

MDCTによる大動脈，Adamkiewicz動脈の同時評価

高瀬 圭

要旨：Multidetector-row CT (MDCT)によりAdamkiewicz動脈と大動脈全体の同時評価が可能となった。MDCTによる正確なAdamkiewicz動脈と全大動脈の評価には最適なプロトコールでの検査と適切な画像処理が求められる。非侵襲的なAdamkiewicz動脈の描出が可能になってからは，Adamkiewicz動脈の術前評価が手術時間の短縮や術後対麻痺の低減に有用であるという報告がみられるようになり，その意義が注目されている。Adamkiewicz動脈の術前診断と手術成績との関連はいまだcontroversialであるが，今後Adamkiewicz動脈の術前画像診断がより普及し，その手術成績改善への寄与がより多数例の検討により示されることを期待している。

(J Jpn Coll Angiol, 2004, 44: 693-699)

Key words: Adamkiewicz, aorta, MDCT, spine, aneurysm

はじめに

Multidetector-row CT (以下MDCT)の登場から数年が経過し，本邦では多くの施設に普及した。MDCTは特に血管系のイメージングには大きな威力を発揮し，シングルスライスヘリカルCTでは不可能であった広範囲の血管描出と詳細な分枝診断を両立させた。その結果，シングルスライスCTの時代には血管造影と相補的な役割で用いられてきたCT診断は血管造影を置き換えるに至り，診断のための術前血管造影は大多数の施設でほとんど行われなくなっているのが現状であろう。MDCTは単に血管造影の代わりをするだけでなく，三次元再構成画像による形態の直感的情報を提供する。さらに，Adamkiewicz動脈のように血管造影でも評価困難なこともある細部の血管の描出も可能となってきた¹⁻³⁾。

胸部大動脈および胸腹部大動脈術後の脊髄虚血障害の発生には多様な因子が関わっていると考えられ，脊髄遮断時間の短縮，補助循環の併用(大動脈末梢側灌流，選択的肋間動脈灌流)，肋間動脈の再建，脳脊髄液ドレナージ，低体温法等が術後の対麻痺予防のために行われている。術後脊髄障害の予防の根幹は脊髄の循

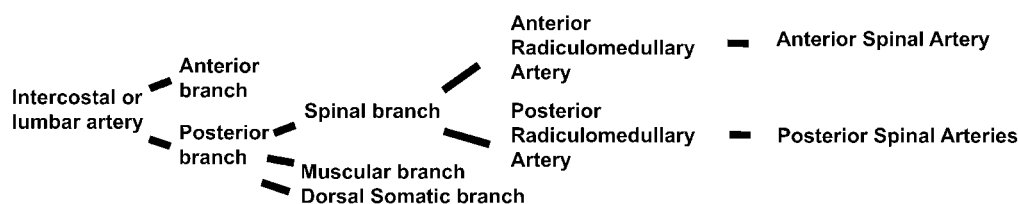
環維持と脊髄保護であるが，前者のためには胸腰部の脊髄血管支配に最も貢献しているAdamkiewicz動脈の術前同定が有用である⁴⁻¹⁷⁾。Adamkiewicz動脈を栄養する肋間動脈または腰動脈レベルの同定は肋間動脈再建レベルを含めた手術計画を可能にし，手術時間の短縮につながり，さらに，Adamkiewicz動脈を分枝する動脈あるいはその周囲の動脈の保存を図ることが可能となる。本稿ではMDCTによる術前Adamkiewicz動脈同定について，背髄動脈の解剖，検査法，画像処理法，評価法について述べ，大動脈疾患におけるAdamkiewicz動脈描出の臨床的有用性について考察することとする。

解剖

脊髄動静脈の分枝形態はFig. 1の通りである。

脊髄は脊髄の前正中裂を上下方向に走行する前脊髄動脈によって前部2/3ほどが栄養され，脊髄後面外側に1本ずつ存在する後脊髄動脈が脊髄後索を栄養している。胸腰部の前脊髄動脈は肋間動脈と腰動脈から分枝する前根髄動脈により血液を供給されるが，前根髄動脈のうち最も大きなものがAdamkiewicz動脈である。Koshinoらの剖検による報告では左側に存在する率が72%，Th8からL1までの間に存在する率が91%であ

Spinal arteries



Spinal veins

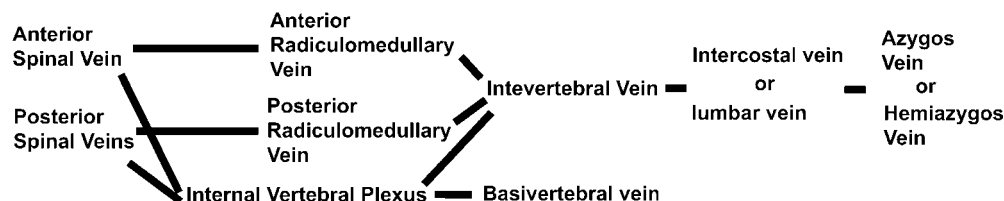


Figure 1 Vascular anatomy of the spine.

