

基礎連続講座

CT講座

X線CT装置の機器工学(6)

- 最先端のCT技術 -

藤田保健衛生大学衛生学部 辻岡勝美

近年のCTでは、ヘリカルスキャンやマルチスライスCTの開発が話題となっている。たしかに、それらの装置やスキャン方法は革命的ではあるが、それらのほかにも注目すべき新技術は多くある。今回、最新のCTにおける各種アプリケーション技術について解説する。

1. CT装置における最新アプリケーション技術

ヘリカルスキャンやマルチスライスCTで何が変わったかといえば、「CT検査の短時間化」「薄いスライス厚の実用的な取得」であろう。これらにより、1回の呼吸停止、短時間で広い範囲のスキャンが可能になるし、スキャンにより得られる画像も極薄でパーシャルボリューム効果の影響を受けない良好な空間分解能を有するものとなる。

しかし、臨床における要求は、それで満足するようなものではなく、さらなる技術の進歩が求められている。ここで、登場するのが各種のアプリケーション技術である。これらのアプリケーションでは、対象となる臓器、検査法に特化して開発されるものであり、放射線科医師や診療放射線技師の使用者側とCTメーカーの製造者側との共同作業により作られる。この関係が、現在のCTにおける進歩の原動力となっているといっても過言ではない。

2. 画質改善技術とreduction・correction

画質改善技術はCTにおいて重要な要素である。ここでは、ビームハードニングの補正、スタックスキャン、各種アーチファクトの低減、空間分解能向上について解説する。

ここで、画像改善技術で頻繁に使用される用語について記述したい。reductionとcorrectionという用語を聞いたことがあると思う。さて、どんな意味であろうか。reductionは低減であり、障害の原因を発生源から断つことが目的である。これに対して、correctionは補正であり、障害の原因を断つのではなく、出現した現象を補正しようとするものである。実際には、re-

ductionとcorrectionの二つの方法で画質改善が行われる。

2-1 ビームハードニングの補正 (beam hardening correction : BHC)

ビームハードニングによりCT値は正しく表示されないことが知られている。これを補正するのがビームハードニング補正 (BHC) である。BHCでは投影データ中の骨の量、実質の量を求め、それにより、ビームハードニングを考慮して、再度、画像再構成を行うものである。Fig. 1にビームハードニング補正による画像を示す。従来の画像では頭頂部に行くに従い脳実質のCT値が高値になっている。これは被写体に占める骨の割合が増加するためである。BHCにより脳実質のCT値の上昇を抑えることができる。

2-2 スタックスキャン

これは前号で紹介したが、投影データのクリッピングの低減に使用される技術である。脳底部ではスライス厚が厚い場合、「ハンスフィールドのダークバンド」が発生することが知られてきた。この現象を低減させるには、薄いスライスでスキャンを行い、各画像について再構成を行い、後に画像加算で目的のスライス厚にすることが有効である。最近のマルチスライスヘリカルスキャンでは薄いスライスで多数の画像を得ることができるので、よく利用される技術である。

2-3 やすり状アーチファクトの低減 (reduction artifact of shoulder and pelvis : RASP)

肩や股関節など、特定の投影方向にX線吸収の高い物質が存在した場合、やすり状のアーチファクトが発生する。これは特定方向の投影データの不足、パーシャルボリューム効果、ビームハードニング効果が原因しているものと考えられる。このアーチファクトを低減するために開発された技術がRASPである。Fig. 2にRASPによるアーチファクトの低減効果を示す。投影データの不足を補うならば、X線出力を増大すればよ

