoked potential : MEP）の術中モニタリング

MEPを術中施行することで、虚血性脊髄神経障害の発生を早期に疑うことができる。TEVAR施行時にMEPの低下を認めた場合には、術後SCI発症の可能性を念頭におき、早期に血圧のコントロールを行いSCIの予防に最善を尽くす必要がある。またCSA近傍にステントグラフトを留置した症例では、ステントグラフト留置後のバルーンによる圧着（touch up）の際、MEPが一過性に低下することがある。多くはバルーンによるCSAの一時的な閉塞によるMEPの低下と考えられるが、CSA近傍でのtouch upは、plaque shiftによるCSAへの塞栓症の可能性もあるため、十分な注意が必要である。またMEPモニタリングが適正に行われるための麻酔計画も重要となるが、その詳細は後述することとする。

IV. 脊髄灌流圧の維持

脊髄を栄養する血管は単一ではなく、数多くの側副血行路が存在する（collateral network concept）ことが明らかになってきた。ステントグラ



a. 胸部下行大動脈（気管分岐部の高さ）に最大短径 48 mm, 横隔膜の高さに 65 mm 大の動脈瘤を認める.



b. 大動脈弓部から腹腔動脈直上までステントグラフトを留置し、エンドリークは認めていない.



c. 左 Th 10 肋間動脈はステントグラフトで起始部は閉塞しているが、近位部から描出され、Adamkiewicz 動脈への連続性が確認される.

図 2. 症例 2. 画像所見

フト留置により一部の脊髄栄養血管が閉塞しても、残った側副血行路からの血流を生かすことで SCI を回避できる可能性がある。観血的動脈圧・中心静脈圧のモニタリングを行い、適切な前負

荷・後負荷コントロールにより動脈圧を比較的高く（平均動脈圧 80 mmHg 以上）維持し、低灌流を避けることが重要である。また脊髄灌流圧は動脈圧と脳脊髄圧との差によって決定されるため、

症例に応じて脳脊髄液ドレナージ (CSF ドレナージ) を併用することで、脊髄へのさらなる血流増加が期待できる。

V. 神経学的モニタリングおよび それを考慮した麻酔計画

MEP は吸入麻酔薬・筋弛緩薬・硬膜外麻酔の影響を受けるため、モニタリングを妨げず利用するためには麻酔法も考慮する必要がある。吸入麻酔薬は濃度に応じて MEP を抑制するため、偽陽性 (脊髄虚血がないにもかかわらず MEP が消失する) の原因となる。これを避けるため、吸入麻酔薬濃度は執刀前から一定 (sevoflurane で 0.5~1.0% 程度) とし、変化させない。同時に短時間作用性の静脈麻酔薬 (propofol) を併用し、麻酔深度の変更が必要な場合にはこれを増減する。筋弛緩薬は末梢神経・筋接合部で運動神経遮断作用をもち、やはり MEP 偽陽性の原因となるため、蓄積性がなく比較的短時間のうちに作用が消失するもの (rocuronium) を選択し、かつ気管挿管時に必要最低限の量 (0.6 mg/kg) を用いるのみとして術中は追加投与しない。一方で、MEP 測定時の経頭蓋電気刺激の侵襲はそれほど小さくなく、麻酔深度が不足している場合は容易に体動を生じるため、超短時間作用性の麻薬性鎮痛薬 (remifentanyl : 0.25~0.50 μ g/kg/分) を用いて十分な鎮静を図る。硬膜外麻酔は手術創の大きな症例において有効な鎮痛法であるが、硬膜外に投与された局所麻酔薬はその一部が硬膜を通して脊髄神経に作用するため、こちらも MEP 偽陽性の原因となりうる。術中は前述のとおり、remifentanyl による鎮静を図り、硬膜外麻酔は術後鎮痛法と割り切って使用する。

VI. 脳脊髄液 (CSF) ドレナージ

山田¹⁵⁾は、CSF ドレナージによる合併症として穿刺部の硬膜外血腫、髄膜炎、頭蓋内の硬膜外血腫などを報告しており、Weaver ら¹⁶⁾は 3.2% で血腫による神経障害が出現したと報告している。当院では TEVAR の際の CSF ドレナージチューブの留置を以前は手術前日に行っていた。しかし、前述したような CSF ドレナージチューブ留置による合併症の可能性があること、当院での経験から TEVAR 時に CSA が完全に温存でき

た症例では術後 SCI を認めていないこと、Kawaharada ら⁹⁾も同様の結果を報告していることが根拠となり、現在は術後に対麻痺の症状が出現した場合に CSF ドレナージを行うことにしている。なお TEVAR 時に CSA をステントグラフトで閉塞する症例にのみ、術前から CSF ドレナージチューブの留置を行っている。