る¹⁸⁾。前脊髄動脈はAdamkiewicz動脈流入部よりも頭側で細く、尾側で太いことが多いため¹⁹⁾、CTでは尾側方しか描出できない場合も多い。

撮影方法

われわれはAdamkiewicz動脈と同時に大動脈全体と腸骨動脈の情報を得られるプロトコルを考案し、手術適応のある胸腹部大動脈疾患症例に応用している。それにより、大血管に関する情報はほとんど1回のCTのみで十分という、いわゆるone stop shoppingの検査法となる。われわれのプロトコルと検査のポイントを紹介する。微細な構造の描出であるためさまざまな注意点があるものの、8列以上のMDCTがあれば再現可能であるので参考にしていただきたい。

検査の手順はおおむね以下の通りである。

(1) スキャン前の準備

1. 良好な右尺側皮静脈, 不可能な場合には右外頸静脈を20G留置針にて確保。
2. マスクにて酸素投与。
3. 造影剤で温くなる旨, 軽い吸気で40秒ほど呼吸停止してもらおうが途中で苦しくなったら安静呼吸に切り替える旨, 十分に説明。
4. 椎体がアイソセンターに来るようにポジショニング。

(2) 大血管の単純CT撮影

(3) スキャン開始タイミングの設定

最近はおもなメーカーのMDCTには、大動脈への造影剤到達を感知してからスキャンがスタートする機能が搭載されるようになってきたため、必ず使用してほしい。

1. まず、造影剤到達のモニタリングスキャンの位置を決める。
2. 次に、下行大動脈の上部にregion of interest (ROI) を設定し、血管内のCT値が100~120HU程度でスキャン開始するように設定する。

(4) 造影早期相の撮影

1. 造影剤はやや濃度の高い350~370mg/dlのものを用いる。
2. 造影のラインが生理食塩水にて4.5ml/min以上でも抵抗, 疼痛なく注入できることを再度確認し, これから造影して温くなる旨を再度説明する。
3. 肺尖部から坐骨結節までの範囲をスキャン範囲とする。
4. スキャンパラメータは, 東芝社製 Aquilionの場合 Table 1 のように設定する。撮影機種は, スキャン速度は0.5秒, 検出器 8 列以上のものが望ましい。要は1mm以下のコリメーションで全体を40秒程度でスキャンできる機種が必要である。

Table 1 Scan parameters

Number of detectors	Collimation	Table speed	Reconstruction interval	Tube current	Voltage
4	2 mm	14 mm/sec	1.0 mm	120 kV	300 mA
8	1 mm	14 mm/sec	0.5 mm	120 kV	350 mA
16	0.5 mm	15 mm/sec	0.3 mm	120 kV	350 mA

(5) 遅延相の撮影

大動脈解離症例の偽腔の遅い血流の評価や炎症性大動脈瘤の壁の状態、さらに静脈解剖(retroaortic renal vein等)の把握のために撮影する。

(6) 画像再構成と処理

1. 二通りのfield of view(FOV)で画像再構成

短軸画像は全大動脈用にFOVを絞らない画像を作成し、Adamkiewicz動脈診断用にFOVを大動脈と、脊椎周囲に絞って空間分解能を上げた画像の2種類を作成する。

2. ワークステーション上で画像処理

われわれはアミン社製Zio M900 Quadraを用いている。Adamkiewicz動脈を一見して分かる画像にするには、大動脈から肋間動脈、Adamkiewicz動脈、前脊髄動脈に沿った曲面展開画像(curved planar reformat: CPR)が最も有用である。この画像の作成の前段階として、元の短軸画像を動画で丹念に観察してAdamkiewicz動脈を同定する必要がある³⁾。

重要なポイントは、造影剤のポラス性を保てる血管を確保することであり、右外頸静脈経由の造影となることも多い。スキャン時間が長いと酸素を3~5l/minほど投与し、息止めの仕方や造影剤投与時の熱感について十分説明して、患者が検査の意義を理解し協力する態勢にすることも重要である。