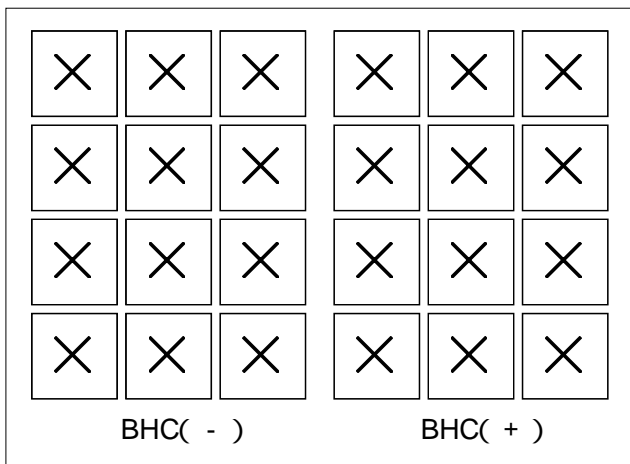


Fig. 1 ビームハードニングの補正(BHC)
 左: BHC(-)
 右: BHC(+)
 ビームハードニング補正(BHC)を行なうことにより、CT値の変化を抑えることができた。

いと意見もあるが、それでは被曝の増加となる。このようなアプリケーションの有効活用が望ましい。

2-4 メタルアーチファクトの低減

口腔内の冠歯、骨内の人口骨頭、頭部のクリップなど、体内に存在する高吸収物質は少なくない。このような場合、いわゆるメタルアーチファクトの発生が診断の妨げとなる。これを低減させるのがメタルアーチファクト低減ソフトである。実際には、通常の再構成画像上でアーチファクト発生の原因となる高吸収物質の位置を限定し、その部位の投影データを除いた画像再構成を再度行うものである。最終的に、画像再構成には時間が必要となるが、臨床的には有効な方法と考えられる。

2-5 空間分解能向上(オフセットデータの収集)

空間分解能を向上させる方法として、検出器の非対称配置(Q-Q配置)があった。しかし、これは従来のノンヘリカルスキャンで有効な方法であり、対向ビーム補間を行うヘリカルスキャンでは有効ではない。この問題を解決する方法として、新しくヘリカルスキャン用のQ-Q再構成法が開発された。本法はヘリカルスキャンにおける空間分解能向上に有効な技術である。Fig. 3にヘリカルスキャンにおけるQ-Q再構成法の画像例を示す。

3. 撮影条件自動調節機構(auto exposure control)

ヘリカルスキャンが臨床で使われるようになると、その短時間性により、胸部から下腹部までというように、広い範囲のスキャンが行われるようになる。この

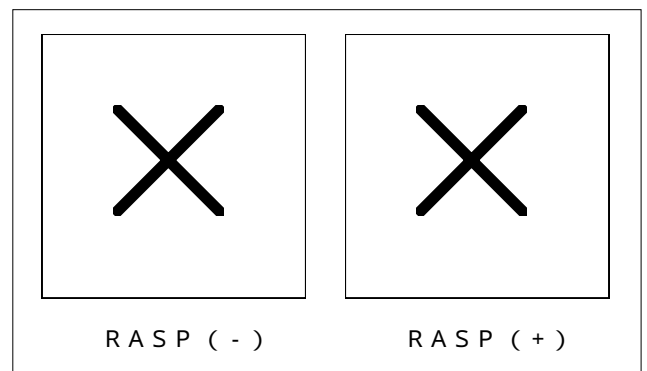


Fig. 2 やすり状アーチファクトの低減(RASP)
 左: RASP(-)
 右: RASP(+)
 RASPにより、肩関節による「やすり状アーチファクト」を低減することができた。

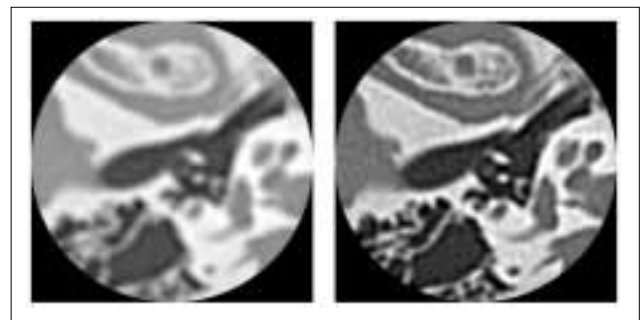


Fig. 3 ヘリカルスキャンにおけるQ-Q再構成
 左: 従来の画像再構成による聴器CT
 右: ヘリカルQ-Q再構成による聴器CT(札幌市麻生耳鼻咽喉科病院提供)
 ヘリカルQ-Q再構成を行なうことにより、スライス面方向の空間分解能が向上した。

