

基礎連続講座

CT講座

X線CT装置の機器工学(8)

-性能評価と機器管理-

藤田保健衛生大学衛生学部

辻岡勝美

診療放射線技師の役割として重要な業務項目に装置の維持管理がある。操作するCT装置の特性を熟知し、そのCT装置が性能を十分に発揮できているかを知るとは、検査を受ける患者のためにも重要なことである。臨床では、検査の部位や目的、疾患の状況により、最良の画像を提供すべきであり、そのとき問題となるのがCT装置の性能であり、CT装置の管理状態である。現在の日本の診療放射線技師には撮影と機器管理という業務が与えられている。これは、放射線技師にとっても患者にとっても良好な状況であるといえる。今回、CT装置の性能評価と機器管理について述べる。

1. CT装置の性能評価

CT装置の性能評価は、行われる時期により分類される。第一段階はメーカーの出荷時テストであり、CT装置が安全に機能するかについて検査が行われる。Table 1にその例を挙げる。第二段階は使用施設側の初期テストであり、おもに装置の本来の性能が検査される。第三段階は使用施設側のルーチン検査であり、CT装置が本来の性能を維持しているかについて検査が行われる。いずれの性能評価も重要な要件であるが、現場で臨床に関わる診療放射線技師としては、第二段階と第三段階が重要となる。

2. CT装置の性能(三つの分解能)

画像診断装置の性能を表すとき、空間分解能、コントラスト分解能、時間分解能が重要となる。CT装置でも同様であり、「このCT装置は画像が良い」といっても、どんな性能が良いのかは分からない。一般撮影とCT装置を比べた場合は空間分解能、時間分解能では劣っているが、コントラスト分解能は優れているといわれる。性能評価ではこのようにそれぞれの分解能の要素について評価が行われる。

2-1 空間分解能

空間分解能は、「どれほど小さいものまで区別して

表示できるか」を示すもので、CTにおける空間分解能はスライス面に沿った方向(X-Y方向)と体軸方向に沿った方向(Z方向)に分けて評価が行われる。

スライス面方向における空間分解能に関与する装置の要素として、幾何学的な要素、投影データ数、画像表示、検出器の反応速度、パーシャルボリューム効果などが挙げられる。これらの要素、改善策をTable 2に示す。

体軸方向における空間分解能はスライス感度プロフィール(slice sensitivity profile at z-axis)による。簡単にいえば、スライス厚が薄いほど体軸方向の空間分解能は良好ということである。これはパーシャルボリューム効果によるものである。

2-2 コントラスト分解能

コントラスト分解能は、「どれほどX線吸収係数の小さいものまで区別して表示できるか」を示すもので、現在はスライス面方向について評価が行われている。CTでは低コントラスト分解能として評価が行わ

Table 1 第一段階の性能評価項目(メーカーの出荷時テスト)
CT装置が安全に機能するかについて検査が行われる。

1. 構成	員数チェック
2. 外観	
3. 架台性能試験	スキャン時間, 斜入角精度, 斜入速度
4. 寝台性能試験	寝台上下, 天板移動の速度と精度
5. X線性能試験	スライス厚, 表面線量
6. 画像性能試験	CT値の均一性および正確度 ノイズ ノイズの均一性 高コントラスト分解能 低コントラスト分解能 標準画像
7. 投光器性能試験	
8. インタロック試験	
9. ファントム(CT値, 精度)試験	
10. 一般X線試験	kV, mA, 耐電圧他
11. 一般電気試験	耐電圧, 絶縁抵抗, 漏洩電流

Table 2 空間分解能(スライス面方向)に関与する要素と改善策
空間分解能は、どれだけ小さいものまで区別して表示できるかを表すものである。

要素	内容	改善策
幾何学的なボケ	X線管の焦点サイズ X線拡大率	小焦点化 拡大率の低減
投影データ数	検出器のチャンネル数 ray数 view数 画像再構成アルゴリズム 検出器の利用	多チャンネル化 ray数の増大 view数の増大 オフセットディテクタ, フライニングフォーカス シフト機構の採用
表示方法	画像再構成関数 画像マトリクス数	高域強調関数の採用 画像マトリクス数の増大
パーシャルボリューム効果	スライス厚	薄いスライス厚の採用
検出器	検出器の性能	立ち上がり, 立ち下りの短縮

Table 3 コントラスト分解能に関与する要素と改善策
コントラスト分解能は、どれだけX線吸収係数の差が小さいものまで区別して表示することができるかを表すものである。