造影剤投与量は、大血管疾患のある症例でAdamkiewicz動脈を確実に描出するためにはどうしてもやや多めになってしまうが、体重や腎機能、瘤の大きさにより若干調整する。最近普及し始めたデュアルインジェクターを使用して生理食塩水による後押しをすれば2割ほど造影剤を低減できる。

Adamkiewicz動脈の同定と描出能

1mm間隔で画像を再構成した場合、短軸画像は800

~1,000枚程度になってしまうため、現在はワークステーション上で短軸像や冠状断面を動画としてスクロールしながら観察する方法が主体である(ページをめくるように観察することからpaging法またはcine法と呼ばれる)。短軸像では前脊髄動脈は脊髄の腹側正中に認められる。これに流入する血管がAdamkiewicz動脈であり、椎間孔を通ったのちに脊髄の腹側へと走行する(Fig. 2E~H)。冠状断のcine法ではhair-pin curveを形成しながら前脊髄動脈に連続するため、この構造を探しAdamkiewicz動脈を同定する。これに連続する肋間動脈の通る椎間孔のレベルを仙骨から数えAdamkiewicz動脈のレベルとする(Fig. 2I, J)。同定に際して最も問題となるのは、前根髄静脈との鑑別である。前脊髄静脈と前根髄静脈も非常に似た形状を示すため、形態のみからは動静脈の鑑別は不確実である。最も確実な鑑別方法は、肋間動脈あるいは腰動脈とAdamkiewicz動脈の連続性を描出することである(Fig. 2I, J)。われわれは4列MDCT, 2mmコリメーションにて脊柱管内でのAdamkiewicz動脈を90%で検出できたが、肋間動脈あるいは腰動脈とAdamkiewicz動脈の連続性が描出できた症例はそのうち32%であった。他の68%は静脈系が描出されないタイミングで撮影されていることを根拠にAdamkiewicz動脈であると推定した¹⁾。しかし、最近のわれわれの経験では、8列、16列CTでの1mm, 0.5mmコリメーションでのAdamkiewicz動脈の描出能は90%程度で4列CTでの結果と変化がないが、肋間動脈あるいは腰動脈とAdamkiewicz動脈の連続性はそのうちの9割程度で可能となり大幅に改善している。これにより、大部分の症例で動静脈の鑑別は可能になったと考えている。確実なAdamkiewicz動脈の同定には少なくとも1.0mm以下のコリメーション, 8列以上の検出器が望ましいと考えられる。