おわりに

1) TEVAR は人工血管置換術と比べ低侵襲であり、高齢者や高リスク例を中心に治療が行われ始め、現在はその対象例や解剖学的適応範囲が拡大しつつある。

2) 一方で、TEVAR 後の SCI に関する発生率、発生機序、危険因子などは未知な点も多く、今後の解明がまつれるところである。

3) CSA を術中再建できない TEVAR では、CSA の温存を心がけるステントグラフトの留置計画はもちろん、麻酔、術後管理を含めた全身管理など、多角的に SCI 予防に取り組むことが重要であると考えられた。

文 献

- 1) Buth J, Harris PL, Hobo R et al : Neurologic complications associated with endovascular repair of thoracic aortic pathology : incidence and risk factors : a study from the European Collaborators on Stent/Graft Techniques for Aortic Aneurysm Repair (Eurostar) registry. *J Vasc Surg* **46** : 1103-1111, 2007
- 2) Chiesa R, Melissano G, Marrocco-Trischitta MM et al : Spinal cord ischemia after elective stent-graft repair of the thoracic aorta. *J Vasc Surg* **42** : 11-17, 2005
- 3) Cheung AT, Pochettino A, McGarvey ML et al : Strategies to manage paraplegia risk after endovascular stent repair of descending thoracic aortic aneurysms. *Ann Thorac Surg* **80** : 1280-1289, 2005
- 4) Amabile P, Grisoli D, Giorgi R et al : Incidence and determinants of spinal cord ischaemia in stent-graft repair of the thoracic aorta. *Eur J Vasc Endovasc Surg* **35** : 455-461, 2008
- 5) Feezor RJ, Martin TD, Hess Jr PJ et al : Extent of aortic coverage and incidence of spinal cord ischemia after thoracic endovascular aneurysm repair. *Ann Thorac Surg* **86** :

- 1809-1814, 2008
- 6) Bavaria JE, Appoo JJ, Makaroun MS et al : Endovascular stent grafting versus open surgical repair of descending thoracic aortic aneurysms in low-risk patients : a multicenter comparative trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* **133** : 369-375, 2007
- 7) Coselli JS, Bozinovski J, LeMaire SA : Open surgical repair of 2,286 thoracoabdominal aortic aneurysms. *Ann Thorac Surg* **83** : S862-S864, 2007
- 8) Martin DJ, Martin TD, Hess PJ et al : Spinal cord ischemia after TEVAR in patients with abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* **49** : 302-307, 2009
- 9) Kawaharada N, Morishita K, Kurimoto Y et al : Spinal cord ischemia after elective endovascular stent-graft repair of the thoracic aorta. *Eur J Cardiothorac Surg* **31** : 998-1003, 2007
- 10) Schurink GWH, Nijenhuis RJ, Backes WH et al : Assessment of spinal cord circulation and function in endovascular treatment of thoracic aortic aneurysms. *Ann Thorac Surg* **83** : S877-S881, 2007
- 11) Yoshioka K, Niinuma H, Ehara S et al : MR angiography and CT angiography of the artery of Adamkiewicz : state of the art. *Radiographics* **26** : S63-S73, 2006
- 12) Yoshioka K, Niinuma H, Ogino Y et al : Three-dimensional demonstration of the collateral circulation to the artery of Adamkiewicz with 16-row multislice computed tomography. *Ann Thorac Surg* **81** : 749, 2006
- 13) Yoshioka K, Niinuma H, Kawazoe K et al : Three-dimensional demonstration of the collateral circulation to the artery of Adamkiewicz via internal thoracic artery with 16-row multislice CT. *Eur J Cardiothorac Surg* **28** : 492, 2005
- 14) Yoshioka K, Tanaka R, Kamada T et al : Three-dimensional demonstration of the collateral circulation to the artery of Adamkiewicz via the thoracodorsal artery with multi-slice computed tomography angiography. *Eur J Cardiothorac Surg* **37** : 1234, 2010
- 15) 山田達也 : 下行大動脈手術における脊髄保護法—脊髄ドレナージの意義. *LiSA* **17** : 124-128, 2010
- 16) Weaver KD, Wiseman DB, Farber M et al : Complications of lumbar drainage after thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg* **34** : 623-627, 2001

SUMMARY

Strategies for Prevention from Spinal Cord Ischemia during Thoracic Endovascular Aortic Repair

Takeshi Kamada, Department of Cardiovascular Surgery, Iwate Medical University, Morioka, Japan

Kenji Minatoya, Masahiro Wakimoto, Mamoru Kadosaki, Ryoichi Tanaka, Kunihiro Yoshioka, Akihiko Abiko, Hitoshi Okabayashi

Spinal cord ischemia (SCI) is one of the most serious complications in patients who undergo thoracic endovascular aortic repair (TEVAR). The incidence of SCI after TEVAR has been supposed to be lower than the one after traditional open surgical repair. However, not a few cases regarding SCI after TEVAR have been reported recently. Since the detailed mechanism of the SCI is still not fully understood, preventive strategies against SCI including preoperative identification of critical segmental artery (CSA) applying the artery of Adamkiewicz, preservation of the CSA, motor evoked potential (MEP) monitoring, and cerebrospinal fluid (CSF) drainage are routinely performed during TEVAR in our practice.