要素	内容	改善策
出力信号量	X線出力 X線検出効率 X線検出系の電気ノイズ X線検出器のエネルギー特性 スライス厚	高電圧, 大電流, 長時間 検出効率の増大 (Xe検出器から固体検出器へ) 電気ノイズの低減 X線エネルギーとのマッチング 厚いスライス厚の採用

れている。コントラスト分解能を左右する要素として画像ノイズが挙げられる。画像ノイズが小さければ小さなCT値差も区別できるのである。では、CTにおける画像ノイズに関連する要素はどんなものか。簡単にいえば、「投影データがどれほど大きな電気信号として出力されるか」ということになる。これらの要素、改善策をTable 3に示す。装置の性能としては検出器の効率が重要であり、スキャン条件としては、X線出力、そしてスライス厚が重要である。ここで、注目すべきはX線出力である。これは最近のデジタル診断装置で共通のことであるが、X線出力の増大がコントラスト分解能の改善につながる。これは患者被曝の増大に関係する問題である。低コントラスト分解能の改善を求めあまり、患者の被曝を増大させてはいないだろうか。ちょっと心配である。装置の特性を熟知し、そのうえで、最良のスキャン条件の決定が望まれる。

スライス厚も低コントラスト分解能に関与する要素として注目すべきである。スライス厚が薄くなれば、検出器の窓が小さくなる、つまり、検出器に入る光子の量が減少する。そして、画像ノイズが増大し、コントラスト分解能は劣化する。ここで、注目すべきはスライス厚の変化に対する空間分解能とコントラスト分

解能の関係である。スライス厚を薄くすることにより、パーシャルボリューム効果の影響は低減し、スライス面方向、体軸方向の空間分解能は向上する。ただし、コントラスト分解能は劣化するのである。このような場合、コントラスト分解能を維持するためには、管電流を増大させるなどして画像ノイズの増大を抑える必要がある(ここでも患者被曝についての注意は必要である)。

2-3 時間分解能

時間分解能は「どれだけ短時間でスキャンが可能か」を示すもので、CTでは「スキャンの時間間隔」と「スキャン時間」で表される。本質的に動きを伴う被写体である人体のスキャンを行う場合、重要な要素である。「スキャンの時間間隔」はスリッピングによる連続回転スキャンで解決された。「スキャン時間」X線管が1回転するのに要する時間で評価される。ただし、CTでは約180度の投影データ(ハーフスキャン)で画像再構成が可能となるので、その場合は時間分解能の向上が可能となる。最新のCT装置では1回転0.4秒という高速回転のCT装置も開発されている。

ヘリカルスキャンにおける時間分解能は興味ある現

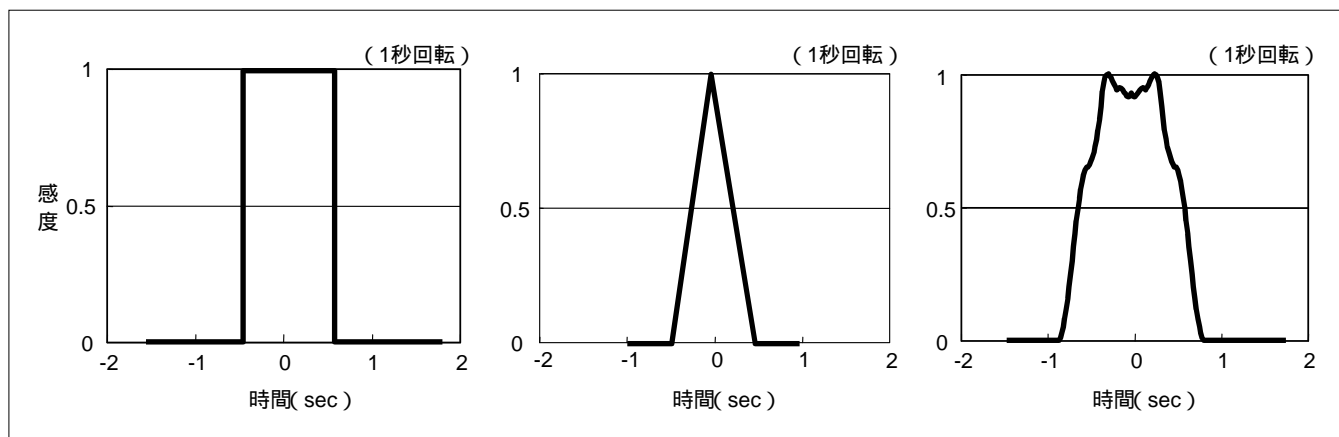


Fig. 1 各種スキャン方法におけるtime sensitivity profile(TSP)

