

画像解析ワークステーション最新技術

～心臓 CT 解析へのストラテジー～

株式会社 AZE マーケティング部
阪本剛

はじめに

本邦において 64 列 CT (Computed Tomography) が臨床現場に普及されるようになったのは 10 年ほど前からのことであり、当時のホットトピックスであった心臓及び冠動脈の画像化は瞬く間に普及した。常に拍動を伴う心臓を撮影するために CT 装置では様々な工夫がなされ、その結果あたかも「静止した心臓」の画像データを得ることが可能になり、更には拍動をそのまま表現するような「動的な心臓」のデータをも得ることができる。得られるデータはますます多様化され、大容量化される中で我々はこれらを解析するにあたって、効率化またユーザーニーズの適切な反映、更にはこれから必要とされる新たな情報のために適した戦略 (ストラテジー) を持って画像処理技術の開発を行う必要がある。そのため本稿では心臓 CT 解析を次のように分類しそれぞれを解説する。すなわち「冠動脈病変検出」「左室心筋評価」「外科手術に対する情報提供」である。

効率的な冠動脈解析技術「新 CT 細血管解析」

64 列 CT による冠動脈狭窄の診断能は、感度 89%、特異度 96%、陽性的中率 78%、陰性的中率 98%とされており、中でも陰性的中率の高さにおいて有意冠動脈病変の除外し、侵襲的な冠動脈造影検査を最小限に抑えることが可能であるとされている。これにより冠動脈病変診断を目的とした心臓 CT 撮影が急速に発展することとなる (文献 1, 2)。

冠動脈病変を解析するにあたって必要な技術は「コンピュータが冠動脈を認識する技術」と「読影に際し適切な表示方法」である。我々はこれにあたって高速かつ高精度を両立させた血管抽出技術を搭載し、血管抽出から画像解析及びレポートまで一連のワークフローを完備した操作性を持つ冠動脈解析ソフト「新 CT 細血管解析」をリリースしている。以下に本ソフトウェアに搭載している機能の特徴を述べる。

1. 平均 20 秒以内ですべての冠動脈中心線の抽出。同時に左右冠動脈、大動脈等を分離。
2. AngioGraphic View、Partial Width MIP、左室内膜表示など多彩な表示手法
3. Curved MPR (CPR) と Volume Rendering 画像 (VR) の角度同期機能
4. 石灰化の影響を考慮し、造影剤部分に中心線を設定する中心線補正技術。
5. 冠動脈を自動で分類する自動ラベリング機能
6. 領域中の CT 値をカラーリングしプラークの性状評価をサポートする「クリアウインドウ」
7. すべての血管 CPR の DICOM 画像保存を一括化する保存プリセット機能
8. 冠動脈の病変評価をレポート一枚に収める冠動脈レポート出力機能

これらの技術はリリースの度に解析速度や抽出の精度、新しい表示方法などが更新されている。さらに多くの機能はユーザー施設から得られる要望を元に開発し実装されている。このような体制を堅持することで年々変化し進歩していく臨床の現場に確実に対応できるようにしている。

