

骨といったそれぞれの領域を塗り分ける。基本はCT値に基づく自動抽出を行うが、CT値が重複して自動処理できない部位については手作業で抽出する。そして、各領域の輪郭を抽出して3次元再構築し、部位ごとのサーフェスデータへ変換する。

サーフェスデータの表示には、3次元形状の描画に優れたライブラリであるOpenGLを用いて自作したソフトウェアを用いる。色や透明度を変更可能とし、拡大縮小しながら360°自由な視点から表示することで、全体における各部位の位置関係を観察可能とする。この直感的な立体構造の表示法に加え、より詳細な解剖学的位置関係を把握可能とするため、ボリュームデータを上下、前後、左右の3軸方向の断層画像で表示し、同時に確認可能とする。

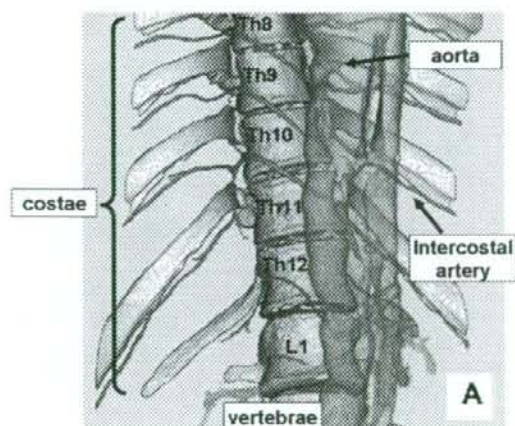


図5. 局所画像

Fig.5 3D Image (Partial)

1.4 レジストレーション

コンピュータ画像空間の患者モデルと手術室の実空間の位置合わせを行うレジストレーションは、それぞれの座標空間で、3次元位置測定装置を用いて位置を記録していく作業をいう。大血管ナビゲーションでは指定

する点としては肋骨頭や椎骨側部の突起部などの解剖学的特徴点を指定する。3次元空間の位置合わせを行うため、3箇所以上の点の登録を行う。このレジストレーションに用いる点の候補と組み合わせについては3.2レジストレーション点の設定で示す。

レジストレーション誤差の算出法は以下の通りである。レジストレーションには対象範囲に応じて解剖学的な特徴点を n 点選択して用いる。画像上の解剖学的特徴点の点群を iP 、ポインタを用いて実際に患者空間の特徴点を指して計測した点の点群を pP とし、レジストレーション座標変換行列が ${}^i T_p$ であるとき、計測点 pP を画像座標によって求められた座系の点 iP に座標変換した値は式(2.1)で示される。

$${}^i P = {}^i T_p ({}^p P) \quad (2.1)$$

ここで、任意の特徴点を k 番目の点としたとき、画像空間上で選択した特徴点 ${}^i P_k$ と実際に計測した点 ${}^p P_k$ との誤差 Δr_k は式(2.2)で示される。

$$\Delta r_k = |{}^p P_k - {}^i P_k| = |{}^p P_k - {}^i T_p ({}^p P)| \quad (2.2)$$

$k=1$ から n までの Δr_k を算出し、その平均値が最小となるときをレジストレーション誤差とし、システム信頼性の評価に用いた。

システム評価のためには目標部位の位置の精度を示すことがふさわしいが、大動脈切開後に肋間動脈の開口部の位置を毎回計測することは行っていない。患者の命が優先されるべき状況下で実際の手術とは異なる作業を増やすことは倫理的に困難であるためである。

目標とする領域を囲むように骨の特徴点を設定すれば、各骨の位置の誤差範囲内に血管の位置誤差があると考えられる。そこで、目標血管の誤差の代わりに骨のレジストレーション精度をシステム評価に用いることとした。

1.5 調査対象

2006年7月から2008年8月までに東京女子医科大学で行われた胸部下行大動脈瘤および胸腹部大動脈瘤の人工血管置換術全30例で本システムを利用した。

初期の 21 例については、局所画像のみを用いたナビゲーションを行っていたが、開胸後に広い手術野を確保できない場合は画像で見るように明瞭にレジストレーションの位置を特定することは難しく、限られた局所の領域を見て、手探りで特徴点を探すことになる。そこで、最近の 9 例については、開胸前に体表上から体内の骨や血管の立体的位置関係を把握し、作業を進めることができるよう大局画像を用いたナビゲーションを導入し、局所画像を用いたナビゲーションを併用した。

また、システムの利用者は執刀医 1 名(熟練医師:手術者 A)と助手 2 名(中堅医師:手術者 B, C)とした。

1.6 レジストレーション点の設定

(1) 大局画像によるナビゲーション

体軸に近く、解剖学的に頭足方向の動きが小さく、皮膚の上から触っても位置が確認できる特徴のある部位をレジストレーションに用いる。

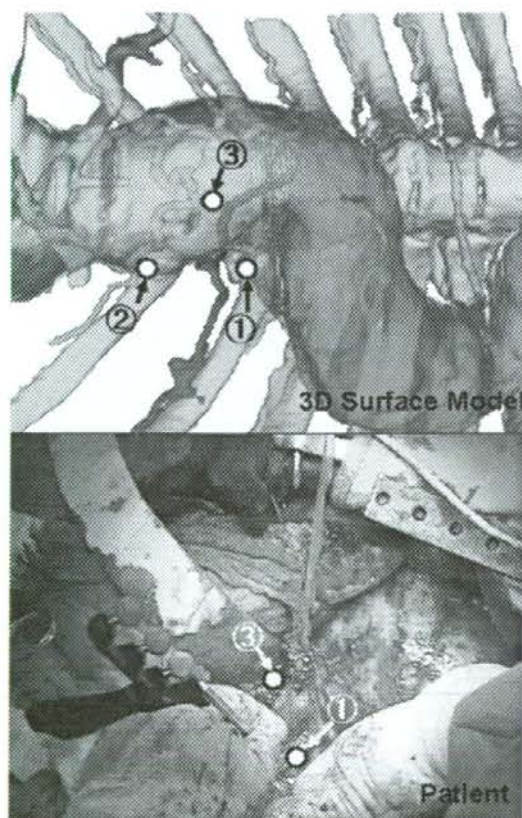


図 7 解剖学的特徴点(局所)

