

3大疾患の診断に活躍するCT装置

CT Scanner for Diagnosis of Three Most Common Diseases

内蔵 啓幸 奥村 美和 津雪 昌快

■ KURA Hiroyuki

■ OKUMURA Miwa

■ TSUYUKI Masaharu

3大疾患(がん、心疾患、脳血管疾患)における診断治療のワークフローにおいて、CT(Computed Tomography: コンピュータ断層撮影)装置の位置づけが変化している。従来のCT装置は、人体の断面像を撮影し、臓器の3次元構造を画像化することを特長としていた。しかし、心臓や肺などの動きのある臓器を撮影することは困難であった。

しかし、近年マルチスライスヘリカルCT装置の登場により撮影機能が飛躍的に改善し、これらの動きのある臓器も3次元的に描出することが可能になった。

Conventional computed tomography (CT) scanners generate cross-sectional images of the human body and render three-dimensional images of organs. However the scanning of moving organs such as the heart and lung was unsuitable.

Recently, however, multislice helical CT scanners have appeared with dramatically improved performance and functions, including the capability to render three-dimensional images of moving organs. Accordingly, the functions of the latest CT scanners for diagnosing the three most common diseases (cancer, cardiac disease, and cerebrovascular disease) are changing.

1 まえがき

近年マルチスライスヘリカルCT(Computed Tomography: コンピュータ断層撮影)装置の登場により、スライス位置再現性、空間分解能、密度分解能、時間分解能などの特性が飛躍的に改善された。これらの技術革新によりCT装置は、3大疾患を発見することが可能になったと言っても過言ではない。

ここでは、3大疾患の診断に果たすCT装置の役割を、技術の面から述べる。

2 CT装置とは

CT装置の外観を図1に示す。中央に穴があいたガントリ部と呼ばれる部分、被験者を載せて移動する寝台、及び画像を再構成するコンピュータと画像表示装置から成っている。ガントリにはX線管と高圧電源、X線検出器、及びデータ収集ユニットが載っており、被写体の回りを回転するような機構になっている。

CT装置では、X線管から発生したX線が被写体を透過し、X線検出器でX線を受ける。図2のように、このX線管-X線検出器のペアが被写体の回りを1回転することで、被写体の断層写真を得る。被写体内部では、その組織によってX線の吸収の大きさが異なる。X線検出器で取得したデータから、被写体内部での吸収体分布を計算することにより、内部の構造を求めることができるのである。このようにして得られた断層写真の例を図3に示す。



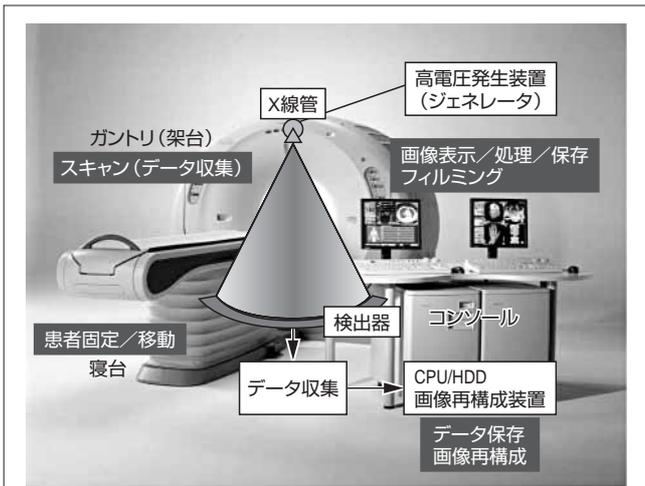
図1. Aquilion™64 — Aquilion™64は、東芝メディカルシステムズ(株)の最新・最上位機種であり、ガントリ、寝台、及びコンソールから成る。

Aquilion™64 CT system multislice helical CT scanner

1971年にCT装置が実用化されて以来、技術革新は、画像収集時間の短縮、画像収集枚数の多数枚化という点で目覚ましい進展があった。特に、1998年、4断面同時撮影可能なマルチスライスCT装置が東芝(現 東芝メディカルシステムズ(株))から発売されて以来、臨床現場での普及が一気に進んだ⁽¹⁾。