KEY WORDS

TEVAR/the artery of Adamkiewicz/spinal cord ischemia/prevention

*

*

*

10(VIII)-34 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

○植松美幸^a, 坂本怜^b, 許家群^c, 市橋琢弥^d, 梅津光生^e, 青見茂之^f, 中村亮一^g, 鈴木孝司^h, 村垣善浩^h, 伊関洋^h

^a国立医薬品食品衛生研究所医療機器部, ^b早稲田大学大学院創造理工学研究科総合機械工学専攻, ^c早稲田大学大学院先進理工学研究科生命理工学専攻, ^d早稲田大学大学院創造理工学部総合機械工学科, ^e早稲田大学理工学術院, ^f東京女子医科大学心臓血管外科, ^g千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻, ^h東京女子医科大学先端生命医科学研究科先端工学外科学分野

Current clinical trials and future prospects in a surgical navigation system for the thoracoabdominal area

M. Uematsu^a, R. Sakamoto^b, C. Hsu^c, T. Ichihashi^d, M. Umezue^e, S. Aomi^f, R. Nakamura^g, T. Suzuki^h, Y. Muragaki^h and H. Iseki^h

^aDivision of Medical Devices, National Institute of Health Sciences, Tokyo, Japan, ^bMajor in Modern Mechanical Engineering, Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University, ^cMajor in Integrated Bioscience and Biomedical Engineering, Graduate School of Advanced Science and Engineering, Waseda University, ^dDepartment of Modern Mechanical Engineering, School of Creative Science and Engineering, Waseda University, ^eFaculty of Science and Engineering, Waseda University, ^fDepartment of Cardiovascular Surgery, Tokyo Women's Medical University, ^gDepartment of Medical System Engineering, Graduate School of Engineering, Chiba University, ^hFaculty of Advanced Techno-Surgery, Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Graduate School of Medicine, Tokyo Women's Medical University

Abstract: We have been experienced clinical trials for a navigation system mainly in aortic vascular surgery. This paper presents our conventional, current approaches and future prospects for the navigation system in the thoracoabdominal area. In the early system, registration points were arranged in the neighbor area for a target artery to minimize the registration error. Clinical trials showed that the method required surgeons' skill in anatomical orientation. As the next step, the points were selected from the upper body to recognize the anatomical orientation. The method helped surgeons to image the therapeutic area without skin incision. In near future, we aim to detect the target artery by using the improved method. To do so, a new registration algorithm would apply for the system to reduce the error derived from tissue thickness.

Key words: Surgical navigation system, clinical trials, registration

1. はじめに

胸腹部領域を対象にした手術ナビゲーションシステムは医師からの要望があり, また, 研究開発は多くなされているが, 実用化されるに至らないものも多い。工学的には精度向上が大きな課題のひとつである。一方で, 臨床現場における本来の作業レベルを維持し, ナビゲーションにとって重要な作業であるレジストレーションを行うことが求められる。

本稿では, 現在までに 56 例の胸腹部大動脈瘤の症例に対して臨床応用してきたことを背景に, この経験で得られた工夫や課題について論じる。

2. レジストレーション

2.1 局所領域のレジストレーション

手術ナビゲーションを施行するにあたり, レジストレーションにおける手術空間と画像空間の一致精度は重要な要素である。胸腹部領域では体位の違いや組織の変形の影響を強く受けるため, 初期の段階においては, 目標とする血管近傍の画像情報のみが正確なナビゲーションに使えんことを考えていた。そこで, 医師によるレジストレーション作業では, 1~2 椎間程度の範囲での特徴点探索をしていた。当初, レジストレーションの誤差はおおよそ 5mm 程度におさまっており, 使用する医師からも好評を得た。しかし, レジストレーション作業がどの医師でも同一水準でできることではないと判明した。

実際の手術野は Fig.1 (a) に示すように手術野では瘤が見える程度であり, Fig.1 (b) に

示す画像のように椎骨, 肋骨や肋骨に沿って走行する肋間動脈を確認できない。医師らのコメントによれば, 手術野で肋骨や椎骨の特徴点を探索するのは手探りで行うことになる。つまり, 局所領域でのレジストレーション作業は解剖学的なオリエンテーションをつけるという作業を医師のスキルに委ねる方法であった。