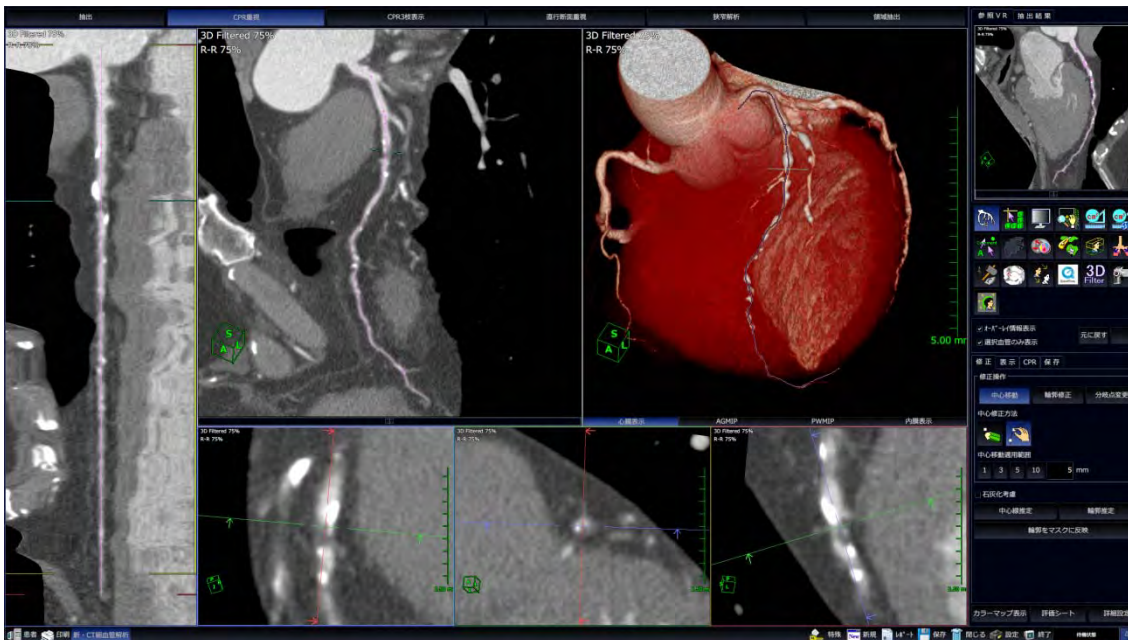


図1 新CT細血管解析。平均20秒以内で冠動脈の中心線を抽出する。

CTによる冠動脈形態情報と他モダリティによる機能情報との融合「FusionEX」

前述の通り、冠動脈診断を目的とした心臓CTデータの解析は十分に完備されており、現在様々な施設で実施されている。しかしながら現状の心臓CTではCTの特性上、高度石灰化を有する冠動脈が有意狭窄を伴うかを判断することは難しい。また、従来より虚血性心筋症の判定にゴールドスタンダードとして用いられてきたアイソトープ検査 (RI: Radio Isotope image) 並びに SPECT データ (Single Photon Emission CT) は虚血の有無を判定することに有利であるが、冠動脈走行は加味されないため虚血の責任血管を正確に同定することは難しいケースも存在する。これらを解決するため、我々は冠動脈CTと心筋SPECTデータを自動で融合する技術を開発した。これによりCTの高い空間分解能、SPECTの高い虚血検出能を組み合わせることで両者のメリット・デメリットを補いあうことが可能である。本解析はデータを起動後直ちに自動解析処理が進行し、冠動脈の中心線抽出や「CTとSPECTの位置関係の照合」を含めて、わずか30秒程度で完了する。全自動の解析操作が臨床での普及に大きく貢献することを期待している。

本解析における従来の問題点「CTとSPECTの位置関係の照合」は解決されている。すなわち当社が開発した技術「アトラスレジストレーション」はCTとSPECTの仲介データを介することで再現性及び定量性を確保可能な技術である (文献3)。この技術ではCTとSPECTのメーカーの異なり、またはCTとSPECTの撮影施設の異なりなどによる影響を受けないため、あらゆる施設で解析を実行することが可能である。

そうして得られた解析結果では負荷データと安静データを元にWash-out rateや治療可能な虚血部分の表示機能 (Reversibility)、定量化された心筋血流量データにおける心筋血流予備能 (MFR: Myocardial Flow Reserve) の表示など心筋のカラー表示やブルズアイマップの表示を様々に切り替えることが可能

である。さらに前述の新 CT 細血管解析が同時に起動しているため、虚血と責任病変の同定から冠動脈の狭窄、さらにはカテーテル治療へ向けたアンギオグラフィックビューによるナビゲートなど、「検出・診断・治療」を包括的にサポートすることが可能になる。