マルチスライスCT装置は、1回転のスキャンで複数のスライスが一度に撮影でき、例えば、4列の検出器を備えたCT装置では、それらのデータを同時収集することで、4断面同時にスキャンが可能である。

現在マルチスライスCT装置は4列から64列へと多列化が進んでいる。64列マルチスライスCT装置 Aquilion™64は、



HDD：ハードディスク装置

図2. CT装置の構造 — ガントリにはX線管、高電圧発生装置、及びX線検出器が搭載されている。検出器からのデータはコンソールに送られて画像が作られ、更に診断のためのフィルミングまで行われる。

Configuration of AquilionTM64 system

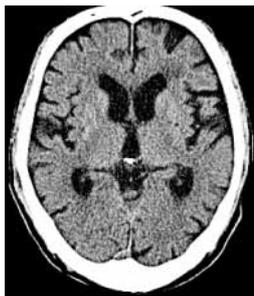


図3. 断層写真の例 — CT装置で撮影した頭部断層写真の例である。

Example of axial image by CT (brain scan)

全身の広範囲な領域を一度に撮影できる、撮影時間が短い、体軸分解能が高いといった特長を持つ。当社は、これらの特長を達成するために、次のような要素技術を開発した。

- (1) 細かく撮影するための高精細検出器技術⁽²⁾
- (2) 多列化になっても正確に画像を再構成する技術⁽³⁾
- (3) できるだけ人体への被ばくを小さくするための技術
- (4) 膨大に発生するデータを効率よくハンドリングする技術
- (5) 使い勝手をよくするための臨床応用ソフトウェア技術

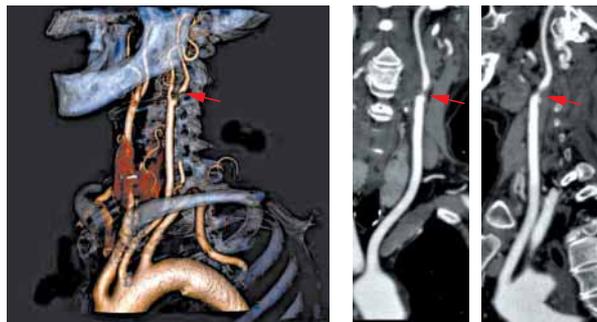
3 脳血管疾患の診断と治療への貢献

頭部外傷及び脳血管疾患で病院に運び込まれた患者に対して、CT装置が第一選択として適用されていることが多い。頭部は固定が容易で動かない臓器のため、もっとも早くCT装置が画像診断に適用された部位の一つである。

救急患者に対してはCT単純写真(プレーン)を撮り、外傷

の有無と出血の有無を確認する。そして、CT血管造影(CTA：CT Angiography)が適用される。脳血管のCTAは現在では広く普及した検査である。

頭部自体は全体で120～140mmであるが、脳虚血疾患では、しばしば頭蓋(がい)外動脈にその原因がある場合があるので、胸部大動脈弓から頭蓋底部までの約350mmを広く撮影することが必要となってくる。AquilionTM64を用いると、約8秒で撮影が可能である(図4)。



135 kV, 130 mAs, 0.5 s/rot, 0.5 mm×64, HP 41, Scan Range 210 mm, Scan time 5 s

データ提供：藤田保健衛生大学病院

図4. AquilionTM64の臨床画像 — 大動脈弓から頭部までCTAにより撮影したもので、矢印で示した部分に狭窄(きょうさく)がある。細かく、速く、広い範囲が撮影できるようになったことで、このような画像が得られるようになった。

Example of clinical image by AquilionTM64 CT system

脳虚血疾患の場合、CTパフュージョン(CTP：CT Perfusion)を行うことが広く行われている。CTPとは、血管及び脳組織が造影剤により染まっていくようすを時間方向に観察し、血流の機能情報を画像化する技術である。図5は、CTP解析画像例である。