Fig.1 Thoracoabdominal aortic aneurysm (a) surgical view, (b) image view

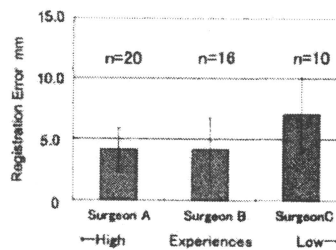


Fig.2 Registration error

【医師間のレジストレーション誤差】

この局所領域でのレジストレーション結果を Fig.2 に示す。対象となる患者は異なるが、いずれも胸腹部大動脈人工血管置換術を対象にしたもので、肋骨頭 2 点と椎骨 1 点の 3 点レジストレーションを行ったときの結果である。これより、3 名の医師の作業にばらつきがあるのが読み取れる。ただし、誤差が大きく出た場合においても、回数を重ねていくコツをつかみ、誤差の軽減ができるようにはなっている。

2.2 体表面からのレジストレーション

局所領域でのレジストレーションに医師個人のスキルを要したことを受け、より簡易に特徴点を探すことができ、確認しやすい方法が求められた。そこで、体表面から骨の特徴点を探索し、レジストレーション点として用いる方法を導入した。

Fig.3 (a) は特徴点候補をマーキングした体表面を示している。これは、CT 撮影時に造影剤入りのマーカを皮膚表面に貼付し、その位置をマーキングすることでレジストレーション点を記録したものである。このように、マーカの位置を画像で記録するという方法は可能ではあるが、実用化には遠い。診断用の画像撮影が手術日までの期間が 2 週間から 2 ヶ月ぐらいとあい

ているためである。現在は、体表上から骨の特徴点を探索し、医師が計測する方法を用いている。本法を用いることで、特徴点は手術スタッフ皆で骨を触りながら適当な位置を決めることができる。計測を行う 1 人だけの作業なのでなく、Fig.3 (b) に示すように複数人で確認しながら進めることができる。これにより、レジストレーション作業を行う医師間の差異は軽減できたが、計測対象となる患者の皮下組織厚によって生じる誤差を軽減できない限り、目標血管の位置決めを行うのに十分なナビゲーションは難しいといえる。

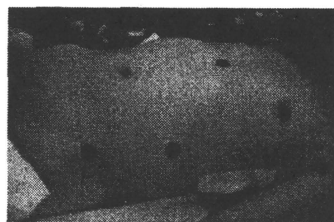
3. 皮下組織厚補正アルゴリズム

骨の特徴点を体表面から計測するとき、皮下組織厚と計測値との関係を Fig.4 に示すモデルで仮定する。ある骨上の点の計測値 (m) の集合である M_k は皮下組織の厚さ (T_k) が大きくなるにつれて、ポイントで正確に計測するのが難しくなる。この誤差の分布は E_k で示され、皮下組織厚によるずれと点をポイント計測による指し示し誤差を含む。このモデルに対し、事前にファントムを対象にした実験を行った結果を適用することで、皮下組織厚と計測誤差分布との関係の特徴点ごと、3 軸にそれぞれ求めた。

レジストレーションとして画像上で設定した点を $P(x_p, y_p, z_p)$ 、医師が計測したレジストレーション点 $Q(x_q, y_q, z_q)$ としたときに、点 P から体表面までの厚み $\Delta P(\Delta x_p, \Delta y_p, \Delta z_p)$ を方向別に算出し、Fig.4 の皮下組織厚に対応する誤差分布モデルを与える。ここで、最小 2 乗誤差を方向別に算出し、和が最も小さくなるように設定点を P' に移動させ、レジストレーションを行った。

【臨床データを用いた評価】

患者（皮下組織厚：平均）の体表面レジストレーションを対象にオフラインで本アルゴリズムを適用した。結果を Fig.5 に示す。レジストレーション点は頸切痕、左前肋骨棘、恥骨稜とした。アルゴリズム適用前後で 44% 改善した。



(a) registration points on skin surface



(b) Measurement of a registration point
Fig.3 Registration error

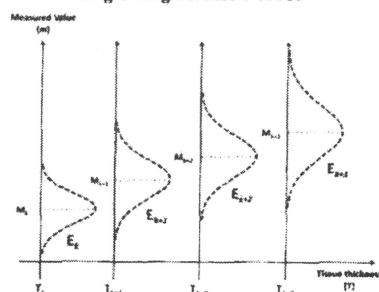


Fig.4 Distribution of measured data corresponding to tissue thickness

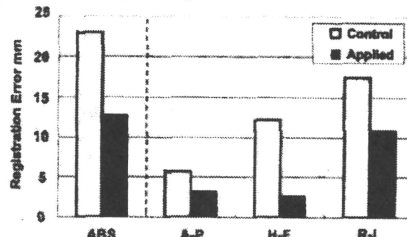


Fig.5 Absolute error and its directional components between control and compensated ones using a new algorithm
(Thickness of tissues - normal)