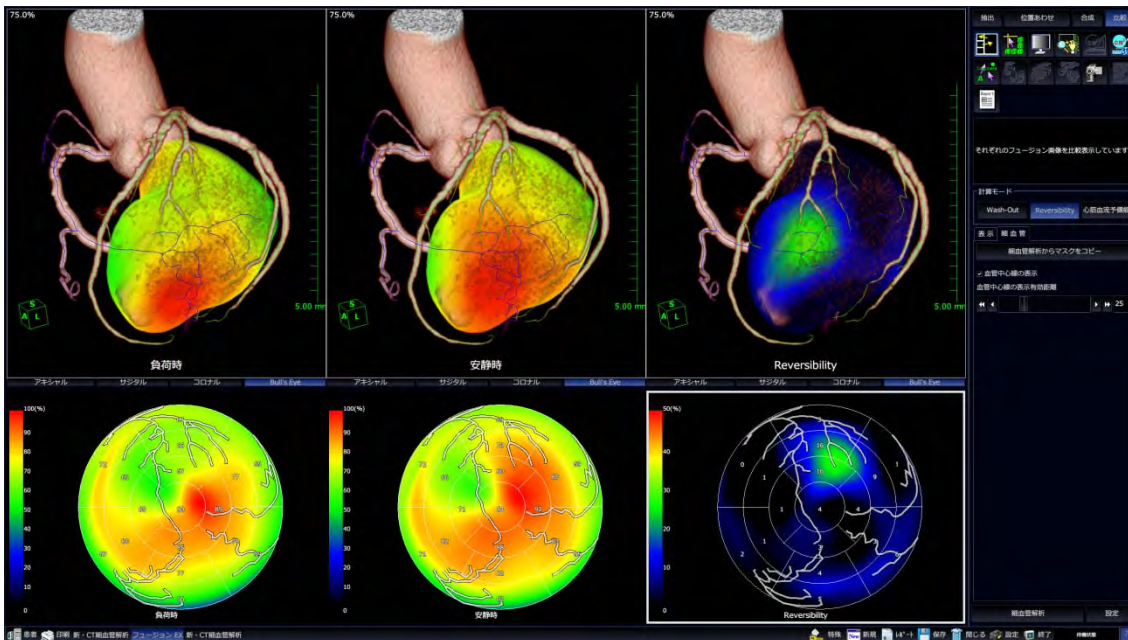


図2 FusionEX。CTによる冠動脈情報とSPECTによる機能情報を融合させる。

新しい可視化の方向性：心筋内膜表示・心筋領域解析

医用画像を利用して虚血性心疾患を捉えるための技術開発には十分な意義があり、前述のように様々なモダリティと画像解析技術の融合によって評価をしようという取り組みが存在する一方で、CTという単一のモダリティのみで可能な限り心筋虚血を検出しようとする取り組みも存在する。従来よりATP(アデノシン3リン酸2ナトリウム)により心筋に負荷を与えた状態にて造影剤が心筋を通過する瞬間を撮影することによって心筋虚血を検出する取り組みが存在する(文献4)。その一方で近年では心筋の特徴である拍動による心筋へのメカニカルストレスに着目することで、負荷を与えない安静時でも冠動脈に有意狭窄が存在すれば左室収縮期において心筋内膜に虚血が生じ、CTで検出が可能であることが示唆されている(文献5, 6)。このような事情を顧みて我々は心臓CTから左室内膜側のみを抽出しカラー表示することで、収縮時に生じる虚血によるCT値の低下部位を同定しやすくする機能を開発した。このように虚血検出に対して簡便な手法を用意することで、ひとつのデータから様々な可能性と情報を引き出すことができる。

さらに我々は有意冠動脈狭窄が心筋に与える影響について検討するために「肝臓解析」で利用されているボロノイ分割法を心筋に適応することで、血管が持つ灌流領域の推定する機能を開発した(文献7)。本機能は冠動脈走行を基に心筋の領域を分割するため患者特有の解剖構造に対応できる手法である。図3では右冠状動脈の病変によって下壁に生じたCT値の低下、及び計算によって推定された右冠状動脈の領域が表示される。有意病変が心筋へ与える影響を検討することで、薬剤治療または血管再建などの治療戦略の検討も最適化される可能性がある。