超急性期の脳梗塞(こうそく)では、診断確定や治療方針

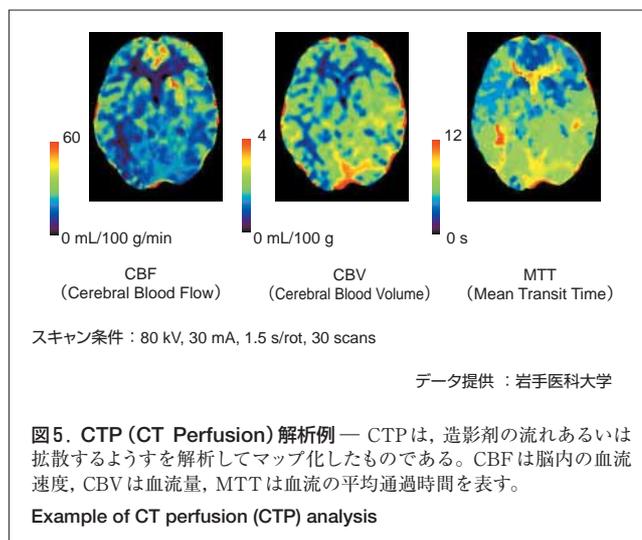


図5. CTP (CT Perfusion) 解析例 — CTPは、造影剤の流れあるいは拡散するようすを解析してマップ化したものである。CBFは脳内の血流速度、CBVは血流量、MTTは血流の平均通過時間を表す。

Example of CT perfusion (CTP) analysis

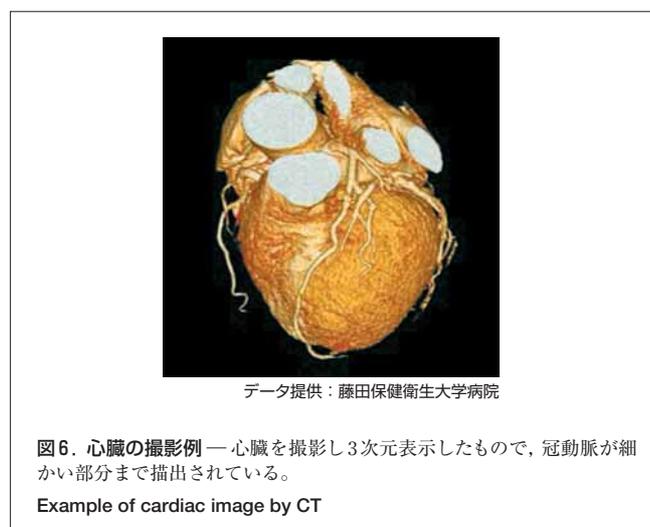
決定のために可能な限り短時間で局所脳血流量を評価する必要があり^{(4), (5)}, 最近ではCTPを用いることが多くなってきた。従来は、核医学を使った検査が多く使われてきたが、CTPでも治療適応や最終梗塞の範囲などで定量的解析が試みられている。CT装置を使うメリットは、比較的簡便にできることであり、可能な限り短時間で診断及び治療を行う必要がある脳血管疾患の場合に有効だと考えられている。

4 心疾患の診断と治療への貢献

動く臓器である心臓を撮影できるようになったのは、マルチスライスCT装置が開発されてからのことである。

Aquilion_{TM}64は心臓を7秒以下でスキャン可能であるが、スキャン時間の短縮により、患者さんの息止め時間の負担が軽減するとともに、スキャン中の心拍数変動の影響を抑えることができるようになった。

また、0.35秒スキャンと再構成技術の進歩(心電図同期再構成⁽⁶⁾)により時間分解能100ミリ秒以下を達成し、動く臓器である心臓を、十分止まって見せることができるようになった。その代表例を図6に示す。



冠動脈疾患は、直径2～5 mm大の冠動脈が狭窄(きょうさく)を起こすもので、心筋虚血が起こった場合は虚血性心疾患と呼ばれる。

従来、このような症例にはX線循環器診断システムによる冠動脈血管造影(CAG)が行われてきた。熟練した医師では数十分で終わることが可能であり、簡便かつ治療(インターベンション)への移行も容易であるので、高度の冠動脈リスクを持つ症例にはCAGが有効であることは疑いもない。

しかし、CAGは侵襲的な検査方法であるため、患者負担が大きい。そのため、中度から軽度の冠動脈疾患が見込まれる場合は非侵襲的な検査方法のほうが望ましいとされ、最近で