Fig.7 Anatomically specific points (Partial)

特徴点は次の 8 部位を挙げた。①胸骨角、②剣状突起、③左肋骨弓、④左鎖骨頭、⑤恥骨、⑥左前腸骨棘、⑦背中(Th11)、⑧背中(Th12)。ここで、Th11、Th12 の肋骨は腹側の軟骨で固定されず、開放状態にある。つまり、左肋骨弓は 10 番の肋骨の軟骨の下端をさす。①、②、④、⑤、⑦、⑧は身体を中心、③、⑥は身体を中心から離れた位置にある。基本的には、ターゲットとなる領域を囲むように体軸に近い 3 点で選択すれば誤差は小さくなる。解剖学的特徴点設定の一例として、①-③、⑤-⑦の 6 点を設定したときを図 6 に示す。

局所画像によるナビゲーション

レジストレーション点は、ターゲットとなる肋間動脈の起始部の解剖学的特徴点を 3 点で囲むように設定する。基本的には、ターゲットとなる肋間動脈が走行する肋骨を基準点(点①)とし、1 レベル上の肋骨(点②)、さらに①と②の間の椎骨(点③)とする。これらの点の配置を図 7 に示す。①-③の数字は図中の数字に対応する。

これら特徴点は各症例に応じて適宜決定する。重要な肋間動脈のレベルに応じて、開胸の範囲が異なり、また、患者の病変の状態によって大動脈の走行が異なることから、手術視野が制限されるためである。

臨床経験より、骨上の点は解剖学的特徴点として利用するにも選択誤差が比較的小さかった。特に肋骨頭は医師の技量によらず認識しやすい点であった。これより、大動脈瘤の蛇行によって肋骨頭が視野から隠れてしまうときを除いて、肋骨頭を選択することとした。

2 結果および考察

2.1 大局画像によるナビゲーション

開胸前の大局画像を用いたナビゲーションの結果を表 1 に示す。9 回行っており、胸骨角、剣状突起、左肋骨弓の 3 点は必ず選択しているが、他の特徴点選択のパターンによって(1)から(6)までの場合にわけられる。特徴点の選択は○×で示す。○は該当あり、×は該当なしを意味する。

ナビゲーションを施行する上で、いずれの場合も隣り合う肋骨と間違えることはなかった。特に、胸骨角と剣状

突起に関しては頭足方向に最もずれが大きいときでも14.6mmであった。1本の肋骨の幅が約20mm程度であり、隣り合う肋骨との間隔もさらに約10mmあることから、肋間レベルを特定できた。

胸骨角が第2肋骨の起始部、剣状突起が第7番肋骨の起始部にあたり、左肋骨弓が第10番肋骨の下端にあたるので、ターゲットがその範囲に含まれる場合は胸骨角、剣状突起、左肋骨弓この3点によるレジストレーションでも十分なナビゲーションが可能であった。

さらに、体軸方向の点である左鎖骨頭、恥骨を加えると、全体の誤差が減少したが、頭足方向の誤差を軽減できたためと考えられる。一方で、左前腸骨棘、背中の特徴点についても利用した。左前腸骨棘は背腹方向に誤差が大きかった。これは、患者の体位が画像撮影時の仰臥位から手術中に側臥位になることで捻転の影響を受けること、腸骨上の脂肪が重力方向に移動したことによると考えられる。また、背中の特徴点については、体軸方向に近く、ターゲットとなる領域を囲む上でも適当な場所であると考えられるが、誤差は増大した。これは、画像取得時と手術中に同じ位置を選択することが難しかったためと考えられる。

表1 レジストレーション誤差(大局)(別刷り参照)

2.2 局所画像によるナビゲーション

ここでは局所画像を用いてナビゲーションを行った30例のうち、基準となる肋骨頭(①)と基準より1肋間上のレベルの肋骨頭(②)、①と②の間になる椎骨上の点(③)の3点でレジストレーションを行ったとき23例の結果について述べる。これらの点を選択できない場合の誤差については、文献[2]を参照されたい。

23例の症例の内訳は手術者Aが12例、手術者Bが7例、手術者Cが4例であった。図8に基準点を横軸にとったときのレジストレーション誤差について、3人の手術者を比較した結果を示す。基準とした肋骨頭を横軸とし、縦軸にレジストレーション誤差を示した。グラ

フを見ると、19例で目標精度とした5.0mm以下となっており、精度は安定している。肋骨間が1肋間であれば、身体の捻転の影響も受けにくく、背骨のレベルによらず誤差はほぼ一定となったと考えられる。

また、図9に施行の順番を横軸にしたときのレジストレーション誤差について、3人の手術者の比較した結果を示す。手術者Aに関しては、全例で5.0mm以下のレジストレーション誤差となっており、2.0mm以下に抑えている場合もある。手術者B、Cについては最初のうちは7.0-9.0mmの誤差となっているが、回数を重ねることで誤差が減少する傾向にある。大動脈瘤の走行によっては探索が難しいところを手探りで探索することになるため、手術者にある程度の解剖学的なイメージがなければ難しい作業であることが示唆された。