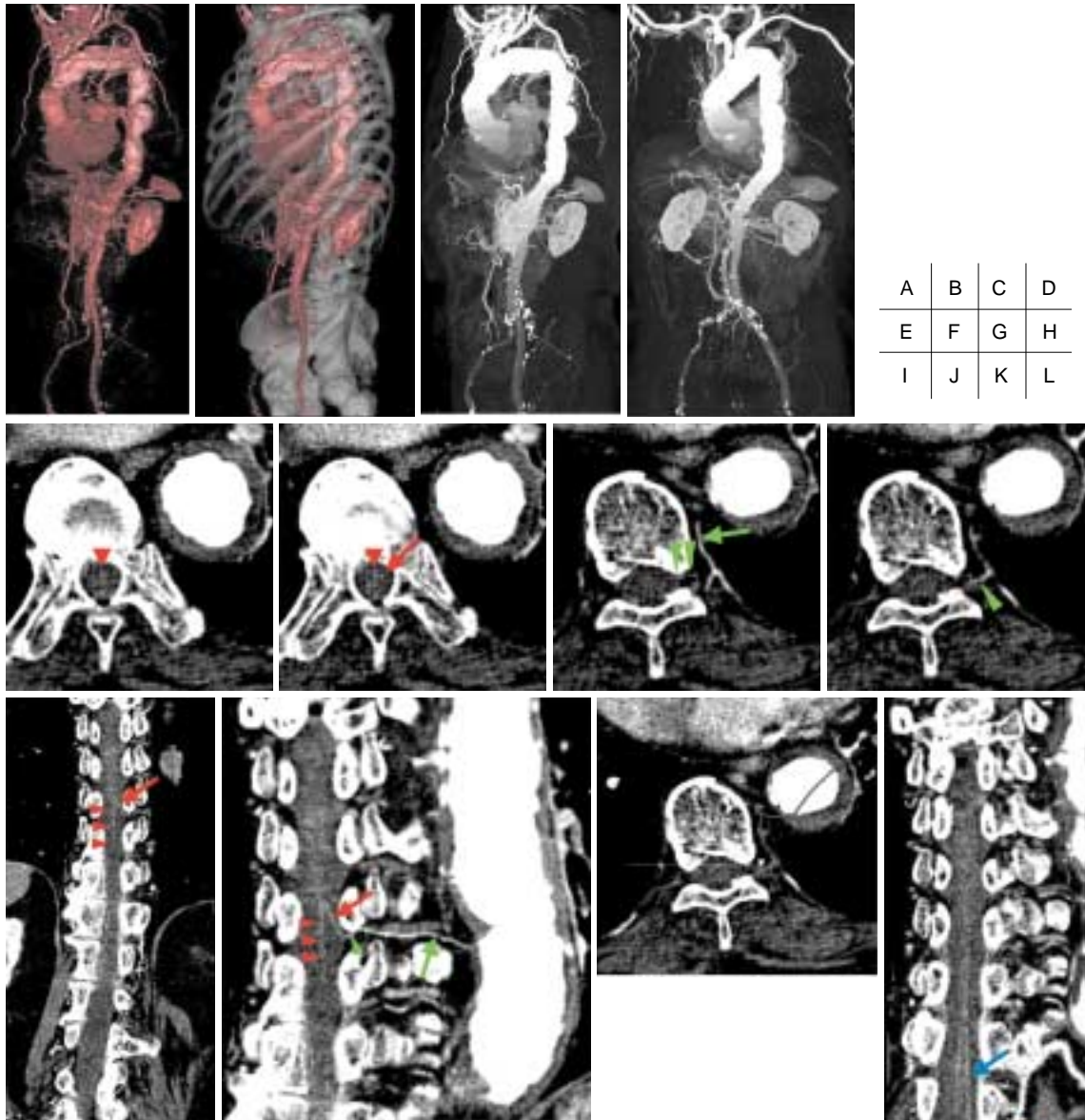


Figure 2 A male in his 70s male with thoracic aortic aneurysm. 16-detector-row MDCT images with 0.5 mm collimation.

A–D: Images of whole aorta. VR vascular image of left anterior oblique view (A) and superimposed bone and vascular image (B) shows multiple aortic aneurysms. MIP image of left anterior oblique view (C) and antero-posterior view (D) show stenosis of right iliac artery.

E–H: Transaxial images with magnified reconstruction.

Anterior spinal artery (red arrowheads) and the artery of Adamkiewicz (red arrows) are clearly visualized. Continuity from the stem of left 9th intercostal artery (green arrow), posterior branch of the intercostals artery (green arrowheads), the artery of Adamkiewicz through the anterior spinal artery are traceable by a paging method.

I, J: Curved planar reformation image along the aorta, left 9th intercostal artery, posterior branch of the intercostals artery, the artery of Adamkiewicz through the anterior spinal artery (reference line is shown in **Fig. 2K**).

Patent left 9th intercostal artery is clearly visualized, which supplies the artery of Adamkiewicz that continues to the anterior spinal artery making typical hair-pin curve.

L: Curved planar reformation image along the azygos vein, left 1st lumbar vein, anterior radiculomedullary vein, and anterior spinal vein. The anterior radiculomedullary vein can be distinguished from the artery of Adamkiewicz by visualizing its continuity to venous structures, although the anterior radiculomedullary vein and anterior spinal vein show similar hair-pin curve.

症例：弓部 - 下行大動脈瘤，Y-graft後 (Fig. 2)

70代男性，VR画像にて弓部から下行大動脈の多発性の大動脈瘤が認められる。元画像をpaging法にて観察すると，前脊髄動脈とAdamkiewicz動脈が認められる。左第9肋間動脈から前脊髄動脈に至るルートに沿ったCPR画像を作成すると，大動脈，肋間動脈，肋間動脈後枝，Adamkiewicz動脈，前脊髄動脈の連続性を1枚の画像で診断できる。椎間孔を通る部分でも連続性を追跡可能である。Z軸方向の分解能向上により血管の連続性認識が向上したことで，この症例では左L1肋間静脈に流入する前根髄静脈が同定できる。この血管は奇静脈系に流入することがCPR画像にて示され，動脈との鑑別ができる。