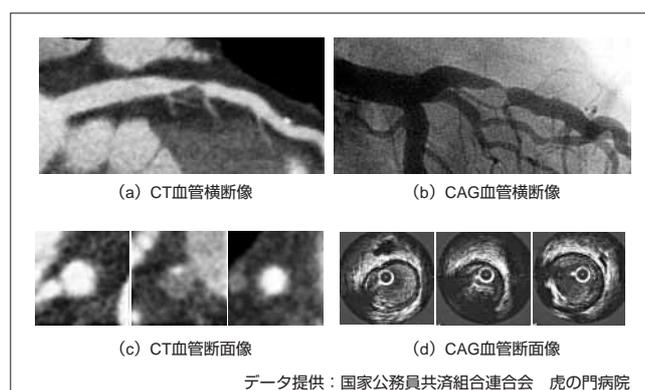


図7. CTAとCAGの対応 — 冠動脈をCTAとCAGにより撮影した例である。狭窄部分がよく対応している。

Comparison of images of coronary artery by computed tomography angiography (CTA) and coronary angiography (CAG)

は、CTAがCAGに替わる方法として期待されている。

特に、救急外来では、不必要な入院やCAGを減らす可能性があると言われて⁽⁷⁾。図7は、冠動脈をCTAとCAGで撮影し対比させた結果であり、対応が良好であることがわかる。

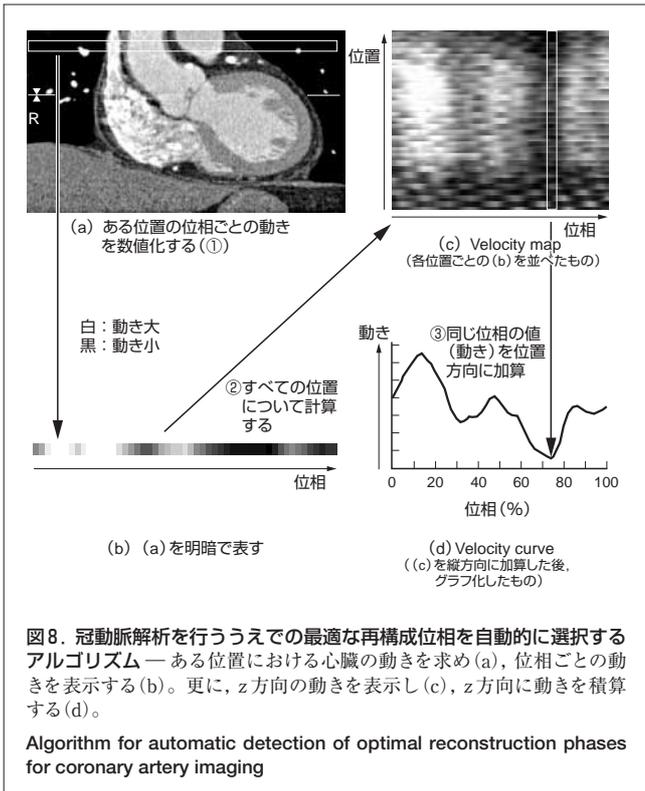
さて、以上のような冠動脈CTAを広く一般に普及させるために、CT装置自体の性能だけでなく、操作者の手間を省くための臨床アプリケーションソフトウェアの開発が果たした役割は大きい。その一つとして、自動最適位相検索ソフトウェア(Phase eXact)について述べる。

CT断面画像を体軸方向(Z軸方向)に重ねた画像群を、以後、ポリリュームデータと呼ぶ。CT装置では、心電図同期信号に基づいた各心拍位相におけるポリリュームデータを得ることができる。解析処理、特に、冠動脈解析では、心臓のモーションアーティファクトがいちばん少ない心拍位相のポリリュームデータを使用しなければ良好な結果は得られない。

しかし、被験者の心拍数や心電図情報を考慮しながら最適心拍位相の選択を行わねばならず、時間と手間の掛かる、また、操作者間の再現性の低い処理であった。これらの問題を解決するために、当社はPhase eXactを開発した。

心電図同期再構成時に、相対値や絶対値といった数値ではなくSystole(心臓が収縮する時期)やDiastole(心臓が拡張する時期)などと指定すると、心臓のモーションがいちばん少ない最適な位相を自動的に検索し、その位相で再構成を行う。自動最適位相検索機能の処理の概要を図8に示す。