画像を用いたナビゲーションによって、立体的な画像を用いて、患者の重要な肋間動脈の位置を特定し、走行を把握することができるようになったことは、次の2点を可能にしたとのコメントを得た。1) 執刀医がこれまで経験と勘をもとに下していた決断に客観的な情報を加えることができるようになった。2) 執刀医の頭の中だけにあったイメージを画像によって助手との情報共有できるようになった。これより、執刀医も自信を持って自分の判断が下せるようになった。

さらに、本システムを利用した30例の臨床例では、院内での死亡が1例あったが、対麻痺の発生が1例(3%)であった。現在、胸腹部大動脈瘤の手術では、必ずナビゲーションを利用している。そして、手術における外科医の安心と患者のQOL向上させるためのツールのひとつとなっている。

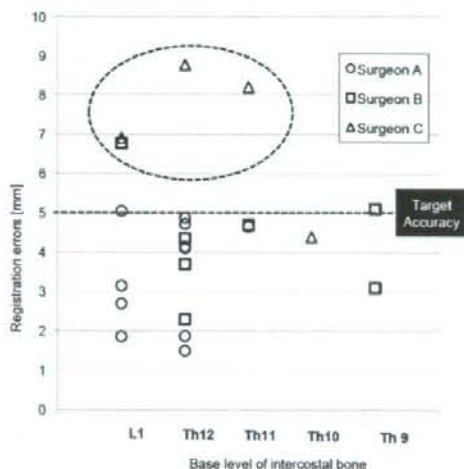


図8 基準点に対するレジストレーション誤差(局所)

Fig.8 Registration Errors (Partial) in relation to a base point

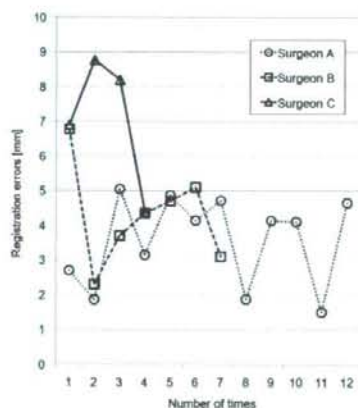


図9 施行の順番に対するレジストレーション誤差(局所)

3 今後の展望

今後、このシステムが他の医療機関でも利用されるようになるためには次の3点の問題を克服すべきである。すなわち、1)レジストレーション方法の簡易化、2)ベッドの移動による再レジストレーション、3)作業効率の向上である。

1)レジストレーション方法の簡易化については、4.2で示したようにレジストレーション点として解剖学的特徴点を正確に選択すること自体にスキルを要することがわ

かった。オリエンテーションがつけられない場合には、肋骨そのもののレベルを間違うこともあり得た。そこで、解剖学的特徴点を簡単に探し出すために、大局画像を取り入れたナビゲーションを行っており、肋骨のレベルを同定するには十分な精度であった。大局画像では大動脈の走行までは確認できても肋間動脈の走行までは描出できない。そこで現在、大局画像と局所画像を融合させて、開胸前にレジストレーションした結果をそのまま用いたナビゲーションへの改良を行っており、画像の補正アルゴリズムについても検討をしている[9]。

2)ベッドの移動による再レジストレーションについては、開胸前に行ったレジストレーションを開胸後も利用したい場合には考慮しなければならない問題となる。レジストレーションした結果を利用するためには、3次元位置測定装置と患者の相対位置が動かないことが前提となる。しかし、通常臨床では手術野を確保するために患者のベッドを動かす機会が多い、患者と計測器の位置関係がずれた場合には、再レジストレーションをすれば、ナビゲーションを再開できるが、レジストレーションの時間がかかるため、ベッドの動きを追跡し、補正する機能も追加した[10]。

3)ナビゲーション施行において、最も労力がかかるのがセグメンテーションの作業である。CTの画像から3Dサーフェスデータを作成する工程には、膨大なデータから大血管と分枝・骨を精密に抽出する作業が必要である。多くを人力に頼る作業であり、現在手術前には1日ばかりで準備をしている。画像データから半自動的に血管・骨を抽出するために、予め骨や血管の構造をテンプレートとして読み込み、画素値と同時に解剖学的構造を考慮した領域抽出を行う方法を確立したい。

4 まとめ

本論文では、30例の大動脈瘤手術に対して手術ナビゲーションを利用し、システムの有用性を論じた。そこで、以下の3点を満たすことを確認した。1)ナビゲーションを用いて、重要な肋間動脈の位置を臨床上十分な精度で特定できた。2)手術中に患者の体内で見えない血管の走行もCT画像から血管・骨などのCGモデルを作成して呈示することで容易に把握できた。3)手術後

の対麻痺の発生率がゼロであった。

また、医師の熟練度によって、局所画像を用いたのみのレジストレーションは特徴点探索が難しいことがあるとわかった。そこで新しい試みとして、大局画像を用いたナビゲーションで予め解剖学的イメージを把握した上で、局所画像を用いたナビゲーションを施行するシステムへと改良した。