左：ノンヘリカルスキャン

中：シングルスライス・ヘリカルスキャン(ピッチ1)

右：マルチスライス・ヘリカルスキャン(ピッチ3)

TSPは横軸が時間、縦軸が感度であり、1枚の画像に含まれる時間と感度の関係を示す。

象の一つである。従来、CTにおける時間分解能はX線管の回転速度で決まっていた。しかし、ヘリカルスキャンの場合、画像再構成は補間計算の後に行われる。この場合、時間分解能はスキャン時間のみで考えるのではなく、時間に対する感度の変化、つまり、時間感度分布(time sensitivity profile : TSP)で考える必要がある。これは展開図を用いれば容易に求めることができる。また、マルチスライスCTにおけるヘリカルスキャンでは複数の検出器列が複雑に機能し、時間分解能(TSP)も特有の変化を示す。現在、時間分解能の表現方法として、TSPおよび実効スキャン時間の採用が提案されている。実効スキャン時間とはTSPの半値幅full width at half maximum(FWHM)である。これは、SSP(slice sensitivity profile)における実効スライス厚と同様に考えることができる。Fig. 1に各種スキャン方法におけるTSPを示す。また、Table 4に実効スキャン時間の変化を示す。ヘリカルスキャンのTSPおよび実効スキャン時間はZ軸フィルタによっても変化すると考えられる。

3. 第二段階における性能評価

日本放射線技術学会誌では、CT装置の画像ノイズ、空間分解能、コントラスト分解能、スライス厚などを測定する方法について詳細な報告がある(参考文献を参照)。特に、使用施設側の初期テストである第二段階についての記載が多く、性能評価を行うのに役立つ。第二段階の性能評価項目はTable 5のように12項目ある。ここで詳細を述べると長くなるので最近話題のポイントだけ紹介する。

Table 4 各種スキャン方法における実効スキャン時間の変化

実効スキャン時間はTSPの半値幅である。マルチスライスCTではヘリカルピッチが小さいときは実効スキャン時間は長いですが、ヘリカルピッチが大きくなるに従い、実効スキャン時間は短くなる。

スキャン方法	ヘリカルピッチ	実効スキャン時間(sec)
Non helical		1.00
Single slice helical	1	0.50
Single slice helical	2	0.50
4DAS Multi slice helical	3	1.24
4DAS Multi slice helical	4	0.94
4DAS Multi slice helical	5	0.51
4DAS Multi slice helical	6	0.50

Table 5 第二段階の性能評価項目(使用施設側の初期テスト)

1. 雑音(noise)
2. コントラストスケール
3. 空間分解能
4. スライス厚
5. コントラスト分解能
6. 被曝線量
7. アーチファクト
8. 寸法依存性
9. 位置依存性
10. 吸収係数とCT値の直線性
11. 表示装置の性能
12. テーブルの移動性能

3-1 画像ノイズ

患者被曝の低減が求められている現在、画像ノイズはCT装置の性能を表す重要な要素である。評価では使用されるファントムの大きさや材質、設定される関

心領域 (region of interest : ROI) の位置や大きさが指定されている。

3-2 空間分解能

ここで取り扱われる空間分解能とはスライス面に沿った方向における空間分解能である。この測定法にはラダー状のファントムを用いた「チャート法」、アクリルと水との境界面を用いた「エッジ法」、ステンレス線を用いた「ワイヤー法」などがある。実際には、ワイヤー法を用い、modulation transfer function (MTF) で表現する方法が推奨されている。