本例については、頭足方向には 5mm 以内の誤差範囲におさえることができ、これにより、肋間の間違えを防ぐことができると考えられる。皮下組織厚が大きい場合の補正限界については、今後十分に検討していきたい。

4. まとめと今後の展望

胸腹部領域を対象にしたナビゲーションについて臨床経験から工夫した点や現況、将来の応用に向けたアルゴリズムについて論じた。

今後の目標は体表レジストレーションの結果を利用し、体内構造の位置推定することである。そのために、レジストレーション結果維持のためのベッド固定ツールの作製や、許容誤差確認法について示していく予定である。

謝辞

本研究は科研費(20700414 および 21591804)の助成を受けたものである。

10(VI)-24 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

○許家群^a, 植松美幸^b, 坂本怜^c, 市橋琢弥^d, 梅津光生^e, 東 隆^f, 青見茂之^f, 中村亮一^g, 鈴木孝司^h, 村垣善浩^h, 伊関洋^{ch}

^a 早稲田大学大学院先進理工学研究科生命理工学専攻, ^b 国立医薬品食品衛生研究所医療機器部, ^c 早稲田大学大学院創造理工学研究科総合機械工学専攻, ^d 早稲田大学創造理工学部総合機械工学科, ^e 早稲田大学理工学術院, ^f 東京女子医科大学心臓血管外科, ^g 千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻, ^h 東京女子医科大学先端生命医科学研究科先端工学外科学分野

A novel vessel-extracting aided image system for for Endovascular Aortic Repair

C. Hsu^a, M. Uematsu^b, R. Sakamoto^c, T. Ichihashi^d, M. Umezumi^{acde}, T. Azuma^f, S. Aomi^f, R. Nakamura^g, T. Suzuki^h, Y. Muragaki^h and H. Iseki^{ch}

^aMajor in Integrated Bioscience and Biomedical Engineering, Graduate School of Advanced Science and Engineering, Waseda University, ^aDivision of Medical Devices, National Institute of Health Sciences, Tokyo, Japan, ^bMajor in Modern Mechanical Engineering, Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University, ^dDepartment of Modern Mechanical Engineering, School of Creative Science and Engineering, Waseda University, ^eFaculty of Science and Engineering, Waseda University, ^fDepartment of Cardiovascular Surgery, Tokyo Women's Medical University, ^gDepartment of Medical System Engineering, Graduate School of Engineering, Chiba University, ^hFaculty of Advanced Techno-Surgery, Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Graduate School of Medicine, Tokyo Women's Medical University

Abstract: Since the stent grafts for Endovascular Aortic Repair (EVAR) was approved in Japan in 2006, the number of clinical practice has been increasing. The first procedure of the surgery is to confirm the direction of blood flow. The surgeons inject the contrast media into the patient to obtain the enhanced images with C-arm CT, and then manually outline the vessel contour on a monitor. The procedure is time-consuming and troublesome. In this study, we aim to develop an image aided system for EVAR to automatically segment the vessel contour of patients, which efficiently simplifies the conventional EVAR procedures. The method is as follows. Step 1, a personal computer was used to acquire images from C-arm CT in real-time and captured the initial signal of contrast media injection. Step 2, all images capturing contrast media were added up to reveal the vessel contour. Step 3, the vessel contour was segmented using the Region Growing algorithm method. Step 4, the segmented contour was overlaid with real-time C-arm images. By this method, the vessel contours of two patients were automatically segmented and well comparable to those by manually sketched.

Key words: Computer aided surgery, Segmentation, Region Growing, TEVAR.

1. はじめに

胸腹部大動脈瘤の治療は open surgery による人工血管置換術が第1選択とされてきた。一方で、自作のステントグラフト（以下 SG）挿入による血管内治療が行われていた。低侵襲で入院期間の短縮にもなるという利点があげられつつも、グラフトの生産性の不足や薬事未認可であったことから一部にとどまっていた。

SGは2006年に日本国内で薬事認可されて以来、症例は増加傾向にある。ステントグラフト実施基準作成委員会の調査によれば、2008年から2010年までに5,000件以上行われている[1]。臨床現場ではより効率的な手技及び安全な治療環境が求められると考え、SG挿入術に適した画像支援システムを開発している。本稿では手術プロセスの省力化のため、自動大血管セグメンテーションシステムを開発したので紹介する。

2. 大血管走行把握システム

SG挿入術は治療域の皮膚切開を行わず、CアームCTを用いて血管走行を把握する。その際、

血管領域を強調表示するため、造影剤を患者の体内に流す。その領域を留めておくために造影剤の血管への流入時の動画をモニタ上で表示させ、大動脈の輪郭をペンを使って手書きでなぞって記録する（Fig. 1）。しかし、この作業は複数人での作業を要する。そこで、医師ひとりでの操作が可能となるような自動大血管セグメンテーションシステムを開発した。

