

〔原 著〕

本学ヘリカルCT (ProSpeed F II) における空間分解能の評価

田中 力延, 細川 洋一郎, 大西 隆, 佐野 友昭, 金子 昌幸

北海道医療大学歯学部歯科放射線学講座

Evaluation of the spatial resolution in helical CT (ProSpeed F II)

Likinobu TANAKA, Yoichiro HOSOKAWA, Takashi OHNISHI, Tomoaki SANO and Masayuki KANEKO

Department of Dental Radiology, School of Dentistry, Health Sciences University of Hokkaido

Abstract

The image precision of a computed tomograph (CT) installed at our university was evaluated from a dental-clinical viewpoint. The effective slice width and spatial resolution were measured by photographing 0.3mm diameter microspheres. The results, with a set slice width of 0.6mm, resulted in an effective slice width in a helical pitch of 0.75 of 1.3mm and the spatial resolution was 0.64mm. With a slice width of 1.0mm, the effective slice width in a helical pitch of 0.75 was 0.92mm and the spatial resolution was 1.06mm. The following conclusions were obtained:

1. Even when the set slice width is smaller than 1 mm, the effective slice width is not reduced but it is possible that the smaller width will result in lower precision.
2. With decreasing helical pitch, the difference between the set slice width and the effective slice width decreases.
3. Smaller slice widths, result in better resolution.
4. It was inferred that there is an error of 0.6 - 1mm in the dimensional precision of the images, which are used clinically in the z axis direction.

Key words : Computed tomography, Setting slice width, Effective slice width, Spatial resolution

緒 言

歯科治療におけるCT画像を用いた軟・硬組織形態の把握や寸法計測が広く普及している。特に寸法計測は体表内に存在する病巣の大きさを非観血的に把握できる事や、インプラント埋入時に顎骨の厚みを予測できる等、有効性は高い。現在のCTはX線管の連続回転照射と寝台の連続スライドの組み合わせで、体軸方向に沿ってらせん状に撮像データを連続収集するヘリカルスキャン方式が主流であり、従来の1断層撮影ごとに寝台をずらして間欠的に撮像する方式に比べ広範囲を高速にデータ収集することが可能になってきた。それにより患者の負担

を軽減できるほか、ヘリカルスキャン方式で収集したデータは従来のCT撮像方式と比べて体軸方向に高性能な空間分解能を持つため、高精細な3D画像を作製することが可能となった。本学CTでもヘリカルスキャン方式によって撮像した画像を用いて歯科診療に活用している。

しかしながら、精度向上への鍵となる画像構築のメカニズムは各メーカーに完全に依存した状態であり、歯科で求められる精度は保証されているとは言い難い。つまり、現在普及しているCTの多くは医科用との兼用であり、歯科で多く必要とされる硬組織の解析に特化したものとはいえず、また、インプラント等で要求される数

受付：平成17年3月31日

mm～1 mm以下の寸法精度を評価している報告はみられない。

そこで我々は、歯科臨床の立場からCTに求められる精度を検証することを目的として、本研究を行った。

材料および方法

1. 実験材料と撮像条件

本学付属病院CT装置ProSpeed F II (GE横河メディカルシステム社)にて0.3mmΦ微小球体(鉛ビーズファントム)を固定し撮像した。

撮影条件は一般的に用いている130kV 150mAs一定として行った。

スライス厚とヘリカルピッチは、スライス厚0.6および1 mm, ヘリカルピッチ0.75および1.50とし、本学付属病院においてインプラント用画像作成の際に用いられる条件を採用した。

2. 方法

1) 微小球体法によりSSPzの測定

直径0.3mmの微小球体を撮像し、Slice Sensitivity Profile z-position (SSPz)を求めた。ビーム幅5 mmを対象とし、得られた画像上で球体を中心に直径5 mmのROIを設定し、その中の平均値を球体のCT値とした。ビーム幅の1/20の0.25mmのデータ間隔で40点のデータを得た。横軸に寝台位置、縦軸にCT値の相対値をプロットしてグラフを作成し、裾野のCT値を全体から減じて、裾野がゼロになるように正規化してSSPを得た。

2) SSPzを用いての半値幅の測定

SSPzより半値幅(Full Width at Half maximum: FWHM)を求め、これを実効スライス厚として評価した。

3) z-MTFの測定

SSPzをz軸方向のLine Spread Functionとみなしてフーリエ変換を行い、これをz軸方向のModulation Transfer Function (MTF)とし、体軸方向の分解能を評価した。

SSPzにて得られた40点のデータを64点にするため、約12点ずつ左右にゼロを埋めた後、フーリエ変換して、IMABS関数で絶対値を得た。はじめの値で全体を除き、正規化し周波数ゼロがMTF=1とした。このとき周波数間隔は $1 / (0.25 \times 64) = 0.0625$ となり、はじめが周波数0 cycles/mm, 2番目は0.0625cycles/mm, 次は0.125cycles/mmとなる。よって $0.0625 \times 32 = 2$ cycles/mmまで値が得られる。以上の方法で、MTF曲線を作成し、評価を行った。