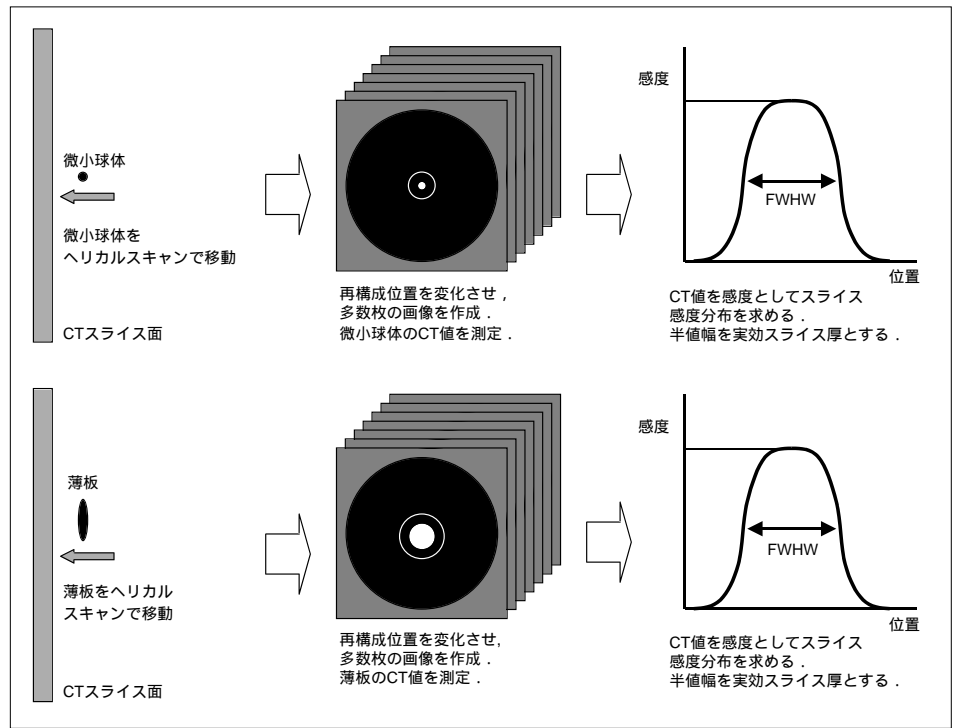


Fig. 2 ヘリカルスキャンにおけるスライス厚の測定方法

上：微小球体法

下：薄板法

従来のアルミニウム傾斜板による方法では1枚のCT画像からスライス厚が求められていた。それに対し、微小球体法、薄板法では多数のCT画像からスライス厚が求められる。

3-3 低コントラスト分解能

CT装置における低コントラスト分解能の測定には小さなCT値差を有する物質のファントムが要求される。

特に、線質変化のない物質の採用が重要で苦労するところである。性能評価では、ファントム材質についても記載されている。

低コントラスト分解能の評価で問題となるのは視覚的な評価を行うという点である。また、CTではウィンドウ操作により画像は大きく変化する。実際の評価を行う場合は、評価法、ウィンドウ設定についても注意する必要がある。最近では、視覚的な評価を行わない手法としてSNR (signal to noise ratio : 信号雑音比) で低コントラスト評価を行う手法も提案されている。

3-4 スライス厚

CT装置の性能評価で第一に注目すべきはスライス厚であろう。特に、スライス感度プロフィールを正確に測定することは、空間分解能、コントラスト分解能の理解につながるため重要である。

従来、CT装置のスライス厚測定はスライス面に傾斜を持って置かれたアルミニウム板を用いて実施されていた。しかし、ヘリカルスキャンでは傾斜物体によるスライス厚の測定は適当ではなく、微小球体法 (ビーズ法)、薄板法 (コイン法) などが適しているといわれている。Fig. 2に微小球体法、薄板法の手法を示す。微小球体、薄板の大きさ、厚さは測定するスライス厚の十分の一程度が推奨されている。

特に、測定するスライス厚が薄い場合、ファントムの選択には注意が必要である。従来の傾斜ファントムによる場合も同様である。Fig. 3に薄いスライス厚における測定精度の問題を挙げる。従来、アルミニウム傾斜板には0.5mmの厚さと指定されているが、最近では0.5mm厚のスキャンも可能であり、このようなスライス厚の場合、0.5mmのアルミニウム傾斜板では正確な測定が行えないことが理解できる。実際には、0.1mm以下の厚さの金属板が必要とされる。

3-5 アーチファクト

CT装置についてアーチファクトは重要な問題である。特に、ヘリカルスキャンにおける風車状アーチファクトは評価されるべき項目である。しかし、現状ではアーチファクトの評価法は統一されていない。最近ではヘリカルスキャンのアーチファクトに関する研究も多く行われており、今後、なんらかの評価方法が提案されることと思う。

4. 第三段階における性能評価

第三段階は使用施設側のルーチン検査である。第二段階に比べて項目は少ないが、装置使用による性能の変化が考えられる項目について実施される。Table 6に第三段階の性能評価項目を挙げる。日常では、これら