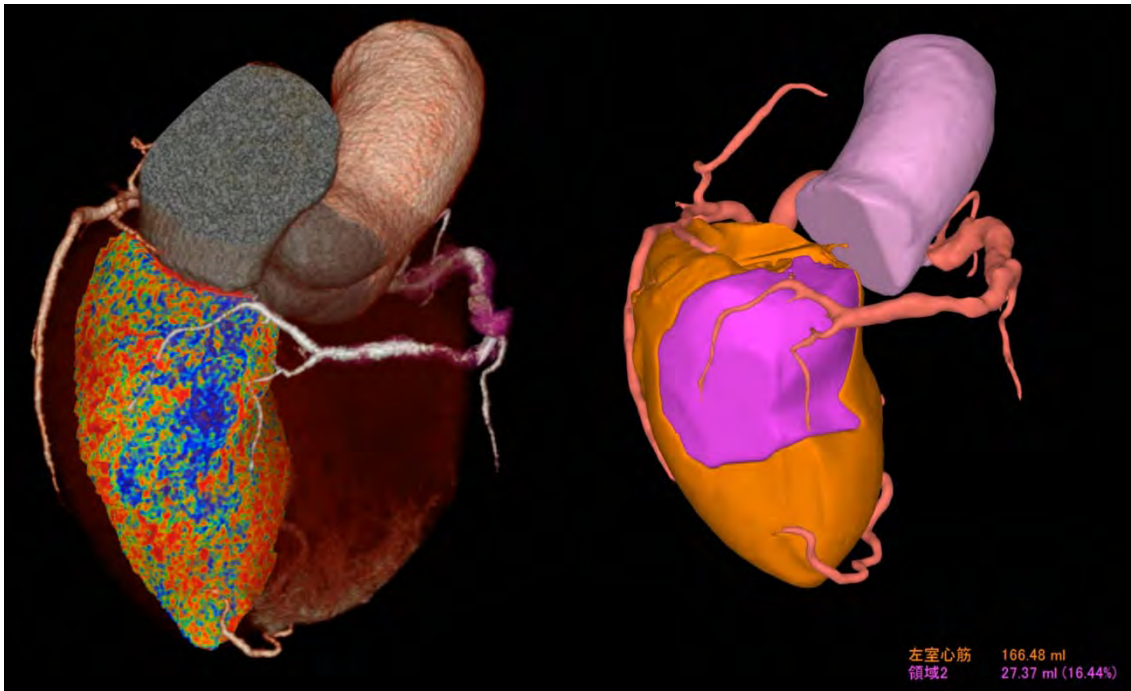


図3 下壁に生じるCT値の低下（右）と右冠動脈#3血管による灌流域の推定

最新のコンピューティング技術とリアルタイム 4D レンダリング : Formula

CT 技術の進歩はめざましく、従来は心拍中の静止位相のみを冠動脈読影用のデータとして取得し、画像解析を行っていた。しかしながら近年では R-R 間隔を等分割して得られる動的なデータから心拍を再現するような画像を作成できるようになった。これによって冠動脈外科手術として代表的な OPCAB（自己心拍下冠動脈バイパス再建術）など、近年盛んに取り組みられる心拍動下の手術に対する術前のイメージとして、その有効性が検討されている。さらに大動脈弁治療の新しい手技として注目されている TAVI（経カテーテル大動脈弁留置術）も、術前に必要な弁輪径の計測のために様々な心位相のデータの中で計測が行われている。しかしながらデータは増える一方であるのに対し、解析や表示技術はこのような 4 次元 CT 時代に対して対応できているとはいえ、せつかく 4 次元的に撮影されたデータも 1 フェイズごと静止した状態で表示、または解析が行われている現状は、以前から変わらない。これは以前のように院内ネットワークとは独立したスタンドアロンシステムで設置されていた過去と違い、院内ネットワークを利用した配信が主流になっている現在のワークステーションを取り巻く環境の面から考えても問題は大きい。なぜならあまりに負荷の大きい計算を実行する事によってシステムの安全性が損なわれるリスクも考えられるからである。

そこで我々は近年盛んに取り入れられている GPU (Graphics Processing Unit) による並列計算技術をワークステーションに実装することで高い負荷を要する 4 次元データ解析処理をスムーズかつ効率的に実行する「Formula」を開発した。使用される GPU の演算素子は 200 個以上内在しており、レンダリングやボリュームの回転処理、レジストレーションなどに伴う繰り返し処理の計算に優れるため、従来のような CPU (Central Processing Unit) に依存したレンダリングに比べて 20 倍近い演算スピードを得ることが可能である。これにより得られた 4D データを直ちにボリューム化し、1 秒間に 10~20 フェイズの心臓データを順次切り替えながらレンダリングを施し、回転処理や内部表示などをその場でリアルタイムに行うことが可能である。CT 撮影直後に実際に手術を担当される医師がこのようなデータを直ちに閲覧可能であり、このような高い負荷の処理を実行中であっても CPU への負荷は少ないため、従来よりもシステム全体の安定性を高めることが可能であると考えられる。

