

SOMATOM CT：救急領域での活用、最前線 ～Expanding Precision Medicine～

シーメンスヘルスケア株式会社 CT 事業部 鈴木和明

はじめに

現在、救急医療の現場では Computed Tomography (CT) が広く利用されている。特に日本ではその割合が高く、外傷診療では米国と比較すると 35%以上も多く CT を利用している¹⁾。

1990 年代後半から、外傷診療に全身 CT 撮影 (Whole Body CT Scan) を取り入れることで診断から治療までの時間短縮だけでなく、生存率の向上も含めて多くの有用性が報告されている^{2)~5)}。

一方、救急医療での CT 装置に対するニーズは、「息止め困難な患者のモーションアーチファクトを少なくして診断したい」、「一度の検査で多くの情報を得て、迅速に精度の高い診断・治療がしたい」、「患者ごとにあわせた最適な検査・被ばく線量で検査したい」、「検査から治療までをスムーズに行うため Hybrid Emergency Room (Hybrid ER) system を導入したい」など多岐に渡る。

本稿では、これらのニーズに対してシーメンスヘルシニアーズが提供できるソリューションとして、Precision Medicine に基づく最適な撮影や Hybrid ER system、検査ワークフローを向上させる機能について紹介する。

I. Expanding Precision Medicine

救急医療では迅速に診断から治療を行う必要がある。適切な治療を行うにはまず正確な診断が求められる。

Precision Medicine は精密医療ともいわれ、一般的には各個人にあわせた遺伝子治療が連想されるが、画像診断における Precision Medicine は、従来の Personalized Medicine (個別化医療) や Personalized Low Dose の延長上にあるテーマとして捉えることができる。

よって、シーメンスヘルシニアーズでは従来の average patient (平均的な患者) を対象とするのではなく、年齢や性別、体格、検査目的などに合わせて患者ごとに撮影プロトコルを最適にする技



図 1 Precision Medicine の概念図
年齢や性別、体格、検査目的などに合わせて患者ごとに撮影プロトコルを最適にする技術を開発し、治療方針の決定に必要な正確な検査結果を提供する

術を開発し、治療方針の決定に必要な正確な検査結果を提供することを目指している (図 1)。

救急 CT 撮影における Precision Medicine (最適プロトコルの選択) として、今回は Dual Source CT (DSCT) による高速二重らせん撮影、Dual Energy Imaging (DE Imaging)、Tin filter technology に関して紹介する。

■息止め不良、体動、臓器自体の動きによる影響を低減

- Dual Source CT による高速二重らせん撮影 -

救急 CT 撮影は、痛みによって息止めが困難な場合や意識混濁、不穏状態など普段の撮影と異なり患者のコンディションが悪いことも多い。

シーメンスヘルシニアーズは X 線管と検出器を 2 対搭載した DSCT を開発し、Single Source CT (SSCT) では実現できなかった高速二重らせん撮影によって前述のような悪条件下においても正確な診断のサポートが行える CT 画像を提供している。

DSCT による高速二重らせん撮影は、ピッチ (テーブル移動速度) を高く設定することによるデータ欠損を起こさず、ブレの少ない画像を得ることが可能であり、ショック状態の多発外傷、体動が激しい場合、息止め不可能な場合、小児、循環器系疾患 など「動きがある状態」での撮影で精度の高い画像が得られる。