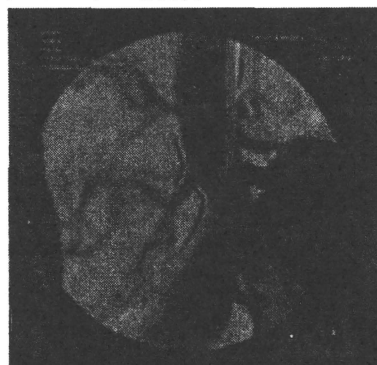


Fig.1 Vessel contour outlined by hands

3. システム構成

本システムの構成を(Fig.2)に示す。セグメンテーション処理用のPCはCアームCT、インジェクターとケーブルによって接続される。リアルタイムのCアームCT画像をビデオキャプチャーボードで取得する。造影剤インジェクターの動作信号はI/Oボードで取得する。インジェクター動作中に取り込んだ画像は動画ファイル(AVI形式)として保存する。PCに接続されたモニタはタッチパネル式であり、医師の操作タイミングに応じて血管輪郭の抽出処理を行う。血管抽出した輪郭はリアルタイムのCアームCT画像に重畳表示する。

4. 自動大血管抽出アルゴリズム

CアームCT画像から造影剤で強調された大動脈部位の輪郭線を自動抽出するアルゴリズムは次の3つの手順となる(Fig.3)。STEP1)保存したAVIファイルから画像を読み込み、血管特徴が映っている画像の差分をとり、加算平均する。これにより全体の血管領域が得る。STEP2)医師によって操作パネル上で血管内のある1点を指定すると、その点を注目画素としてRegion Growing[2]アルゴリズムを適用し、血管領域をセグメンテーションする。STEP3)血管部位の輪郭を抽出する。

5. 臨床データへの応用結果

今回臨床で行われた2症例を対象にオフラインで適用した。結果をFig.4に示す。(a)血管輪郭抽出の成功例。(b)交差している血管の判別が難しかった例である。本研究においては、Cアームの2次元画像しか使用していない為、交差している血管の相対位置関係は判断できない。術前のMDCT画像の利用により、血管の3次元的な形状・走行等を補間したいと考えている。

6. おわりに

Cアーム画像から大動脈の部位を効率的にセグメンテーションするシステムを構築し、臨床例にオフラインで適用したところ、良好な結果が得られた。今後は臨床への実用化を目指して進めていく予定である。

謝辞

本研究は科研費(21591804)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 日本胸部外科学会学術調査
- 2) R. Adams, L. Bischof. Seeded Region Growing, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 16, NO. 6, JUNE 1994.