今後は、これまでの成果を活かし、大局画像のレジストレーションのみでナビゲーションが行えるよう、発展させていきたい。

参考文献

- [1] BrainLAB: <http://www.brainlab.com>
- [2] Stealth Station: <http://www.medtronicnavigation.com/>
- [3] Ueda Y, Osada H, Osugi H.: Thoracic and cardiovascular surgery in Japan during 2005; Gen Thorac Cardiovasc Surg, 55(9), 377-399, 2007
- [4] 2004-2005 年度合同研究班報告: 大動脈瘤・大動脈解離診療ガイドライン(2006 年度改訂版); Circulation Journal, 70(Supplement VI), 1647-1677 (2006 年 11 月)
- [5] 長嶋義昭, 廣瀬佐智雄, 鈴木浩一, 苗村潔, 高信英明, 村垣善浩, 伊関洋, 梅津光生, 高倉公朋: OpenMRI 下脳外科手術におけるナビゲーションシステムの精度および操作性向上に関する研究, 日本コンピュータ外科学会誌, 6(1):5-12, 2004
- [6] 植松美幸, 青見茂之, 鈴木浩一, 西井規子, 中村亮一, 村垣善浩, 伊関洋, 上杉繁, 梅津光生: 胸腹部大動脈置換術用ナビゲーションシステムの臨床応用, 日本コンピュータ外科学会誌, 8(4):417-424, 2007
- [7] Takase K, Sawamura Y, Igarashi K, Chiba Y, Haga K, Saito H, Takahashi S.: Demonstration of the artery of Adamkiewicz at multi-detector row helical CT; Radiology, 223(1), 39-45, 2002
- [8] Yoshioka K, Niinuma H, Ohira A, Nasu K, Kawakami T, Sasaki M, Kawazoe K.: MR angiography and CT angiography of the artery of Adamkiewicz: noninvasive preoperative assessment of thoracoabdominal aortic aneurysm; Radiographics, 23(5): 1215-25, 2003
- [9] 松川絃大, 植松美幸, 中野善隆, 宇都宮隆平, 青見茂之, 飯村浩, 中村亮一, 村垣善浩, 伊関洋, 梅津光生: 胸部領域ナビゲーションにおける術中体位の変化を考慮した骨格変形補正法, 日本コンピュータ外科学会誌, 10(3): 395-396, 2008
- 1) 松川絃大, 植松美幸, 中野善隆, 宇都宮隆平, 青見茂之, 飯村浩, 中村亮一, 村垣善浩, 伊関洋, 梅津光生: 胸部領域ナビゲーションにおける術中体位の変化を考慮した骨格変形補正法, 日本コンピュータ外科学会誌, 10(3): 395-396, 2008
- 2) 中野善隆, 植松美幸, 松川絃大, 宇都宮隆平, 中村亮一, 村垣善浩, 伊関洋, 青見茂之, 梅津光生: 大血管ナビゲーションにおけるベッドの動きを補償するマーカーシステムの開発, 日本コンピュータ外科学会誌, 10(3):333-334, 2008
- 3) 植松美幸, 中野善隆, 松川絃大, 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, 日本パーチャルリアリティー学会論文誌, 14(1):39-48, 2009

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

本研究は、東京女子医科大学倫理委員会の承認を得ており、承諾を得られた患者に行なっている。

G. 研究発表

1. 論文発表

胸腹部大動脈瘤に対するハイブリッドステントグラフト治療の有用性
－肋間動脈再建に対する再考－

分担研究者 澤 芳樹、倉谷 徹、白川幸俊、島村和男

研究要旨

胸腹部大動脈瘤に対して、腹部分枝再建を行ったハイブリッドステントグラフト治療を行い、術後脊髄麻痺の頻度について検討を行う。その結果から肋骨動脈（Adamkiewicz 動脈を含む）の再建の意義について再考する。

A. 研究目的

胸腹部大動脈瘤の治療は、現状では手術しかない。しかし通常手術において、未だ満足し得る成績を得ていない。特に術後脊髄麻痺は術後の患者 QOL を極めて低下させる合併症であり、高齢者においてはこの合併症にて死に至ることも希ではない。種々の補助手段が用いられているが、これも確実な方法が確立されていない。ところで胸部下大動脈瘤に対するステントグラフト治療を胸腹部大動脈瘤に対するステントグラフト手術が最近、優先的に行われている。この手術における術後脊髄麻痺の発生率が極めて低いことに着目して、ステントグラフト治療を胸腹部大動脈瘤に応用することをこの研究の目的とする。さらに肋間動脈の閉塞を術前術後の CT 検査より確認し、肋間動脈再建の意義について考察する。

B. 研究方法

腹部分枝再建が必要である胸腹部大動脈瘤患者に対して、外来にて以下の倫理面に記載したように十分に患者及び家族に説明を行い、手術術式

を選択する。術前の肋間動脈の開在と Adamkiewicz 動脈の部位を CT もしくは MR にて同定する。

手術は当院で以前より行っている Debranched TEVER を行う。術後検討項目は、Mortality、術後脊髄麻痺（不全麻痺に分けて検討）、術後 CT 検査にて閉塞肋間動脈の数、Adamkiewicz 動脈の閉塞の有無を検討する。

（倫理面への配慮）

全患者に対して、第 3 者の立ち会いの下、当院における Open surgery とステントグラフト治療の成績を述べ、さらにその遠隔成績についても説明を行う。最終的には患者の判断にて手術術式を決定することとする。

C. 研究結果

Preliminary な検討では、15 例を行い死亡例はない。肋間動脈は 10～24 本を閉塞しており、術前に Adamkiewicz 動脈でできなかった 1 例を確認できなかった 1 例を除いて、その他すべての症例

で閉塞を認めた。

D. 考察

まだ症例数が少ないが、Adamkiewicz 動脈及び肋間動脈を閉塞しても脊髄麻痺を認めていない。今回のすべて症例において、両側 ITA および Iliolumbal artery は開存を認め、術前より十分な前脊髄動脈への血流を認めていた。このような状態では、Adamkiewicz 動脈を含めた肋間動脈を閉塞してもこの術式では、脊髄麻痺を認めない可能性が高い。これまで種々の研究で脊髄への Collateral flow は非常に豊富であることが確認されており、今後、これまでの肋間動脈、Adamkiewicz 動脈再建を必ず必要とした術式について再考する必要があると考えられる。

E. 結論

初期報告としてのまとめとして、胸腹部大動脈瘤に対するステントグラフト治療において脊髄麻痺は極めて発症しにくい。今後術中脊髄保護について再考が必要である。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

Shimamura K, Kuratani T, Matsumiya G, Kato M, Shirakawa Y, Takano H, Ohta N, Sawa Y. Long-term results of the open stent-grafting technique for extended aortic arch disease. J Thorac Cardiovasc Surg. 135(6):1261-9, 2008.