ような場合、1回のヘリカルスキャンで、肺のような低吸収な断面と、腹部のような高吸収な断面が存在する。通常、低吸収の断面ではX線の出力を低下させ、高吸収の断面ではX線の出力を増加させる必要がある。これを自動的に行うものが撮影条件自動調節機構である。Fig. 4に胸部から腹部にかけてスキャンを行った場合のX線強度(mA)の変化を示す。各断面の吸収の程度は事前に得られるスキャノグラフィを利用するのが一般的であるが、最近では、スキャンを行いながらリアルタイムで調節を行う方法も考案されている。

また、腹部などでは、一つの断面においても正面と側面ではX線吸収の程度は異なる。この正面と側面との違いについてX線強度を調節する技術も開発されている。

4. CT透視(CT fluoroscopy)

従来、CTでは投影データの収集と画像表示は同時には行われなかった。この事はCTを用いて肺生検な

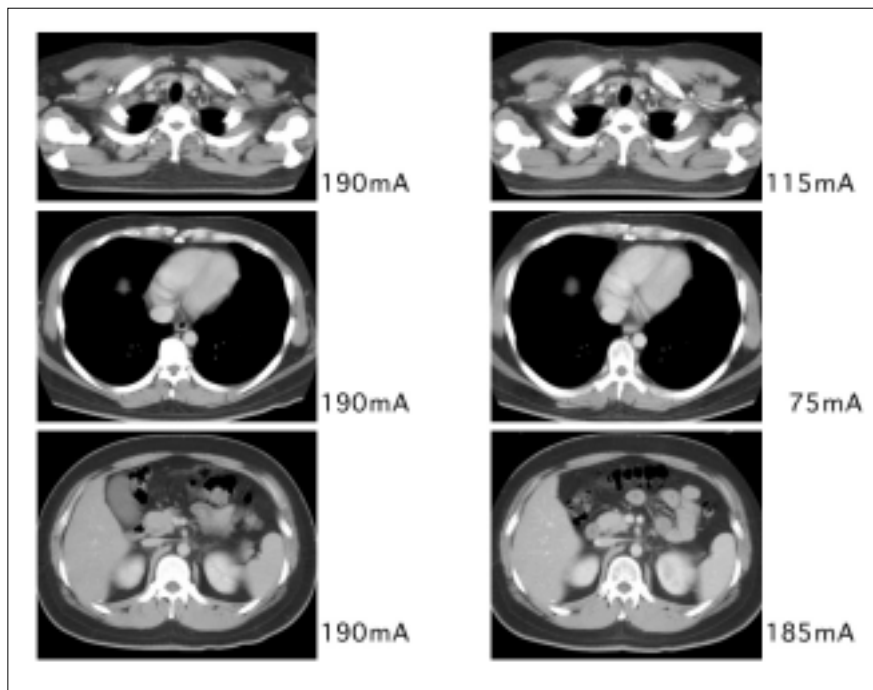


Fig. 4 撮影条件自動調節機構 (auto exposure control)

左：撮影条件自動調節機構(-)

右：撮影条件自動調節機構(+)

胸部から腹部にかけてスキャンを行った場合のX線強度 (mA) の変化を示す。胸部はX線吸収が少なく、低線量 (小mA) で十分な画像ノイズが維持できる。肩や腹部ではX線吸収が高いため、大線量 (大mA) が必要となる。

どを行う場合、X線透視や超音波下穿刺に比べて大きな問題であった。ここで開発されたものが連続回転スキャンを行いながら、ほぼリアルタイムに画像表示が行われるCT透視である (Fig. 5)。CT透視では従来のような画像再構成関数の操作、BHC、などの画像改善の処理は行われない。CT透視の最大の目標はリアルタイム性であり、画質におけるハンデを持っていても十分な有用性を有するものである。最近ではマルチスライスCTを用いた多断面CT透視も実用化されてきた。多断面CT透視により、針先の体軸方向への変化も確認でき、その刺入精度は飛躍的に向上した。Fig. 6に最新の多断面CT透視の画像を示す。