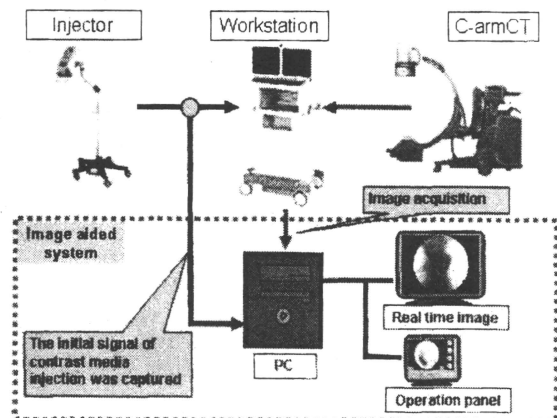


Fig.2 System configuration

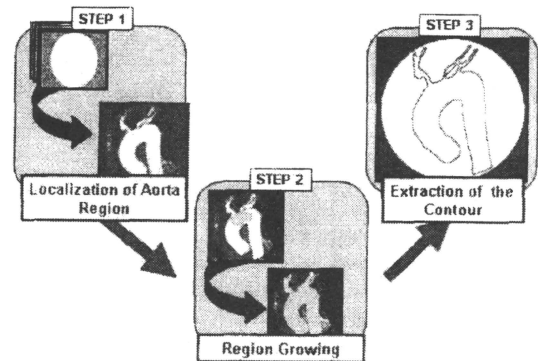


Fig.3 Process of the developed algorithm

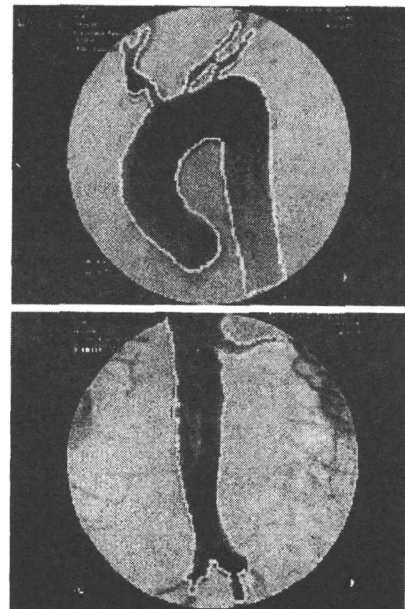


Fig.4 Results of segmented vasculatures

10(XXIII)-111 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

○坂本 裕^a, 植松 美幸^b, 許家群^c, 市橋 琢弥^d, 梅津 光生^e, 飯村 浩^f, 青見 茂之^g, 中村 亮一^h, 鈴木 孝司ⁱ, 村垣 善浩^j, 伊関 洋^k

^a早稲田大学大学院創造理工学研究科総合機械工学専攻, ^b国立医薬品食品衛生研究所医療機器部, ^c早稲田大学大学院先進理工学研究科生命理工学専攻, ^d早稲田大学創造理工学部総合機械工学科, ^e早稲田大学理工学術院, ^f東京女子医科大学画像診断部, ^g東京女子医科大学心臓血管外科, ^h千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻, ⁱ東京女子医科大学先端生命医科学研究科先端工学外科学分野

A comparative study of registration methods to reduce the target registration error in an intercostal artery

○R.Sakamoto^a, M.Uematsu^b, C.Hsu^c, T.Ichihashi^d, M.Umezū^e, H.Iimura^f, S.Aomi^g, R.Nakamura^h, T.Suzukiⁱ, Y.Muragaki^j, H.Iseki^k

^aDivision of Medical Devices, National Institute of Health Sciences, Tokyo, Japan, ^bMajor in Modern Mechanical Engineering, Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University, ^cMajor in Integrated Bioscience and Biomedical Engineering, Graduate School of Advanced Science and Engineering, Waseda University, ^dDepartment of Modern Mechanical Engineering, School of Creative Science and Engineering, Waseda University, ^eFaculty of Science and Engineering, Waseda University, ^fDepartment of Radiological Service, Tokyo Women's Medical University, ^gDepartment of Cardiovascular Surgery, Tokyo Women's Medical University, ^hDepartment of Medical System Engineering, Graduate School of Engineering, Chiba University, ⁱFaculty of Advanced Techno-Surgery, Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Graduate School of Medicine, Tokyo Women's Medical University

Abstract: Recently, we have been developing a navigation system for aortic vascular surgery. It was utilized in the first clinical trial in 2006, and then it is recognized that it performs an essential function in our surgery. However, we have still many challenges to deliver the system to other hospitals. One of the main issues is to simplify the settings in registration process. In this paper, we propose a new registration method to use both external and internal points of body. Two types of registration methods were compared by measuring Target Registration Error in the orifice of target arteries and Fiducial Registration Error in the bone projection under the skin surface. With the conventional method, the target registration error was insufficient to differentiate between a target artery and others. With the proposed method, it was achieved that the target vessel was detected on smaller than allowable error. It was concluded that the new registration method is easy to use and effective to find the target artery.

Key words: thoracoabdominal aortic aneurysm, surgical navigation system, registration, phantom experiment

1.はじめに

大動脈人工血管置換術を対象として手術ナビゲーションの開発を行ってきた。本システムは再建すべき肋間動脈の位置の同定を支援することを目的とする。2006年度より56例の臨床応用した経験から、幅広い医師に使ってもらえるシステムにするには特別なスキルを必要としないことが重要と考える。目標血管の探索は、開胸後、目標血管近傍にある骨の特徴点をツールで指すレジストレーションによる結果を用いて行っているが、限定的な視野で局所領域にある特徴点の探索にスキルを要するため、簡易化が望まれる。これを克服するための前段階として、体表レジストレーションによるナビゲーションで大局的な解剖学的構造を把握し、開胸位置決定の支援を行っている。この結果を利用し、目標血管の特定ができれば、より使いやすいとの医師らのコメントがあった。しかしながら、現在の体表レジストレーションのみでは目標血管を特定するための十分な精度を確保できない。そこで、体表レジストレーションの結果を活用しながら局所点による補正を行うレジストレーション法を試みる。

2.体表レジストレーションによる目標血管同定

目標血管同定のための許容誤差範囲は頭足方向に5mm以内としている。体表レジストレーションでは、胸骨角、左前腸骨棘、恥骨稜といった骨の特徴点を皮膚の上から計測して行う (Fig.1)。しかし、平均誤差が10mm以上であり、許容誤差範囲を達成できていない。そこで、体表点で体軸方向を、体内点で背腹方向の位置関係をそれぞれ得ることで、体表点を利用しながら目標血管の位置特定精度を向上させる手法を提案する