ポリリュームデータのあるスライスについて、直前の心拍位相と比べ、心臓の位置の変化量の総和を心臓の“動き”として数値化する。心拍位相ごとに同一スライス上で動きを計算し、それを体軸方向にスライスを切り替えながら順次計算を繰り返すことにより、ポリリュームデータ全体における各心拍位相の動きを求める。動きの値がいちばん大きいと



ころを黒、いちばん小さいところを白として、動きの大きさに応じて相対的に色を割り付け、縦軸を体軸方向のスライス位置、横軸を心拍位相として値を配置していくと、図8(c)に示すように、1心拍におけるボリューム全体の動きの大きさを俯瞰(ふかん)できる。

この俯瞰図上で、縦方向に色調が暗い領域が連続している心拍位相は、動きが少ない心拍位相である。心拍位相ごとに位置方向に各スライスの値を加算すると、図8(d)のように、心拍位相ごとの動きの変化をグラフで表すことができる。グラフ上で動きが最小を示す心拍位相が、いちばん動きの少ない位相である。

5 がんの診断と治療への貢献

日本ではがんによる死亡者がいちばん多く、部位別では肺がん、胃がん、大腸がん、肝臓がんの順で多いと言われる。特に肺がんは5年生存率が30%と低く、難治がんと言われている⁽⁸⁾。

がんの治療率向上には早期発見がもっとも効果があると言われているが、健常者かもしれないので、できるだけ被ばくを少なくして検査をすることが課題の一つである。

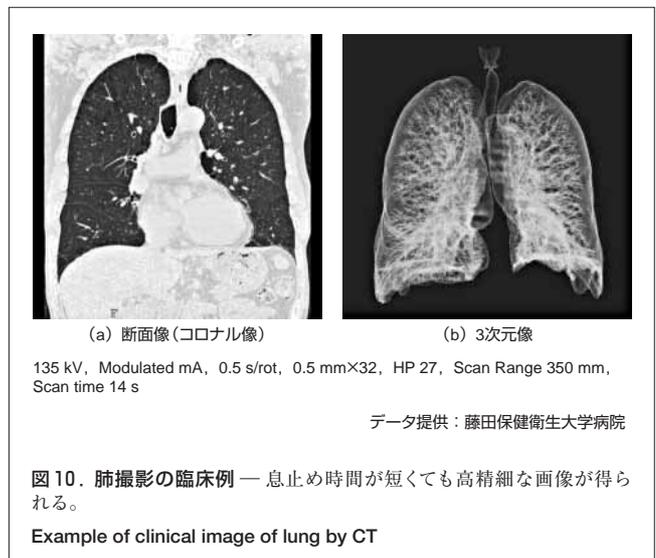
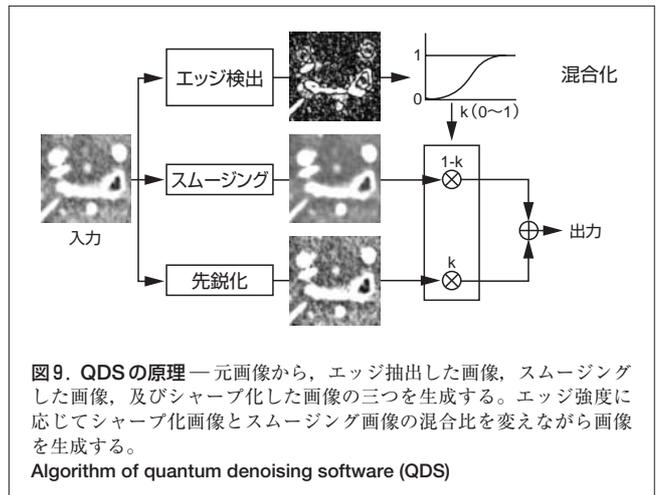
AquilionTM64には、被ばくを低減するための臨床アプリケーションソフトウェアが実装されている。その一つである量子フィルタ(QDS: Quantum Denoising Software)は、高分解能な画質を維持しながら画像ノイズを低減することがで