術前Adamkiewicz動脈同定の手術へのインパクト

術前に再建すべき肋間動脈を同定できることは，手術計画を立てるうえでも手術遂行上でも有利である。選択的血管造影によるAdamkiewicz動脈の術前同定の有用性も報告されているが⁶⁻⁹⁾，選択的血管造影による合併症の可能性も少なからずあり，胸腹部大動脈瘤や解離等を有する症例では肋間動脈，腰動脈の造影自体が実際的にはほぼ不可能である。術前に血管造影にてAdamkiewicz動脈の同定を行っている施設はごく少数であった。最近，MRIやMDCTによる非侵襲的なAdamkiewicz動脈の描出の報告がなされ^{1,2,20)}，その手術に対する有用性の報告もみられるようになり¹³⁻¹⁷⁾，Adamkiewicz動脈術前評価の意義が再び検討されている。

術後対麻痺発生には，Adamkiewicz動脈再建の有無だけでなく，術中の動脈遮断時間，術中還流方法，脊髄血流動態の個人差等多数の要因が関係していると考えられる。しかし，Adamkiewicz動脈の起始部を術前に知っておき，その支配血管である肋間あるいは腰動脈のみを再建することは術中遮断時間の短縮にもなり^{13,15)}，術後のAdamkiewicz動脈の確実な血流保存にもつながる有効な方法と思われ，Adamkiewicz動脈が動脈置換範囲外にあることが分かれば，肋間動脈の再建を省略して手術時間を短縮できる¹⁴⁾。また，その動脈のレベルに術中灌流を行うことで術中の脊髄虚血を最小限に抑えることも検討されている¹⁶⁾。動脈置

換範囲内からAdamkiewicz動脈が起始していれば，あらかじめ再建すべき肋間動脈が分かっているため，可及的に多くの肋間動脈を再建する術式に比べて手術時間を短縮できる^{15,17)}。術中動脈遮断時間が術後合併症に影響するため，これを短縮できることは大きなメリットである。

上記のような利点があるが，実際に同一施設で，術前にMRAによるAdamkiewicz動脈同定ができ，そのレベルの肋間動脈のみを再建した症例では，術前同定を施行せずに可及的に多くの肋間動脈を再建した症例よりも，有意に合併症を低下できたとする報告もみられる¹³⁾。

これらとは対照的にGriepらは，somatosensory-evoked potentialsの術中モニタ下に，問題のない肋間動脈を結紮し，他を再建する方針で手術を進めていくと，結果として肋間動脈の再建が必要な症例はなかったとしている。それでも10分節以下の置換では脊髄合併症はなく，10分節以上置換の21例中2例で対麻痺が起り，全体の対麻痺発生率は2%だったとしている。この結果から，前脊髄動脈は血行動態的に1本のAdamkiewicz動脈には依存していないのではないかと彼らは考察している²¹⁾。

Adamkiewicz動脈の術前診断と手術成績との関連はいまだcontroversialである。非侵襲的なAdamkiewicz動脈評価法が確立して日が浅いことも原因であろう。GriepらでさえもMDCT登場前の1996年の上記報告のdiscussionで，安全なAdamkiewicz動脈術前同定法の登場を望んでいる²¹⁾。

今後，Adamkiewicz動脈の術前画像診断がより普及し，その手術成績改善への寄与が，より多数例の検討により示されることを期待している。

文 献

- 1) Takase K, Sawamura Y, Igarashi K et al: Demonstration of the artery of Adamkiewicz at multi-detector row helical CT. *Radiology*, 2002, **223**: 39-45.
- 2) Yoshioka K, Niinuma H, Ohira A, et al: MR angiography and CT angiography of the artery of Adamkiewicz: Noninvasive preoperative assessment of thoracoabdominal aortic aneurysm. *Radiographics*, 2003, **23**: 1215-1225.
- 3) 千葉美洋，高瀬 圭：3次元医用画像作成秘法マニュアル - Zio M900の基礎から臨床での活用法まで - (高瀬 圭編)，メジカルビュー，東京，2004。