図2 Dual Source CT: SOMATOM Drive
低侵襲かつ診断精度の高いCT検査を全ての人へ

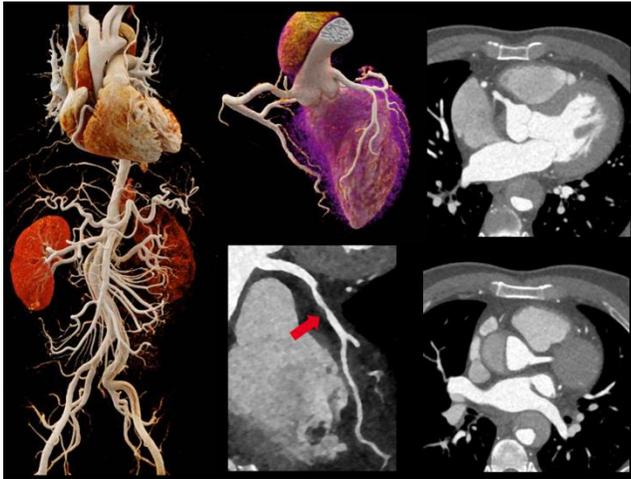


図3 急性大動脈解離（高速二重らせん撮影）
管電圧: 90kVp, 撮影時間: 1.4sec, CTDIvol: 2.23mGy,
DLP: 131.4mGycm, effective dose: 1.8mSv
Courtesy of Shenzhen Longgang People's Hospital,
Shenzhen, P. R. China

最新の DSCT である SOMATOM Drive はシャッター速度（時間分解能）0.075 秒で、かつ秒間 46cm の撮影速度によって、胸腹部の広範囲を 1.5 秒程度で撮影することができる（図 2）。

図 3 に、胸痛を訴えて来院した 42 歳男性の CT 画像を示す。撮影時は胸痛によって息止めができず、心電同期を使用しない高速二重らせん撮影を実施、冠動脈に中等度狭窄を認め、スタンフォード A 型の急性大動脈解離と診断され、迅速に外科治療に移行できた症例である。

スタンフォード A 型の急性大動脈解離は急死する可能性も高く、直ちに外科的介入が必要と言わ

れている⁶⁾。従来、SSCT による上行大動脈の撮影は、心電同期撮影を行わない場合、血管にブレを生じてしまい正確な診断が困難な場合があった。

しかし、DSCT による高速二重らせん撮影を用いることで、胸腹部の広範囲を 1.4 秒と超高速に、かつシャッター速度 0.075 秒と時間分解能高く撮影し、上行大動脈のブレの影響を低減することで診断精度の向上につながった。

■1 回の CT 撮影で多くの診断情報を取得 - Dual Energy Imaging -

DE Imaging の特長は物質の組成情報を特定できることであり、Single Energy Imaging (SE Imaging) では同定困難であった同等の CT 値を示す物質の分離や抽出、または、仮想単色 X 線画像を利用したコントラストの向上、金属アーチファクトの低減などがレトロスペクティブに行える。

救急医療において DE Imaging は、1 回の CT 撮影で通常の情報に加えて造影効果の強調、骨髄浮腫を表す情報、肺実質の灌流情報などが得られ、従来の CT 撮影よりも精度の高い診断が期待でき、実際多くの有用性が報告されている⁷⁻¹²⁾。例えば、腸管領域ではヨード造影剤をカラーで表示する Iodine Map やヨード造影剤を差し引いた仮想非造影画像 (Virtual Non Contrast: VNC)、仮想単色 X 線 (Monoenergetic Plus: Mono+) 画像が有用という報告がある⁷⁾。外傷や消化管出血では、Iodine Map を使用することで活発な出血（造影効果）をカラーで強調表示でき、かつ VNC を使用することで単純 CT 撮影を行わなくても非造影の腸管の評価が 1 度の撮影で可能となる。腸管の虚血では、Iodine Map を使用することで虚血領域を明瞭化でき、仮想単色 X 線画像を使用することで腸管壁の造影効果を強調することができる。

肺血栓塞栓症の診断では、DE Imaging の Mono+画像と肺実質のヨード造影剤の還流画像 (Lung Perfused Blood Volume: Lung PBV) が有用である。肺血栓塞栓症に対し DE Imaging を使用した報告では、120kVp 相当画像（プロトコル 1）と 120kVp 相当画像 + Lung PBV 画像（プロトコル 2）、120kVp 相当画像 + DE Lung PBV + Mono+画像 40keV（プロトコル 3）での ROC 曲線下面積 (Area Under the Curve: AUC) の比較を行った場合、プロトコル 1 は 69.1%、プロトコル 2 は 86.8%、プロトコル 3 は 92.6%という結果であった⁸⁾。この報告から DE Imaging は、1 回の CT 撮影で 120kVp 相当画像と Lung PBV 画像、Mono+画像が全て得られ、それらを組み合わ