5. リアルタイムヘリカル

前述のCT透視は体軸方向における同一位置でのリアルタイム性を追求したものであった。ここで紹介するリアルタイムヘリカルは、このCT透視の技術をヘリカルスキャンに応用したものである。従来、ヘリカルスキャンではスキャンの終了後、画像再構成が始まり、スキャン時にはCT画像を表示する事はできなかった。リアルタイムヘリカルを用いる事により、スキャンを行いながらCT画像を見る事ができるのである。リアルタイム性を追求しているものなので十分な画質とはいえないが、臨床上での有用性は大きい。も

しこれが画質の向上を狙ったものであったならこれほどの効果はなかったと思う。この技術は緊急時のCT検査で特に有効で、臨床におけるリアルタイム技術の必要性を思い知ったものである。

6. 造影タイミング自動検出機構 (リアルブレップ)

臨床におけるヘリカルスキャン、マルチスライスCTによるヘリカルスキャンの効果は、なんといいても造影効果の向上である。短時間でボリュームデータの収集ができる事により、従来と同一の造影剤量で、従来とは比べものにならないほど良好な造影効果が得られる。また、従来と同程度の造影効果を求めるならば、造影剤の使用量を低減させる事も可能である (注：目的部位によっては例外もある。それについては来月以降に述べる予定)。ここで問題となるのが造影剤の注入タイミングである。スキャンが短時間になったという事は造影剤の注入が難しくなったという事で、高精度な造影剤注入タイミングの制御がCT画像の良否を決定するといっても過言ではない。

造影タイミング自動検出機構も前述のリアルタイムヘリカルと同様にCT透視の技術を利用したものである。実際には観察断面に適切なROK (関心領域) を設定しておき、リアルタイムでそのROI中の平均CT値を計測する。ここでのスキャンは監視スキャンであり、画

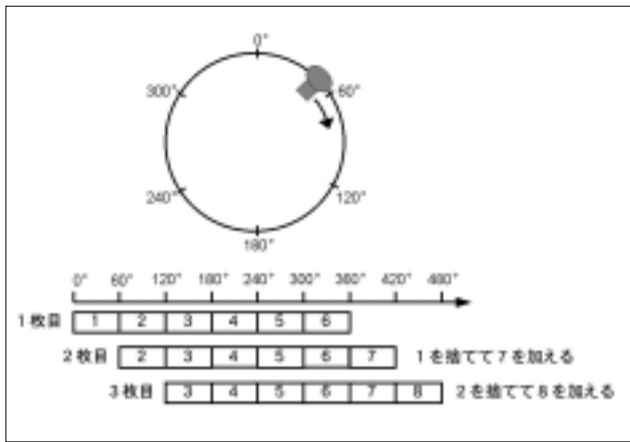


Fig. 5 CT透視における部分再構成アルゴリズム
連続したデータを60度間隔に区切り、順次入れ替えて計算が行なわれる。これにより、1回転の回転時間に対して6画像が次々に表示されることになる。

質向上のための線量は必要とされない。実際には10mA程度の管電流でスキャンが行われる。リアルタイムで計測されるROI中の平均CT値が設定されたCT値以上となったところで本スキャンが開始される(Fig. 7)。この技術により、患者さんごとに最適な造影剤注入タイミングの制御が可能となる。将来、マルチスライスCTの多列化によりスキャン時間の短縮はますます進むものと考えられる。造影剤注入タイミング自動検出機構は、そのような状況において有用な技術であると考えられる。