倉谷 徹: 腹部大動脈瘤に対するステントグラフト治療. 医学のあゆみ, 226(10), 938-944, 2008.

竹内麦穂、倉谷 徹: 人工血管の現状とステントグラフトへの応用. 人工臓器. 2008.

Shimamura K, Kuratani T, Shirakawa Y,

Takeuchi M, Matsumiya G, Takano H, Sawa Y: Hybrid endovascular aortic arch repair using branched endoprosthesis: The second generation 'branched' open stent grafting technique. J Thorac Cardiovasc Surg. 2008.

2. 学会発表

Kuratani T: Hybrid endvascular repair for thoraco - abdominal aortic aneurysm. Aortic Surgical Smposium. New York, 2008.5.9

Kuratai T: Hybrid endvascular aortic repair for mega aorta and thoraco - abdominal aortic aneurysm. Endovascular Adia - Pacific Technology Exchange. Sydney, 2008.11.1

Shirakawa Y, Kuratani T, Shimamura K, Takeuchi M, Kato M, Takano H, Matsumiya G, Sawa Y: Fifteen year experiencys of endovascular aortic repair for descending thoracic aortic pathologies. The European Society for Cardio-Vascular Surgery. San Diego. 2008.5.10-14

Shimamura K, Kuratani T, Shirakawa Y, Matsumiya G, Takano H, Sawa Y: Hybrid endovascular aortic arch repair using branched endoprosthesis: The second generation 'branched' open stent grafting technique. American Association of Thoracic Surgery, 88th Annual Meeting.

倉谷 徹、加藤雅明、白川幸俊、島村和男、竹内麦穂、金啓和、松宮護郎、高野弘志、南都伸介、澤 芳樹. 当教室における 15 年間のステントグラフト治療の現状と将来. 日本心臓外科学会学術集会. 千代田区, 2008.9.8-10

倉谷 徹、白川幸俊、島村和男、竹内麦穂、金啓和、山崎 学、加藤雅明、高野弘志、松宮護郎、澤 芳樹. ステントグラフトを用いた Total arch replacement における脳保護および術後脳障害の検討. 日本胸部外科学会定期学術集会. 福岡, 2008.10.12-15

全身血圧が脊髄虚血に及ぼす影響についての実験的研究

分担研究者 大北 裕、北川 敦士、泉 聡（神戸大学心臓血管外科）

研究要旨

胸腹部大動脈瘤手術における脊髄障害の一因として、大動脈遮断による脊髄組織の灌流障害が考えられる。我々は、家兎の一過性脊髄虚血モデルにおいて、脊髄虚血中の全身血圧と運動誘発電位(MEP)の測定、対麻痺の発生頻度について検討を行い、大動脈遮断中、高血圧を維持することで、脊髄障害を軽減できることが可能であった。

A. 研究目的

胸腹部大動脈瘤手術の重篤な合併症の一つとして脊髄虚血による対麻痺、膀胱直腸障害があげられる。さまざまな研究がなされているものの、未だ脊髄虚血を完全に回避することは困難である。我々は、胸腹部大動脈瘤手術における脊髄保護について基礎研究面から検討を行った。

B. 研究方法

家兎 3kg を用い、血圧および脊髄虚血の有無により、以下の3群にわけて検討を行った。A: 高血圧(120mmHg)群 (n=4)、B: 低血圧(50mmHg)群 (n=4)、C: 正常血圧群(n=4)。これら3群全てに腹部大動脈レベルでバルーンカテーテルにより15分間の遮断を行った。検討項目は、1) 運動誘発電位(MEP)の測定、2) 遮断解除後の下肢運動機能の評価(Modified Talrov score)、3) 48時間後の脊髄摘出標本における脊髄前角細胞数とした。

C. 研究結果

1) MEP: 再灌流後30分後におけるMEPの振幅回復率はA群84%、B群22%、C群36%でA

群は他群に比べて、振幅回復率が良好であった(p=0.03)。2) 下肢運動機能: A群では術後48時間後においても障害を認めなかったが、B群では術後早期より、C群では術後24時間後より障害を認めた。3) 平均脊髄前角細胞数: A群20.7個、B群13.8個、C群14.3個であり、A群は他群に比べて有意に多かった(p=0.02)。

D. 考察

胸腹部手術における脊髄保護はMEPモニタリング、脳脊髄液ドレナージの使用等ある程度確立されてきているものの、未だ脊髄虚血を完全に回避することは困難である。今回の基礎研究より、胸腹部大動脈瘤手術においては、大動脈遮断中、血圧を高めに維持することが脊髄障害の予防につながることを示唆された。

E. 結論

家兎モデルにおいて、大動脈遮断中の血圧を通常よりも高く維持することが、脊髄障害の予防につながることを考えられた。

F. 健康危険情報：特記すべきものなし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし.

2. 学会発表

泉聡, 田中亚希子, 高橋秀樹, 高橋宏明, 森本直人, 宗像宏, 松森正術, 浅野満, 森本喜久, 岡田健次, 大北裕. 胸腹部大動脈瘤手術における脊髄保護. 第38回日本心臓血管外科学会学術総会, 2008年2月20~22日, 福岡.

泉聡, 岡田健次, Bishow Pokhrel, 小竹淳一郎, 宮原俊介, 坂本敏仁, 野村拓生, 田中亚希子, 高橋秀樹, 高橋宏明, 森本直人, 宗像宏, 松森正術, 浅野満, 北川敦士, 森本喜久, 大北裕. 全身血圧の脊髄虚血に及ぼす影響に関する実験的検討. 第108回日本外科学会学術総会, 2008年5月15~17日, 長崎.