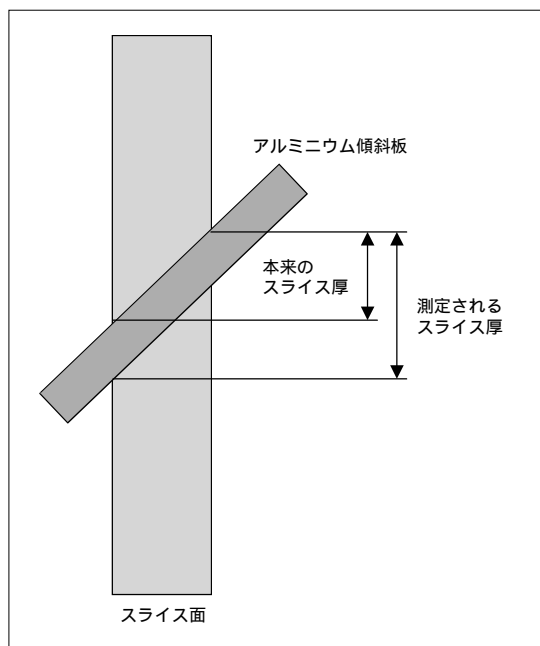


Fig. 3 薄いスライス厚における測定精度の問題
薄いスライス厚ではファントムの厚さが測定精度に影響する。このような効果は、ヘリカルスキャンにおける微小球体法、薄板法においても同様に起こる。

Table 6 第三段階の性能評価項目(使用施設側のルーチン検査)

- | |
|-----------------|
| 1. 雑音 (noise) |
| 2. コントラストスケール |
| 3. 空間分解能 |
| 4. スライス厚 |
| 5. コントラスト分解能 |
| 6. 表示装置の性能 |
| 7. テーブルの移動性能 |

Table 7 JISにおける不変性試験(JIS Z4752-2-6)

- | | |
|---------------------|----------------------------------|
| 1. ノイズ, 均一性および平均CT値 | 少なくとも月 1 回 |
| 2. 空間分解能 | 少なくとも 3 ヶ月に 1 回 |
| 3. スライス厚 | 少なくとも月 1 回 |
| 4. 線量 (CTDI) | 少なくとも半年に 1 回
ただし, 大きな保守作業の後も行 |
| 5. 患者支持器の位置精度 | 少なくとも月 1 回 |

の項目について評価を行うべきである。ただし、臨床での忙しさを考えると、すべての項目について毎週評価することは難しいかもしれない。雑音 (noise), スライス厚, 表示画像など、使用により変化が心配される項目だけでも頻繁に行っていただきたい。

5. JISにおける不変性試験

使用者側のルーチン検査としてJISの不変性試験もある。不変性試験とは、装置本来の性能を基準値として、その値から変化していないかを評価するものである。当然、基準値は設置時に測定されているべきである。Table 7にJISにおけるCT装置の不変性試験の項目と頻度を示す。

6. 性能評価における診療放射線技師の役割

性能評価というと「研究や学会発表のための実験」と思われる読者がいるかもしれない。しかし、今回述べたように、性能評価はより良いCT検査を行うために

診療放射線技師が行うべきものであり、研究や学会発表のために行うためだけのものではない。まずは、現在使用しているCT装置がどんな性能を有しているか、他の施設とどのような差があるかについて検査をしていただきたい。また、各種のパラメータを変化させることで画質がどう変化するかについて知っているべきである。それが施設における最適パラメータの決定につながる。そして、基準値が変化するかどうかについて日常的に検査を続けていただきたい。それがCT装置を操作する者の役割であり、患者に被曝を与えている診療放射線技師としての責任であると思う。日本の診療放射線技師が「スイッチマン」にならないことを願っている。

今回は「X線CT装置の機器工学(9)- 線量評価 - 」。

今回、性能評価ということで記述したが、そのなかにCT装置の線量評価は含めなかった。線量評価は次号でまとめる。

参考文献

- 1 辻岡勝美：CT自由自在。メジカルビュー社、(2001)。
- 2 岩井喜典，他：医用画像診断装置(CT・MRIを中心として)、(1988)。
- 3 日本放射線技術学会専門委員会X線CT装置性能評価検討班：X線CT装置性能評価に関する基準(案)。日放技学誌，47：56-63，(1991)
- 4 日本放射線技術学会学術調査班：ラセンCTの物理的な画像特性の評価と測定法に関する報告。日放技学誌，53：1714-1732，(1997)