7. 心拍同期スキャンと心拍同期再構成

最近のCT装置の特徴としてスキャナの回転速度の高速化、つまり、スキャン時間の短縮が挙げられる。最新のCT装置では1回転0.4秒も可能である。このような装置では、ハーフスキャンが約0.2秒、随分な高速化と感ぜられる方も多いだろう。しかし、対象が心臓となると、これでも大問題である。何とかスキャン時間の短縮を、という事で開発されたのが心拍同期スキャン、心拍同期再構成である。心拍同期スキャンは心拍に合わせてスキャンを行うものであり(プロスペクティブ)、心拍同期再構成はスキャンデータの中から心拍に合わせて画像再構成を行うものである(レトロスペクティブ)。

特に、最近の話題は「分割式心拍同期再構成」と呼ばれるものであり、これによれば、最短0.1秒での画像再構成も可能といわれている。本法は、心臓が同一の運動を繰り返しているという事で、複数の心拍から1心拍分の投影データを得るものである(Fig. 8)。実際には患者さんの心拍は完全には一定周期ではなく、解決すべき問題もある。ただし、この技術が進歩すれば、

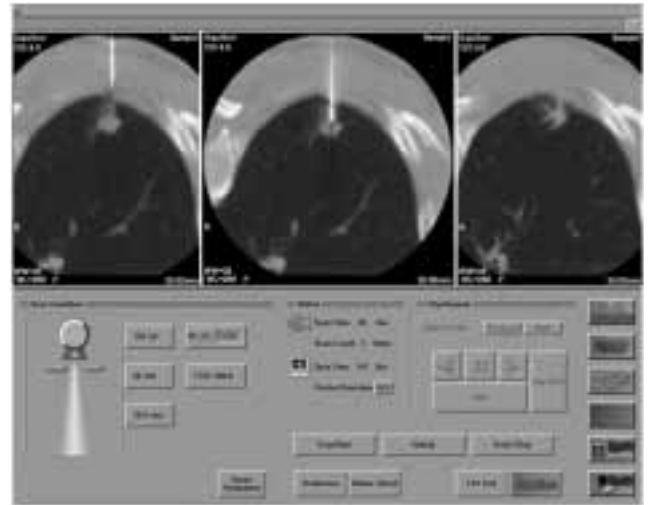


Fig. 6 多断面CT透視の画像

CT画像をリアルタイムで観察することにより、刺入精度は向上する。特に、多断面でCT透視を行った場合、針先の体軸方向への変位を確認でき、三次元的な刺入精度はさらに向上する。

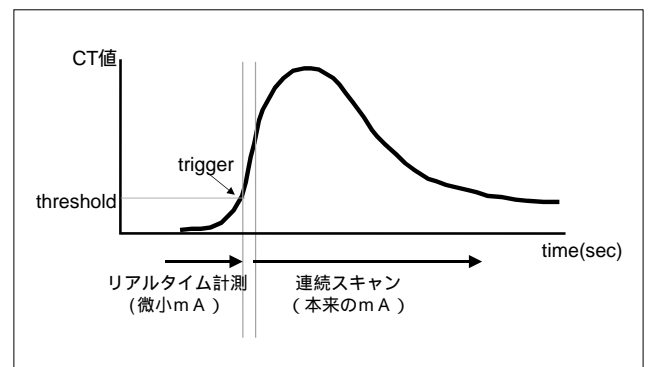


Fig. 7 造影剤注入タイミング自動検出機構

造影剤注入タイミング自動検出機構により、造影剤注入から、患者さんごとの最適なスキャン開始タイミングが求められる。

ば、電子ビーム偏向方式と同等の時間分解能の実現も不可能ではないと考える。

8. アプリケーション開発のポイント

今回、CT装置における多くのアプリケーション技術の紹介を行なった。これらの技術はCT装置の基本的な性能に付加される形で性能の向上に寄与している。そして、それらは、臨床での要求によるものが多く、装置メーカーと臨床現場との共同開発の形で実用化された。ここでは、このようなアプリケーション開発におけるポイントについて述べたい。