泉聡, 岡田健次, 大村篤史, 大北裕. 全身血圧が脊髄虚血に及ぼす影響. 第61回日本胸部外科学会定期学術集会. 10月14日, 福岡.

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

該当なし

厚生労働科学研究補助金（循環器疾患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

分担研究者 勝間田敬弘 大門雅広（大阪医科大学胸部外科）

研究要旨

胸部下行および胸腹部大動脈瘤の外科治療後の脊髄神経障害を予防する目的として種々の方法が試みられているが、未だ確立された方法はない。今回、深低体温体外循環を用いた胸部下行および胸腹部大動脈瘤治療における脊髄神経障害の発生について検討を行った。

A. 研究目的

胸部下行および胸腹部大動脈瘤に対する外科治療において、深低体温体外循環法を用いた手術における、術後脊髄神経障害の発生について検討した。

B. 研究方法

胸部下行および胸腹部大動脈瘤に対して、直腸温 18 度の深低体温体外循環法を用いて人工血管置換術を行った。術前に Adamkiewicz 動脈の同定は行わず、また肋間動脈の再建は原則行っていない。これらの方法により行われた症例の術後成績について検討した。

（倫理面への配慮）

C. 研究結果

2000 年以降、胸部下行、胸腹部大動脈人工血管置換術を施行した症例 110 例を対象にした（緊急を除く）、手術死亡は 8 例であり、残り 102 例中、恒久的脊髄神経障害を発生した症例

はなかった。一過性脊髄神経障害を発生した症例は 2 例であった。

D. 考察

深低体温下での胸部下行および胸腹部大動脈手術は対麻痺の観点から安全な方法であると示唆された。

E. 結論

深低体温法は有効な脊髄神経保護法である。

F. 健康危険情報：特記すべきものなし

G. 研究発表

1. 論文発表 該当なし

2. 学会発表

大門雅広、勝間田敬弘：遠位弓部大動脈瘤に対する胸腔経由人工血管置換術—末梢側吻合を妥協しない戦略—

第 38 回日本心臓血管外科学会学術総会、
2008 年 2 月 20～22 日、福岡

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得：該当なし
2. 実用新案登録：該当なし

厚生労働科学研究補助金（循環器疾患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

分担研究者 末田泰二郎，渡橋和政（広島大学第一外科）

研究要旨

胸腹部大動脈瘤に対する外科治療における虚血性脊髄傷害を回避するための検討を臨床面、研究面で行った。臨床面ではCTによるAdamkiewicz動脈の同定、術中MEPモニターによる虚血イベントの検出に加え、遮断した大動脈内への冷却血液注入によるMEP電位の変化からその大動脈内に再建すべき分枝動脈があるか否かを判定している。この方法の妥当性を研究面で検討するとともに、エダラボンやトレハロースの脊髄保護効果について動物モデルを用いて検討した。

A. 研究目的

胸腹部大動脈瘤に対する外科治療において虚血による脊髄傷害は未だ完全な解決を得ていない問題である。臨床の場合および基礎研究を通じてこの問題に対して検討を行っている。

B. 研究方法

臨床においては、術前にCTでAdamkiewicz動脈（以下『A動脈』）の位置を同定。手術前日に脊髄腔ドレーン及びMEPモニター用電極カテーテルを挿入留置。当日はMEPモニター下にて手術を行う。大動脈遮断の後、分節大動脈内に冷却血液を注入し、MEP変化を観察する。有意な変化がある場合には分節内に同定されていたA動脈があればそれを再建。変化がなければ側枝は処理した。

研究においては、ウサギモデル、イヌモデルを用いて分節遮断した大動脈内にエダラボン、トレハロースなどを注入あるいは冷却パッドを用い

て局所冷却を行い、脊髄傷害保護作用を研究している。

（倫理面への配慮）

C. 研究結果

基礎研究では上記の有効性が明らかになっている。また、臨床面では術前CTで同定されたいわゆるA動脈のうち真に再建が必要であったものはわずかに2割程度であった。その術中判断に、大動脈内冷却血液注入負荷MEPが有用との結果を得ている。

D. 考察

術前CTによる脊髄灌流動脈の存在診断、部位診断は有用である。しかし、そのほとんどは有意な分枝動脈ではない。再建しても術後CTでそれらが閉塞しているにも関わらず明らかな脊髄傷害を来していないことからこの点は明かである。

しかし、術前CTで形態学的に同定されたいわゆるA動脈が本当に血行動態的にも再建を要するか否かについては、従来判断する方法がなかった。冷却血液負荷MEPはそれを可能にする可能性が示唆されている。

E. 結論

術前CTによる脊髄灌流動脈のスクリーニングと術中冷却血液負荷MEPは効率的に大動脈再建を行う上で有用である。

F. 健康危険情報：特記すべきものなし

G. 研究発表

1. 論文発表

Hamaishi M, Orihashi K, Takahashi S, Isaka M, Okada K, Sueda T. Transcranial motor-evoked potentials following intra-aortic cold blood infusion facilitates detection of critical supplying artery of spinal cord. *Eur J Cardiothorac Surg.* 33:695-9, 2008.