せることで SE Imaging よりも肺血栓塞栓症の診断精度を向上することが可能である。

頭部領域では Iodine Map と VNC が利用できる DE Brain Hemorrhage が有用である。脳卒中に対する血管内治療後に造影剤漏出なのか出血なのかを判断することが困難な場合があるが、DE Brain Hemorrhage を用いて VNC 画像を作成することによって、造影剤漏出と出血を鑑別することができる⁹⁾。

また、骨折では骨髄浮腫を検出することができる DE Bone Marrow が有用という報告もされている^{10,12)}。

図 4 に 87 歳の胸椎 12 番 (Th12) の新鮮骨折の画像を示す。従来の CT 撮影では、圧迫骨折所見は確認できるが、新鮮または陈旧性の骨折かはわからない。しかし、DE Bone Marrow を使用することによって、骨髄浮腫を CT で視覚化でき MRI 同様に新鮮骨折の診断が可能となり、1 回の CT 撮影から多くの診断情報を取得することができる。

一方で、救急領域で DE Imaging が普及するためには、DE 解析を CT 検査から読影業務の流れの中にうまく組み込むことが重要となる。そこでシーメンスヘルシニアーズは、生成される多量のデータセットを効率的に処理し、価値ある付加情報をよりスムーズに日常臨床に届ける手段として、Rapid Results を開発している (図 5)。Rapid Results は、ユーザーのマニュアル操作を介さない新しい解析方法であり、事前にプリセットされたルールに基づいて「*syngo.via*」が自動的に DE 解析を実施し、その結果画像を PACS に送信する仕組みとなっている。例えば、現在、国内の多くの施設で日常的に実施されている肺血栓塞栓症患者に対する DE Imaging を例に説明すると、Rapid Results を利用すれば、高低 2 つのエネルギーデータセットを *syngo.via* に送信するだけで、残りの post processing がすべて自動的に実施される。まず、肺血流の解析が可能な DE Lung Analysis によって肺野の Lung PBV 画像を作成し、DE Mono+によって仮想単色 X 線画像が作成され、続いて、事前に定義したスライス厚とスライス間隔による結果画像がアキシャル画像や coronal 画像、サジタル画像として作成される。その後、指定された PACS にこれらの結果画像が自動送信される。Rapid Results を用いることで、従来の検査ワークフローを変更することなく DE Imaging による付加価値を救急領域で活用することが可能となる。

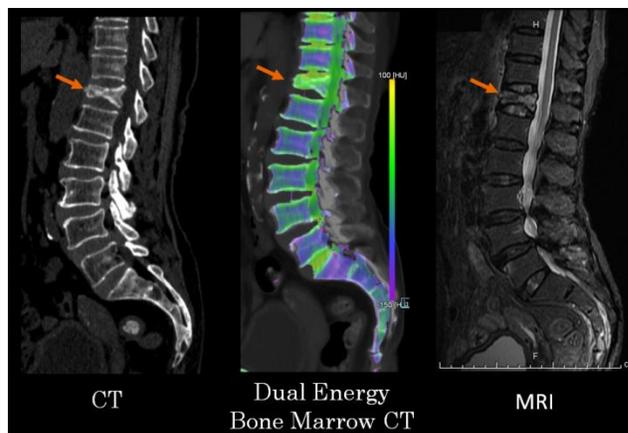


図 4 Th12 新鮮骨折 (DE Bone Marrow)
管電圧: 90kVp/Sn 150kVp, 撮影時間: 7.0sec,
CTDIvol: 4.73mGy, DLP: 167.6mGy_{cm},
effective dose: 2.5mSv
Courtesy of Hebei General Hospital, Hebei, P.R. China