- 4)Svensson LG, Crawford ES: Cardiovascular and vascular disease of the aorta. WB Saunders, Philadelphia, 1997.
- 5)Svensson LG, Crawford ES, Hess KR et al: Experience with 1509 patients undergoing thoracoabdominal aortic operations. *J Vasc Surg*, 1993, **17**: 357–370.
- 6)Koroshetz AM, Taveras JM: Anatomy of the vertebrae and spinal cord. In: *Radiology: Diagnosis-Imaging-Intervention*, Vol. 10, **101**, Taveras JM, ed, J. B. Lippincott Company, Philadelphia, 1989, 1–14.
- 7)Benson JE, Han JS: Examination of the spine. In: *Radiology: Diagnosis-Imaging-Intervention*, Vol. 10, **102**, Taveras JM, ed, J. B. Lippincott Company, Philadelphia, 1989, 1–18.
- 8)Wan IY, Angelini GD, Bryan AJ et al: Prevention of spinal cord ischaemia during descending thoracic and thoracoabdominal aortic surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2001, **19**: 203–213.
- 9)Williams GM, Perler BA, Burdick JF et al: Angiographic localization of spinal cord blood supply and its relationship to postoperative paraplegia. *J Vasc Surg*, 1991, **13**: 23–35.
- 10)Fereshtetian A, Kadir S, Kaufman SL et al: Digital subtraction spinal cord angiography in patients undergoing thoracic aneurysm surgery. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 1989, **12**: 7–9.
- 11)Savader SJ, Williams GM, Trerotola SO et al: Preoperative spinal artery localization and its relationship to postoperative neurologic complications. *Radiology*, 1993, **189**: 165–171.
- 12)Heinemann MK, Brassel F, Herzog T et al: The role of spinal angiography in operations on the thoracic aorta: Myth or reality? *Ann Thorac Surg*, 1998, **65**: 346–351.
- 13)Kawaharada N, Morishita K, Fukada J et al: Thoracoabdominal or descending aortic aneurysm repair after preoperative demonstration of the Adamkiewicz artery by magnetic resonance angiography. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2002, **21**: 970–974.
- 14)Fukada J, Morishita K, Hyodoh H et al: Descending or thoracoabdominal aortic aneurysm repair without intercostal vessel reconstruction using contrast magnetic resonance angiography: Report of two cases. *Surg Today*, 2002, **32**: 163–166.
- 15)Fukada J, Morishita K, Kawaharada N et al: Less-invasive thoracic aortic aneurysm repair. *Ann Thorac Surg*, 2002, **74**: 1244–1246.
- 16)Ohtsubo S, Itoh T, Okazaki Y et al: Selective perfusion of preoperatively identified artery of Adamkiewicz during repair of thoracoabdominal aortic aneurysm. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2004, **127**: 272–274.
- 17)Hachiro Y, Kawaharada N, Morishita K et al: Thoracoabdominal aortic aneurysm repair after detection of the Adamkiewicz artery by magnetic resonance angiography; A way to shorten operating time and improve outcome. *Kyobu Geka*, 2004, **57**: 280–283 (Japanese).
- 18)Koshino T, Murakami G, Morishita K et al: Does the Adamkiewicz artery originate from the larger segmental arteries? *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1999, **117**: 898–905.
- 19)Morishita K, Murakami G, Fujisawa Y et al: Anatomical study of blood supply to the spinal cord. *Ann Thorac Surg*, 2003, **76**: 1967–1971.
- 20)Yamada N, Takamiya M, Kuribayashi S et al: MRA of the Adamkiewicz artery: A preoperative study for thoracic aortic aneurysm. *J Comput Assist Tomogr*, 2000, **24**: 362–368.
- 21)Griepp RB, Ergin MA, Galla JD et al: Looking for the artery of Adamkiewicz: A quest to minimize paraplegia after operations for aneurysms of the descending thoracic and thoracoabdominal aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1996, **112**: 1202–1213.

Simultaneous Evaluation of Whole Aorta and the Artery of Adamkiewicz by MDCT

Kei Takase

Department of Diagnostic Radiology, Tohoku University School of Medicine, Miyagi, Japan

Key words: Adamkiewicz, aorta, MDCT, spine, aneurysm

Recent technical advances allow simultaneous visualization of the artery of Adamkiewicz and the whole aorta at MDCT. While we can visualize the artery of Adamkiewicz in the high percentage of patients with thoracoabdominal aortic diseases, CT scanning with the adequate protocol followed by careful processing is essential for accurate evaluation. The noninvasive evaluation of the artery of Adamkiewicz is beneficial in planning surgery. Preoperative evaluation of the intercostal arterial level from which the artery of Adamkiewicz originates is reported to considerably help to prevent postoperative spinal cord ischemia. However, effectiveness of preoperative information of the artery of Adamkiewicz remains controversial. Further studies will contribute to the assessment of preoperative information in improving surgical outcomes. (J Jpn Coll Angiol, 2004, **44**: 693–699)