2. 学会発表

渡橋和政, 末田泰二郎, 岡田健志, 今井克彦, 黒崎達也, 佐藤克敏, 高崎泰一, 高橋信也, 水上健友. 遠位弓部大動脈瘤に対する弓部温存術式: 経大動脈ステントグラフト内挿術. 第38回日本心臓血管外科学会学術総会, 2008年2月20-22日, 福岡 (日本心臓血管外科学会雑誌 37(Suppl.):242)

Orihashi K. Spinal cord visualized with TEE in thoraco-abdominal aortic surgery. 16th Congress of the International Cardiac Doppler Society, April 11-12, 2008, Kobe

Orihashi K, Hamaishi M, Takahashi S, Mizumami T, Sueda T. Cold Blood-loaded MEP Monitoring For Thoracoabdominal Aortic Surgery. Aortic Symposium 2008, May 8-9, 2008, New York

Takahashi S, Sueda T. Transvenous trehalose administration reduces paraplegia due to spinal cord injury during aortic surgery in rabbit. 57th European Society for CardioVascular Surgery Annual Congress, Barcelona, April 24-26th, 2008.

高橋信也, 渡橋和政, Bagus Herlambang, 水上健友, 濱石誠, 高崎泰一, 佐藤克敏, 黒崎達也, 今井克彦, 岡田健志, 末田泰二郎. 胸部下行大動脈手術症例での multi-detector CTとMEP(運動神経誘発電位)による、Adamkiewicz動脈の比較評価. 第61回日本胸部外科学会定期学術集会. 10月14日

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得

特願 2006-310814

発明者：末田泰二郎

発明の名称：脊髄誘発電位及び脊髄誘発電位測定システム

特願 2007-294874

発明者：末田泰二郎

発明の名称：術中誘発電位サポートシステム

2. 実用新案登録：該当なし

3. その他

厚生労働科学研究補助金（循環器疾患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

分担研究者 青柳成明 久留米大学外科学教授
明石英俊 久留米大学外科学准教授

研究要旨

胸部下行大動脈瘤・胸腹部大動脈瘤の治療（手術およびステントグラフト）において、術前のMRIやCTによるAdamkiewicz動脈の同定実施が治療後の脊髄障害発生に与える影響について検討する。さらに胸部下行・胸腹部大動脈瘤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全体を検討する。

A. 研究目的

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や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。

- 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る患者において、CTもしくはMRI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。

B. 研究方法

胸部下行・胸腹部大動脈瘤に対する手術を必要とする患者のうち、選択基準をすべて満たし、かつ除外基準のすべてに抵触しない全ての患者を対象とする。

【選択基準】

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. 前向き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

方法：研究デザイン

多施設共同コホート研究である。

（倫理面への配慮）

医学研究及び医療行為の対象となる個人の人権の擁護：本研究は患者を対象とした多施設共同の臨床研究であり、ヘルシンキ宣言及び臨床研究に関する倫

理指針、特に疫学研究の指針を遵守して実施する。Adamkiewicz 動脈の同定の実施の利益、不利益を十分説明して同意を得る。治療に関しては現行の治療の枠を越えるものではないため、患者側の不利益は生じないと考えるが、検査が増加する可能性があり、検査の内容、意義を説明し同意を得る。本研究を開始する前に、申請者の施設の倫理委員会において十分検討審査を受けた後、研究を開始する。本研究で得られた個人情報は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、いずれ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

これまでの過去の症例においては6年前よりMDCTによるAdamkiewicz動脈の同定は90%症例で可能であった。まず、これらの症例の情報を提供して脊髄障害発生との関連について検討し、さらに他施設の症例と統合比較検討して頂く。当科の症例においては、ステントグラフト症例では3%程度の脊髄障害例があったが、これは全て不全対麻痺であった。手術症例においては術後生存例においては殆ど対麻痺の発生はなく、おそらくAdamkiewicz動脈の同定は効果的であったと思われる。

D. 考察

ステントグラフト症例での不全対麻痺は左鎖骨下動脈と腹部大動脈の腰動脈の影響があるものと考えられ、これらが脊髄障害発生の要因となる可能性が考えられた。手術症例においては大動脈遮断時間、体温、遮断範囲などの要因もあり、検討要因項目の今後の選択にも注意を要する。

E. 結論

現時点での結論は困難であるが、手術およびステントグラフトでの治療にさいしてAdamkiewicz動脈の同定が成績向上(対麻痺発生の予防)に貢献しているのではないかとと思われるが、さらなる症例の追

加が必要である。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) 鬼塚誠二, 明石英俊, 青柳成明, 他8名:

Stent-graft migration,

日本血管内治療学会雑誌 9(1):37-41, 2008

2) 澤田健太郎, 明石英俊, 青柳成明, 他3名:

胸部下行大動脈瘤ステントグラフト治療後に腹部大動脈瘤血栓閉塞をきたした1例,

日本血管外科学会雑誌 17(7):663-667, 2008

3) 明石英俊, 兵動弘枝, 大塚史織, 他5名:

心臓手術と術後管理よくばりかた' 胸腹部大動脈瘤手術,

HEART nursing 22(2):112-118, 2009

2. 学会発表

1) 三笠圭太, 明石英俊, 青柳成明, 他9名:

広範囲大動脈瘤、多発性大動脈瘤に対するHybrid therapy,

第16回日本大動脈外科研究会 2008/5/15, 長崎

2) 鬼塚誠二, 明石英俊, 青柳成明, 他8名:

腹部企業性ステントグラフト内挿術のpit-fall,

第26回日本Metallic Stent & Grafts研究会 2008/5/16-17, 長野

3) 三笠圭太, 明石英俊, 青柳成明, 他7名:

胸部大動脈病変に対するステントグラフト内挿術の治療成績, 第104回日本循環器学会九州地方会 2008/6/28, 鹿児島

4) 中村英司, 明石英俊, 青柳成明, 他9名:

術中ステントグラフト法の遠隔期成績, 第41回日本胸外科学会九州地方会 2008/7/24-25, 熊本

5) 金谷蔵人, 明石英俊, 青柳成明, 他8名:

ステントグラフト内挿術を施行した胸部下行大動脈瘤食道穿破の1例,

第12回大動脈ステントグラフト研究会 2008/7/26, 東京

6) 鬼塚誠二, 明石英俊, 青柳成明, 他9名:

胸部ステントグラフト内挿術，第 19 回九州心臓外科手術
手技研究会 2008/11/8，福岡

7) 鬼塚誠二、明石英俊、青柳成明，他 8 名：

胸部、腹部大動脈瘤に対する最新のステントグラフト内挿
術，

第 1 回福岡県医学会総会 2009/1/25，福岡

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
特になし

厚生労働科学研究補助金（循環器疾患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

分担研究者 國吉幸男 琉球大学 機能制御外科

研究要旨

対麻痺は脊髄虚血に起因する合併症として重要であるが、CT等の飛躍的な発達に伴い胸腹部大動脈瘤手術における術後対麻痺予防策も変遷してきている。胸腹部大動脈瘤手術における脊髄障害の最大の要因は、術中・術後脊髄虚血であるとの観点から我々の術式の工夫について報告する。

A. 研究目的

我々は胸腹部大動脈瘤手術における要点は、脊髄・腹部臓器を含む所属臓器の保護であると考え、遠位側の灌流と置換大動脈の分節的遮断を行ってきた。特に対麻痺予防の観点から行った我々の術式の工夫について報告する。

B. 研究方法

対象は当科における胸腹部大動脈瘤手術64例。年齢は22～85(平均 57.9±14.3)歳、解離症例が24例、真性瘤が40例であった。Crawford分類ではType I (20)及びType II (9)の広範囲症例が29例で、Type III 21例、Type IV 14例であった。緊急症例が13例、20.3%で、破裂6例、切迫破裂7例であった。緊急症例中5例が感染性動脈瘤であった。我々の対麻痺予防策は

- 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

を行ってきた。

加えて近年は、術中脊髄虚血の完全回避を目的として、遮断大動脈分節内の分節動脈灌流、さらにはMDCTを用いて術前 Adamkiewicz arteryの可及的同定を行っている。

(倫理面への配慮)

C. 研究結果

当科でのこれまでの対麻痺合併は諸家の報告同様3.1%であった。待機症例においては対麻痺の合併を認めなかったが、緊急症例で2例(15.4%)に対麻痺を認めた。同2症例は大動脈壁の石灰化著明な83歳の男性と術前より末梢側コレステロール塞栓を合併した67歳の男性であった。MEPモニター下分節動脈灌流に関して検討した。これまでに術中施行したMEPモニター

一にて 7 例 (35%) で電位低下を認めた。うち、分節動脈灌流可能であった 4 例では MEP 電位の回復を認め Critical artery と判定した。全例、同分節動脈を再建し、術後対麻痺を合併していない。一方、分節動脈灌流が不可能であった 3 例中 2 例は再建終了後も MEP 電位の回復を認めず、術後対麻痺を合併した。

D. 考察

胸腹部大動脈瘤手術時に、分節動脈灌流が可能な症例に関しては、術後対麻痺を回避できており、有用な手段である事が確認できた。緊急症例 (特に破裂例) は、多分節動脈遮断や分節動脈灌流困難例が多く、分節動脈再建法に関しては工夫が必要であると思われた。また、高度石灰化入口部を有する分節動脈の灌流及び再建に対するさらなる工夫も必要と思われた。

E. 結論

Adamkiewicz artery が脊髄虚血による対麻痺発症に非常に重要な役割を担っていることは論を待たない。しかし、我々の経験した術後造影の結果からは個々の症例毎のより複雑な血液供給の可能性が示唆されました。すなわち、直接的な血行温存の他、間接的な側副路を介した脊髄血行温存の可能性も示唆された。未だ不明な点が多いと思われる。従って、現時点では我々が行っている前述の工夫及び MEP モニター下選択的脊髄動脈灌流、さらには術前 MD-CT による Adamkiewicz artery の同定は、脊髄虚血の回避を目的として重要であると考えます。

F. 健康危険情報

特記すべきことなし。

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

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

特になし

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 湊谷 謙司
佐々木 啓明 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）について多施設共同コホート研究にて検討する。同時に、脊髄障害発生に与える要因についても検討する。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も調査し、同定技術の向上につなげる。

A. 研究目的

胸部下行・胸腹部大動脈手術中の重大な合併症たる脊髄障害の発生率軽減、治療成績のための多施設共同コホート研究に参加し、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動脈の同定実施が術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（12施設）

3) 目標症例数：① 胸部下行大動脈瘤 300～350例、② 胸腹部大動脈瘤 200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、

（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

2008年11月10日に国立循環器病センター高度先駆委員会に提出し承認を取得。2008年11月26日に国立循環器病センター倫理委員会に提出し研究開始の承認を取得。電子媒体（メール形式）によるデータ収集システムの構築を待って、3月

から後ろ向き観察研究のデータ入力と共に、前向き観察研究の症例登録を開始している。

D. 考察

症例データ入力開始されたばかりで研究目的1)～3)の研究成成果が得られていないが、国立循環器病センター内臨床研究センターの支援のもと、極めて有用な電子媒体（メール形式）によるデータ収集システムの構築ができた。このシステムを用いれば、他の多くの施設から2000例を超えるデータが迅速かつ正確に得られ、支障なく多施設共同コホート研究が進められ、その後のデータ解析が順調に施行できるものと考えられる。

E. 結論

多施設共同コホート研究に即した電子媒体（メール形式）によるデータ収集システムの構築ができ、Adamkiewicz 動脈同定実施の意義や術中脊髄障害の原因となる要因解析など優れた研究結果が得られると考える。

F. 健康危険情報

なし。

G. 研究発表

1. 論文発表
なし。
2. 学会発表
なし。

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。