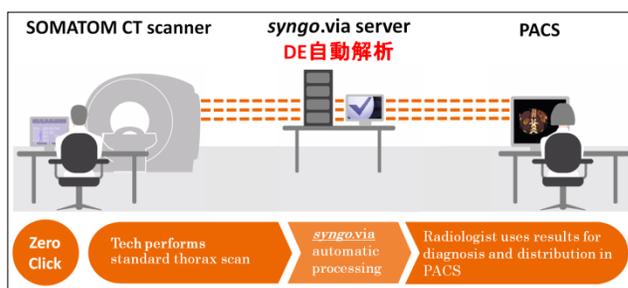


図 5 Rapid Results (DE 自動解析)
事前にプリセットされたルールに基づいて *syngo.via* が自動的に DE 解析を実施し、その結果画像を PACS に送信する

- Tin filter technology -

救急領域で単純 X 線画像を多方向・複数部位撮影する場合は、患者本人への負担はもちろん撮影者にも負担がかかるが、CT では 1 回の撮影で単純 X 線検査以上の情報が得られ、患者および撮影者の負担も少ない。それにも関わらず、単純 X 線検査を CT に置き換える事が難しかった要因の 1 つとして被ばくの問題がある。これに対し、Tin filter technology を利用することで、CT は単純 X 線検査と同等レベルの被ばく線量で撮影することが可能となってきている^{13,14)}。

Tin filter technology は、一般的に CT 装置に搭載されている Bowtie filter などの付加フィルタに、さらに可動式の Tin (Sn, スズ) filter を加えて大幅に X 線スペクトルを変調し、スペクトルの重心を高エネルギー側へシフトさせることにより、不要な被ばくを大幅にカットするだけでなく、線質

硬化（ビームハードニング）に起因するアーチファクトを抑える効果も得ることができる。

図 6 は 14 歳小児、転落後の頸椎骨折ルールアウトのための CT 画像である。0.23mSv と超低被ばくでありながら、軸椎の歯突起も含め骨折がないことが確認できる。また、単純 X 線検査を用いて全身骨のスクリーニングを行うような場合、様々な方向から X 線撮影する必要があり、結果として撮影時間がかかり診断までに時間を要する。一方、Tin filter を用いて Whole Body CT Scan を行うと、1 回の CT 撮影で多くの診断情報が得られ、撮影時間も短時間、かつ低被ばくで撮影が可能で、従来よりも迅速な診断が期待できる（図 7）。

救急領域ではないが、AAPM（The American Association of Physicists in Medicine：米国医学物理学会）の CT Lung Screening standardization working group が提示した各メーカー、各装置別の推奨プロトコル¹⁵⁾では、逐次近似画像再構成法（IR）を使用した各 CT メーカーのハイエンド機での値が 1.6~2.7 mGy であり、IR に加えて Tin filter を用いた SOMATOM Force のプロトコルのみ、0.5 mGy となっており、超低被ばくでありながら、画質との両立が可能となっていることがわかる。



図 6 小児低線量頸椎 CT 撮影

管電圧: Sn100kVp, 撮影時間: 2.19sec, CTDIvol: 1.16mGy, DLP: 29.3mGycm, effective dose: 0.23mSv
Courtesy of Astrid Lindgrens Childrens Hospital, Karolinska University, Stockholm, Sweden



図 7 Whole Body CT Scan with Tin filter
管電圧: Sn130kVp, 撮影時間: 24sec, CTDIvol: 2.46mGy, DLP: 371.86mGycm, effective dose: 5.0mSv
Courtesy of University Hospital Erlangen, Erlangen, Germany

II. Hybrid ER system

救急医療において、患者移動は循環状態を不安定にする可能性や、臓器損傷や出血増悪のリスクが考えられる。

Hybrid ER は、患者の移動を極力減らして診断から治療までを 1 箇所で行える救急初療室として注目されている。また、Hybrid ER を導入することで、重症外傷の死亡率が改善することが報告されている¹⁶⁾。

また、Interventional Radiology (IVR) -CT システムの利用は、血管系のインターベンションのみならず、非血管系のインターベンションや救急領域での利用も進んでいる。