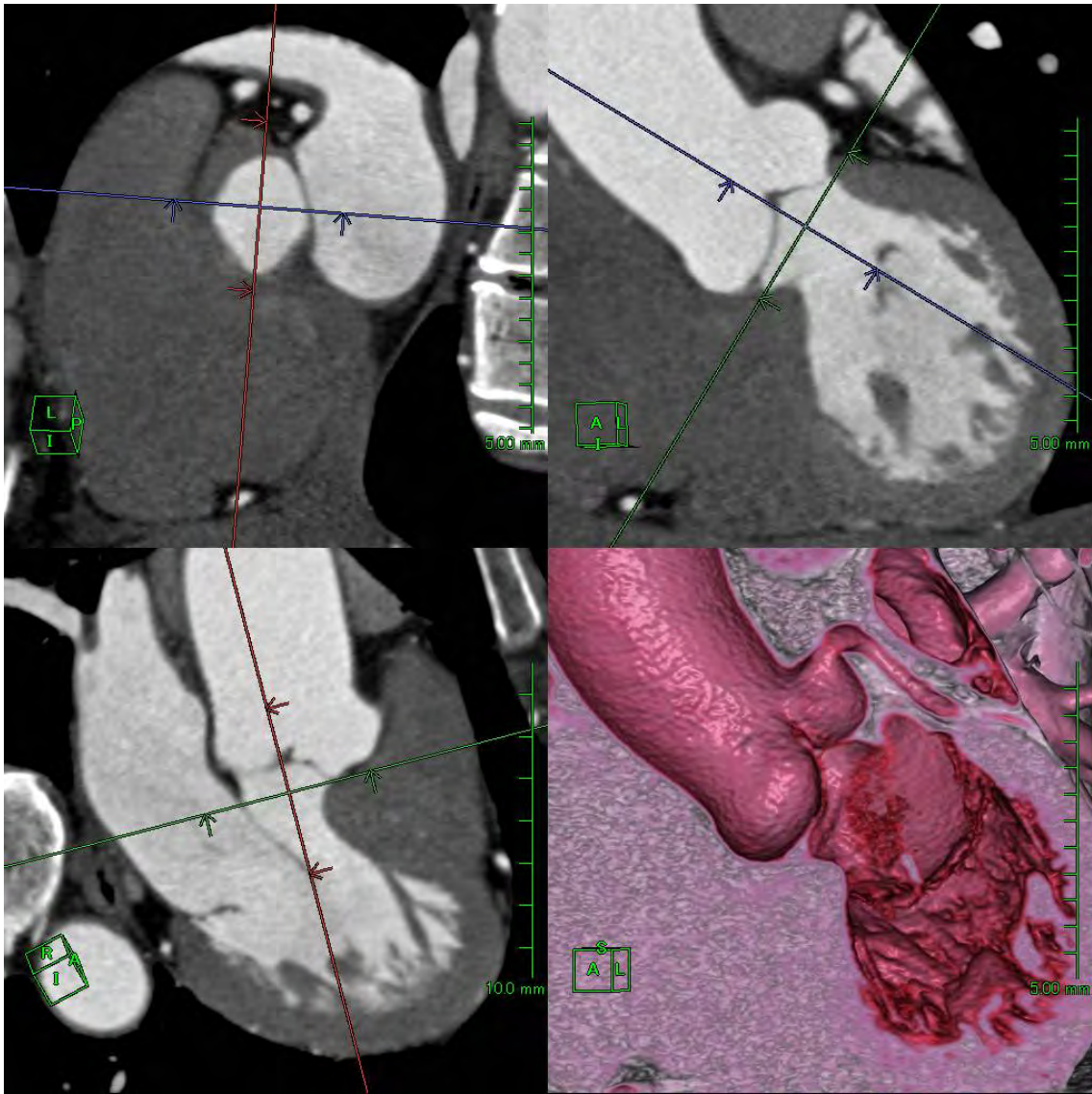


図4 TAVIの術前計測。弁輪部や弁尖、冠動脈起始部までの距離などを計測する。

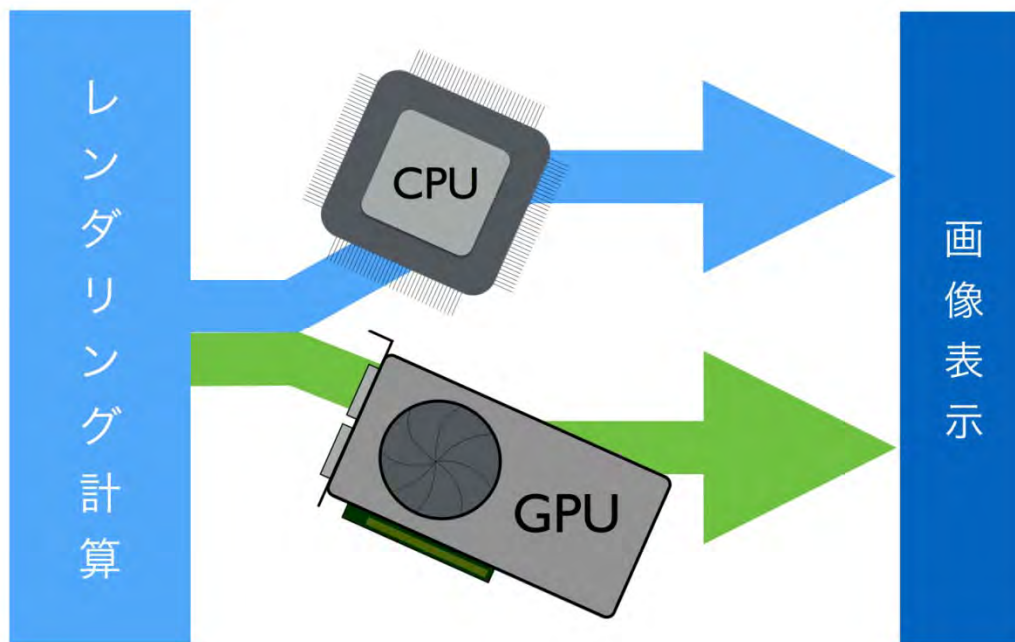


図 5 GPU を活用した超高速演算システム「Formula」の仕組み。負荷の大きなレンダリング計算を GPU がサポートすることで高速な演算を実現する。これによりシステム全体の安定性を高めることも可能である。

終わりに

これまで紹介したように心臓を取り巻く画像環境は大きく展開され、データは様々な目的に応じて利用されるようになった。解析技術を開発する我々にとって重要な事は、大きく展開する領域を整理整頓して認識することである。具体的には本稿で取り上げたように冠動脈病変診断、左室心筋評価、手術へのイメージングなどである。もちろん本稿で取り上げなかった領域も認識しているが、必ず根底に流れるビジョンは「診断から治療への流れるようなワークフロー」である。ワークステーションが存在する立ち位置としては CT という診断用の画像を受け取ることから始まるが、そこから治療へのナビゲーションまたはシミュレーションまで展開させることが可能である。しかしながら単純に装置が解析結果を生み出すだけでは臨床では受け入れられることはなく、ユーザーにとってストレスのない快適な環境あってこそ、初めて日常の診療に組み込める情報まで消化させることができる。そのため我々には心臓領域という大きな領域を包括する視点とフォーカスを絞った視点、更にはそれぞれの連続性を捉える視点など、様々に要求されていることを承知している。

本稿では当社が持つ心臓 CT 領域に特化した画像解析手法を解説した。

参考

- 1) Schroeder S, Achenbach S, Bengel F et al: Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT; European Society of Cardiology; European Council of Nuclear Cardiology. Cardiac computed tomography: indications, applications, limitations, and training requirements: report of a Writing Group deployed by the Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the European Society of Cardiology and the European Council of Nuclear Cardiology. Eur Heart J, 2008, 29: 531-556.