臨床で有用なアプリケーション開発の第一歩は現状における問題点の把握であろう。現状で満足しているのではなく、「この性能がもう少し向上すれば、もっ

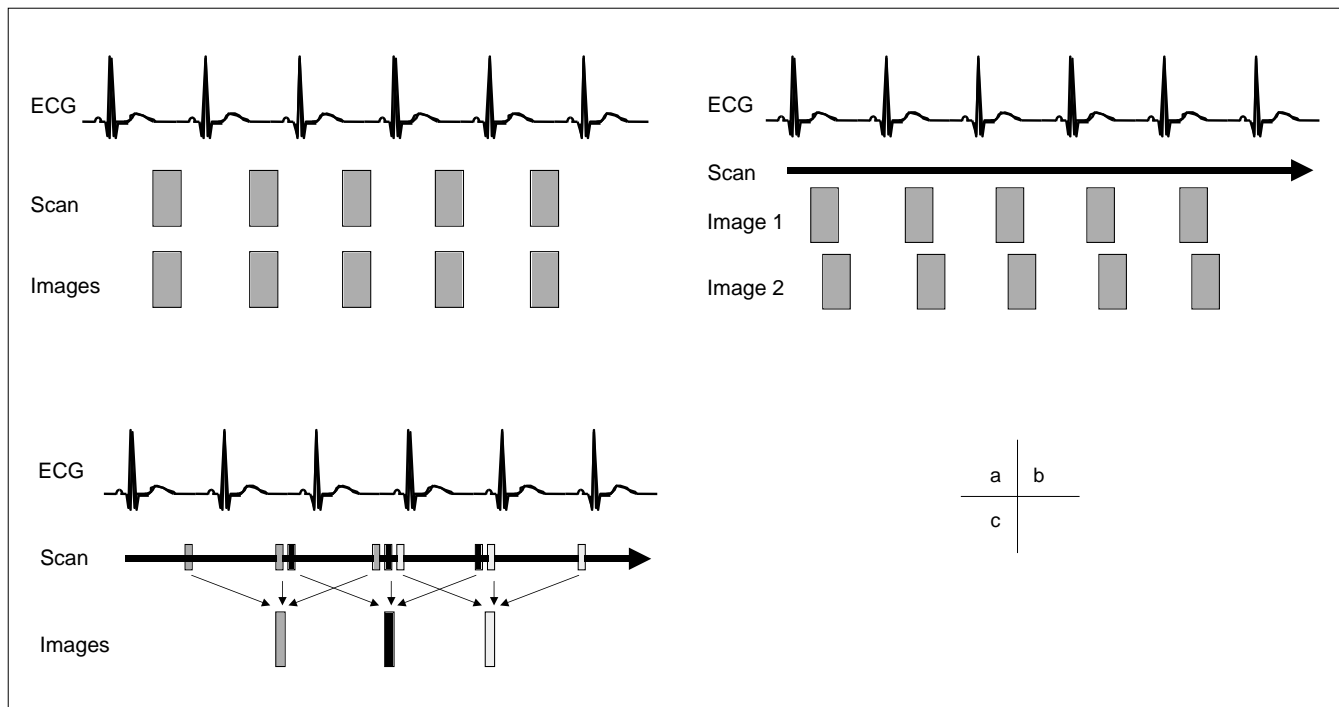


Fig.8 心拍同期スキャンと心拍同期再構成

(a)心拍同期スキャン

(b)単純な心拍同期再構成

(c)分割式心拍同期再構成

心拍同期スキャンは心拍に合わせてスキャンを行うもので、ノンヘリカルスキャンが使用される。心拍同期再構成ではヘリカルスキャンを行い、そのデータの中から、必要な心拍位相を用いて画像再構成が行われる。

と診断能が向上する」というような気持ちがアプリケーション開発のカギとなる。そして、アイデアの実現には、現状における装置の原理、性能を十分に理解している必要がある。目的に特化したアプリケーション

の開発、それが患者さんのためになる検査機器の開発につながると思うが、いかがであろうか。

今回は「X線CT装置の機器工学(7)- 三次元表示 - 」

参考文献

- 1) 辻岡勝美：CT自由自在。メジカルビュー社、(2001)。
- 2) 片田和廣，他：MDCT徹底攻略マニュアル。メジカルビュー社、(2002)。