シーメンスヘルシニアーズでは、1999 年にスライディングガントリ CT 方式の IVR-CT「Angio-CT MIYABI」を発表し、以降さまざまなソリューションを提供しており、最新のシステムとして nexaris Therapy Suites を開発した。

nexaris Therapy Suites は、複数モダリティのシステムの融合や患者寝台プラットフォームの共有により、治療中に MRI、CT、Angio 装置をシームレスに利用することを可能にする。患者の移動を最小限に抑え、高い安全性と容易な操作により、快適な環境下での高度な治療を支援する。

nexaris Therapy Suites には、Angio 装置と CT を組み合わせた IVR-CT「nexaris Angio-CT」

(図 8) と、Angio 装置と MRI、CT を組み合わせた「nexaris Angio-MR-CT」(図 9) がラインナ

アップされ、施設のニーズに合わせた最適な治療支援ソリューションの提供が可能となっている。

nexaris Angio-CT は、図 10 のように隣接する検査室を仕切る自動扉を 2 枚にすることで、スライディングガントリ CT の格納スペースを作る 2+1 room Layout (CT室-CT格納室-Angio室) も可能である。これによって、どちらの部屋でも CT 撮影が可能だけでなく、撮影後は CT ガントリが邪魔にならずに広いワーキングスペースを確保できる。

nexaris Angio-MR-CT は、GETINGE 社と共同で新しい MAGNUS 手術台を開発した。これにより、患者を移し替えることなく手術台に寝かせた状態のままで、Angio 装置、CT、MRI の利用が可能となる。3つの大型モダリティの画像を治療中に利用することにより、新たな治療への応用が期待される。



図 8 nexaris Angio-CT

同一の部屋で Angio 装置と CT が使用可能
CT は寝台ではなく、ガントリが自走して撮影する

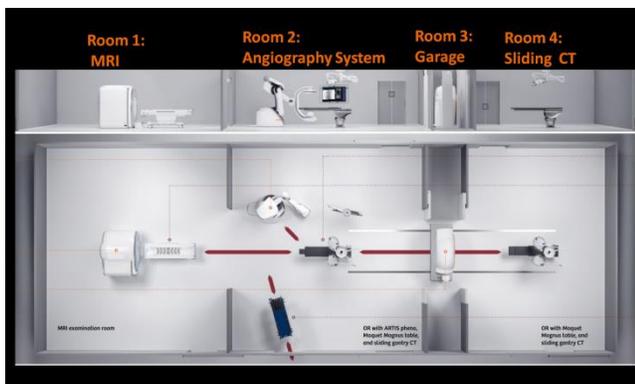


図 9 nexaris Angio-MR-CT (4room system)

MRI 室 (room1) と Angio 室 (room2)、CT 格納室 (room3)、CT 室 (room4) の全部で 4 部屋のレイアウトであり、1 台の CT は room2 と room4 で撮影可能である

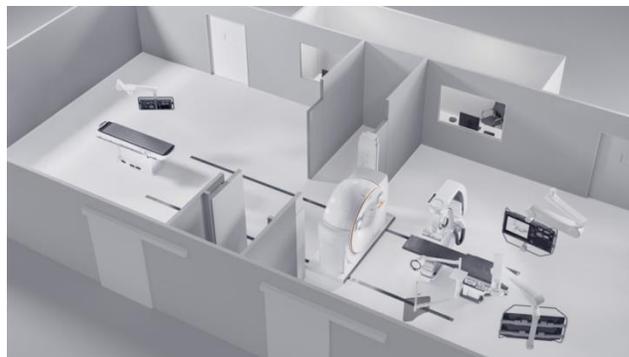


図 10 2+1 room Layout (nexaris Angio-CT)
CT 室と CT 格納室、Angio 室の全部で 3 部屋のレイアウトであり、1 台の CT は CT 室と Angio 室で撮影できる

III. Mobile Workflow

シーメンスヘルシニアーズでは、救急領域での CT 検査において、撮影から画像確認、画像作成、読影までのワークフローを改善するソリューションとして Mobile Workflow を提供している。