Fig.1 Registration based on bones under the skin surface

3.位置合わせ誤差の定義

剛体の点ベースレジストレーションにおける誤差は Maurer らによって3つ定義されている^[1]。目標血管の位置合わせ誤差については、標的位置合わせ誤差 (Target Registration Error; TRE) を算出するのが適当であると考えられるが、手術中に血管位置を計測するのは時間的・作業的制約から難しい。そこで、これまで目標血管近傍の骨の特徴点を基準とした基準位置合わせ誤差 (Fiducial Registration Error; FRE) によって代用している。今回、血管同定のための TRE を算出するため、ファントムを対象にした計測を行い、FRE との関連を調査した。

4.方法

下記の2種類のレジストレーション法を比較する。レジストレーション点の組み合わせによる FRE と目標点の TRE を算出した。被験者は8名とし、各試行回数5回とした。

- ①従来法：体表の解剖学的特徴点のみを利用したレジストレーション
- ②提案法：体表点と体内点の組み合わせたレジストレーション

対象：自作のレジストレーション評価用ファントムを用いた。胸部、腹部それぞれの皮下組織を模擬するモデルを作成し、骨格モデルに着脱可能とした。本実験での皮下組織厚は患者の平均厚を持つとした。ファントムを Fig.2 に示し、図中の a-d は下記の解剖学的特徴点と目標点を示す。

解剖学的特徴点の組み合わせ：

- <体表>3点 (胸骨角 (a), 左前腸骨棘 (b), 恥骨棘 (c))
- <体内>10番肋骨の胸椎に対する付け根 (d)
- <目標点>左側の Th10 から Th12 まで肋間動脈起始部

5.結果および考察

- ①従来法：体表の解剖学的特徴点のみを利用したレジストレーション (Fig.3)

FRE は平均 5.7mm, TRE の平均は 8.9mm であった。

- ②提案法：体表点と体内点の組み合わせたレジストレーション (Fig.4)

FRE は平均 4.4mm, TRE の平均は 2.0mm であった。

①と②では FRE の差よりも TRE の差が顕著であった。FRE と TRE の関係に着目すると、①は FRE より TRE が大きいのに対し、②では逆である。これは①は目標点と離れた体表の特徴点で行うのに対し、②では目標近傍の点を利用するため、背腹方向軸の誤差が小さく、TRE が改善したと考えられる。TRE に関して、②は①に対し3点の平均で 77%誤差が小さい。②の平均 TRE は 2.0mm であり、目標誤差 5mm 以下である。

6.まとめ

体表レジストレーションの結果を活用しながら局所点による補正を行うレジストレーション法を提案した。ファントムを対象に TRE を計測した結果、提案法は従来法と比較して誤差が軽減され、目標とする許容誤差範囲を達成した。

参考文献

[1] C. R. Maurer Jr., et al., "Registration of Head Volume Images Using Implantable Fiducial Markers," IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, vol.16, no.4, pp447-462,1997.

謝辞

本研究は科研費 (20700414) の助成を受けたものである。

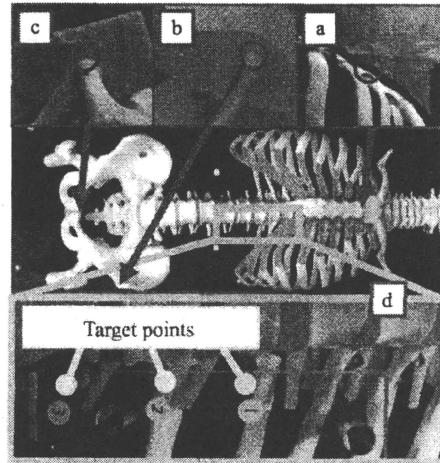


Fig.2 Registration points and a target point

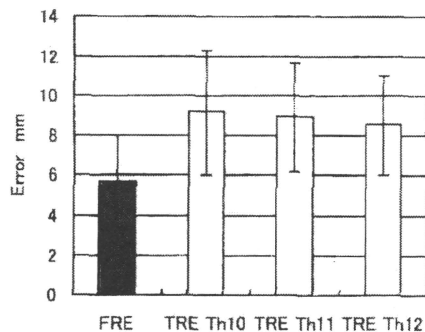


Fig.3 Conventional method: FRE vs TRE

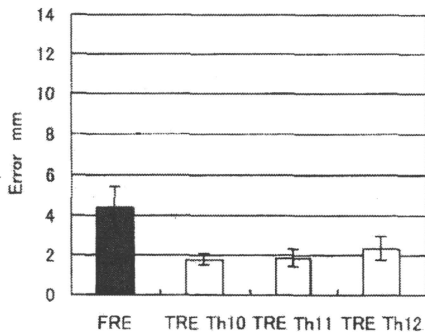


Fig.4 Proposed method: FRE vs TRE