き、被ばく線量に換算すると、部位により約50%の減少に相当する。

このフィルタは被写体構造物を認識し、エッジなどの変化の大きいところはシャープに、変化の小さい(均一に近い)ところはスムーズに処理するアダプティブフィルタであり、構造物をぼかすことなくノイズを低減させることができる(図9)。また、このフィルタのもう一つの特長である3次元フィルタ処理は、MPR(Multi Planner Reconstruction)画像や3次元画像においてもノイズ低減に効果的である⁽⁹⁾。

このほかにも、様々な被ばく低減技術が工夫されている。

現在の肺がん検診は単純X線写真によって実施されているが、最新の研究では、CT検診が早期がん発見に有効であることが証明された⁽¹⁰⁾。検査に必要な被ばくを十分小さくすることができれば、将来的に肺がんのCT検診が普及するだろう。CT装置による肺撮影の臨床例を図10に示す。



6 CT装置の将来

CT装置は、いっそうの多列化、高速化、及び高精細化が期待されている。これにより、人体の形態画像をより正確に得ることができるようになる。このことは、診断学の進歩に貢献し、また、治療を行うにあたってのガイドラインを得るのに役だつと期待される。

また、頭部ではCT装置を使った血流機能情報の画像化が一部始まっていることは前述したが、このような臨床応用が他の臓器へも適用され、機能検査の点でも注目されつつある。

7 あとがき

以上述べたように、CT装置は3大疾患のすべてを発見することが可能になったと言っても過言ではない。ここ数年、マルチスライスCT装置の登場以来、過去の診断・治療のワークフローを大きく変えてきた。

今後も更なる多列化、高速化、及び高精細化を進め、画像診断の発展に寄与していく。

文 献

- (1) 片田和廣, ほか. マルチスライスCTの現状と将来. Multislice CT 2002 BOOK 映像情報メディカル. **35**, 7, 2003, p.24 - 47.
- (2) Okumura, M., et al. Development of X-ray detector for Multislice CT with 0.5 mm slice thickness and 0.5 second revolution. Medical Imaging 2002, Physics of Medical Imaging, Proc. **SPIE 4682**, 2002, p.755 - 763.
- (3) USA Patent No.5, 825, 842. X-ray Computed Tomographic Imaging Device and X-ray Computed Tomographic Method.
- (4) Provenzale, J. M., et al. Assessment of the patient with hyperacute stroke. *AJNR*. **21**, 8, 2000, p.1441 - 1449.
- (5) Latchaw, R. E., et al. Assessment of the patient with hyperacute stroke: imaging and therapy. *Radiology*. **229**, 2, 2003, p.347 - 359.

- (6) Taguchi, K., et al. Direct cone-beam cardiac reconstruction algorithm with cardiac banding artifact correction. *Med Phys*. **33**, 2, 2006, p.521 - 539.
- (7) 新沼廣幸. 心・大血管への臨床応用. *MULTISLICE CT IMAGING INNERVISION*. May, 2006, p.08 - 11.
- (8) 仁木 登. 肺癌CAD. *Multislice CT 2004 BOOK 映像情報メディカル*. **36**, 6, 2004, p.148 - 155.
- (9) Okumura, M., et al. Performance Evaluation for Image Filters Used for CT Images. Abstract of RSNA2003. 2003, p.720.
- (10) The International Early Lung Cancer Action Program Investigators. Survival of Patients with Stage I Lung Cancer Detected on CT Screening. *The New England Journal of Medicine*. **355**, 17, 2006, p.1763 - 1771.



内蔵 啓幸 KURA Hiroyuki

東芝メディカルシステムズ(株) CT開発部長。
CTの開発に従事。
Toshiba Medical Systems Corp.



奥村 美和 OKUMURA Miwa

東芝メディカルシステムズ(株) CT開発部 臨床応用開発担当グループ長。CT臨床応用ソフトウェア、ハードウェア、及び画質の開発に従事。日本放射線技術学会会員。
Toshiba Medical Systems Corp.



津雪 昌快 TSUYUKI Masaharu

東芝メディカルシステムズ(株) CT開発部 臨床応用開発担当参事。CT臨床応用ソフトウェア及びハードウェアの開発に従事。日本放射線技術学会会員。
Toshiba Medical Systems Corp.