Mobile Workflow は、撮影準備から画像確認まで一連の操作が可能なタブレット端末を採用し、CT 装置本体から取り外して操作することで、救急患者から目を離す時間を少なくすることができ、患者に寄り添った状態で画像確認まで可能となる (図 11)。また、従来の PC での操作系も利用できる。オペレータは検査室と操作室との行き来が少なく、まるで単純 X 線検査のようなワークフローで CT 検査が可能となる。

また、2018 年の 4 月に販売を開始した SOMATOM go.Top は Mobile Workflow のみならず、DE imaging や Tin filter technology、低管電圧撮影などの検査も対応可能なプレミアムな 64 スライス CT である。



図 11 SOMATOM go.Top (Mobile Workflow)
CT ガントリには取り外し可能なタブレット端末を搭載している

おわりに

救急医療においては、診断精度の向上だけでなく、より安全に診断から治療まで行えることを考慮する必要がある。

シーメンスヘルシニアーズは、これらに対するソリューションとして、Dual Source CT や Dual Energy imaging、Tin filter technology、Hybrid Emergency Room system、新たなワークフローといった新たな技術も提供しており、今後も Precision Medicine に基づく技術開発を継続して取り組んでいく所存である。

文献

- 1) Matsumoto S, Jung K, Smith A, et al. Comparison of trauma outcomes between Japan and the USA using national trauma registries. *Trauma Surgery & Acute Care Open*; 3: e000247: 1-8. 2018.
- 2) Löw R, et al. Whole body spiral CT in primary diagnosis of patients with multiple trauma in emergency situations. *Rofo.* ;166(5):382-8. 1997.
- 3) Rieger M, et al. Modern CT diagnosis of acute thoracic and abdominal trauma. *Anaesthesist.* ;51(10):835-42. 2002.
- 4) Wurmb TE, et al. Whole-body multislice computed tomography as the first line diagnostic tool in patients with multiple injuries: the focus on time. *J Trauma.*; 66(3):658-65. 2009.
- 5) Huber-Wagner S, et al. Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival : a retrospective, multicentre study. *Lancet.* 373(9673):1455-61.2009
- 6) Sebastia C, et al. Aortic dissection: diagnosis and follow-up with helical CT. *RadioGraphics*;19(1):45-60.1999
- 7) Fulwadhva UP, et al. Use of Dual-Energy CT and Iodine Maps in Evaluation of Bowel Disease. *Radiographics.*;36(2):393-406.2016
- 8) Leithner D, et al. Virtual Monoenergetic Imaging and Iodine Perfusion Maps Improve Diagnostic Accuracy of Dual-Energy Computed Tomography Pulmonary Angiography With Suboptimal Contrast Attenuation. *Invest Radiol.*;52(11):659-665.2017
- 9) Postma AA, et al. Dual-Energy CT: What the Neuroradiologist Should Know. *Curr Radiol Rep.*;3(5):16.2015
- 10) Wortman, et al. Dual-Energy CT for Abdominal and Pelvic Trauma. *Radiographics.*;38(2):586-602.2018
- 11) Aran S, et al. Applications of Dual-Energy CT in Emergency Radiology. *AJR Am J Roentgenol.*;202(4):W314-24.2014
- 12) Kaup M, et al. Dual-Energy CT-based Display of Bone Marrow Edema in Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: Impact on Diagnostic Accuracy of Radiologists with Varying Levels of Experience in Correlation to MR Imaging. *Radiology.*;280(2):510-9.2016
- 13) Gordic S, Morsbach F, Schmidt B, et al.: Ultralow-dose chest computed tomography for pulmonary nodule detection: first performance evaluation of single energy scanning with spectral shaping. *Invest Radiol*;49:465-473.2014
- 14) Mettler FA Jr, et al. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology.*;248(1):254-63.2008
- 15) <https://www.aapm.org/pubs/CTProtocols/documents/LungCancerScreeningCT.pdf>
- 16) Kinoshita T, et al. The Survival Benefit of a Novel Trauma Workflow that Includes Immediate Whole-body Computed Tomography, Surgery, and Interventional Radiology, All in One Trauma Resuscitation Room: A Retrospective Historical Control Study. *Ann Surg.*;269(2):370-376.2019