- 2) Hoffmann MH, Shi H, Schmitz BL et al: Noninvasive coronary angiography with multislice computed tomography. JAMA, 2005, 293: 2471-2478
- 3) 檜垣徹, 金田和文, 波多伸彦: SPECT アトラスデータを用いた心臓 CT/SPECT の位置あわせ手法, 医用画像情報学会誌, Vol. 27, No. 4, 2010, 105-110
- 4) Kurata A, Mochizuki T, Koyama Y et al: Myocardial perfusion imaging using adenosine triphosphate stress multi-slice spiral computed tomography: alternative to stress myocardial perfusion scintigraphy. Circ J, 2005, 69: 550-557.
- 5) 梶谷文彦: 「冠循環」, 日本生理学会誌 Vol. 66, No. 6 2004, 188-196
- 6) Hiroshi Matsuoka, Michinobu Nagao, Hideo Kawakami, Teruhito Mochizuki: Detection of Myocardial Ischemia Using 64-Slice MDCT, J Jpn Coll Angiol, 2010, 50: 157-162
- 7) Kurata, A., et al. : Coronary CTA Based 3D myocardial segmentation using voronoi' s method. Eur Radiol 2015 Jan 31;25(1):49-57
- 8) Stephan Achenbach, Victoria Delgado, Jorg Hausleiter, Paul Schoenhagen, James K. Min, Jonathon A. Leipsic: SCCT expert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR), Journal of Cardiovascular Computed Tomography (2012) 6, 366-380