結 果

1. SSPz

図1に示す様にヘリカルピッチ1.5よりもピッチ0.75の場合におけるグラフの形状の方が裾野の広がりが大きくなり、また、設定スライス厚0.6mmの時の方が設定スライス厚1 mmのグラフの形状よりも裾野の広がりが大きくなった。

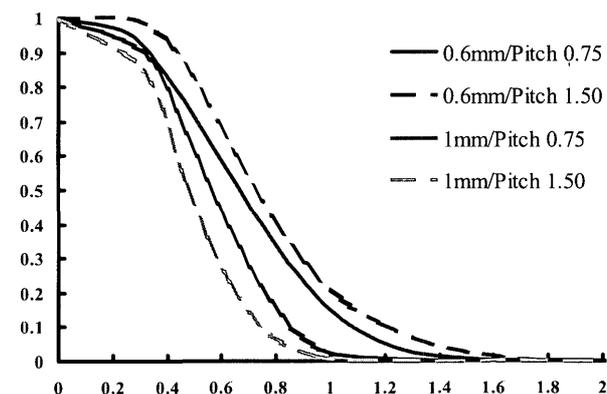


図1 本学CTにおけるSSPz
縦軸0.5に対する横軸の幅までのデータを画像構成に利用する。SSPzは左右に裾野を広げるので、このグラフの2倍の幅値が実効スライス厚となる。

2. 半幅値

半幅値を表1に示す。設定スライス厚が1 mmの時、ヘリカルピッチ0.75では1.06mm, ピッチ1.5では0.92 mmとなり、設定スライス厚に対して実効スライス厚に対する実効スライス厚の誤差が拡大した。また、設定スライス厚が0.6mmの時、ヘリカルピッチ0.75では1.30 mm, ピッチ1.5では1.44mmとなり、設定スライス厚に対して実効スライス厚が大幅に厚くなった。これより、ヘリカルピッチが大きくなると実効スライス厚との差が拡大する傾向になるという結果が得られた。また、設定スライス厚を1 mm以下に小さくしても実効スライス厚は希望される幅まで下がらなかった。

	FWHM
0.6mm Pitch 0.75	1.30mm
0.6mm Pitch 1.50	1.44mm
1.0mm Pitch 0.75	1.06mm
1.0mm Pitch 1.50	0.92mm

表1 本学CTの半幅値
設定スライス厚0.6mmにおいて有効なスライス幅は1 mm以下にならなかった。

3. z-MTF

MTF曲線を図2に、曲線から得られたz軸分解能を表2に示す。設定スライス厚0.6mm、ヘリカルピッチ0.75での撮影条件が最も分解能が高くなった。すなわち、スライス厚が薄いほど分解能が優れた画像を得られ、同様にヘリカルピッチも小さいほど分解能も高くなる結果となった。

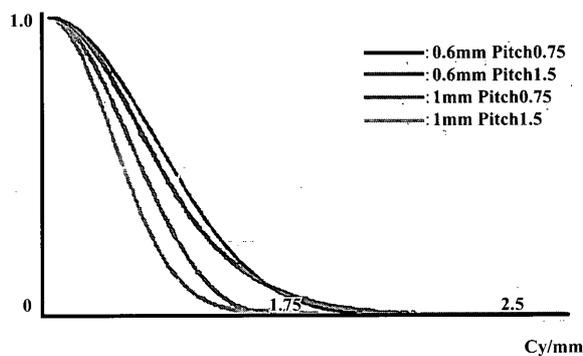


図2 本学CTにおけるzMTF
設定スライス厚とヘリカルピッチが小さいほど空間分解能も高くなった。

	50%MTF	Z軸分解能
0.6mm Pitch 0.75	0.78 cycle/mm	0.64 mm
0.6mm Pitch 1.50	0.65 cycle/mm	0.77 mm
1.0mm Pitch 0.75	0.55 cycle/mm	0.91 mm
1.0mm Pitch 1.50	0.47 cycle/mm	1.06 mm

表2 本学CTの空間分解能
スライス厚が薄く、ヘリカルピッチが小さいほど優れた分解能が得られた。

考 察

1. ヘリカルCTにおけるスライス厚の評価

CT撮像の際、スライス厚は薄ければ薄いほど実物に対する再現性に優れると考えられており(佐藤ら, 2004), 本学CTにおいても歯科用オーダーは「可能な限り薄く」との依頼が多い。近年ではヘリカル方式の開発によって、らせん状に高速撮像が可能なCT装置が広く普及し、本学でも患者の負担が少ない高性能な情報を提供出来るようになった。それに伴い、画像情報に関する評価方法も多数報告されている(白石, 津田, 1990)(Polacin et al., 1992; Polacin et al., 1994; Kalender et al., 1994; 辻岡, 1996; 馬場ら, 1997)。本実験では花井ら(1997)によって紹介された一般医療施設における汎用

性の高いビーズ法を用いて本学CTのスライス厚や空間分解能を評価した。

スライス厚の設定はエックス線管側と検出器側に二つのスリットを設置する事によりコリメーションを行っている。これにより1mm以下の極薄スライスが可能となったのだが、設定されたスリットの幅(=設定スライス厚)に対して実際に検出される情報の幅(=実効スライス厚)は理論上若干拡大される傾向をもつ(図3)。当然、これら2種類のスライス厚は差が小さいほど優れた情報を提供出来ることになる。

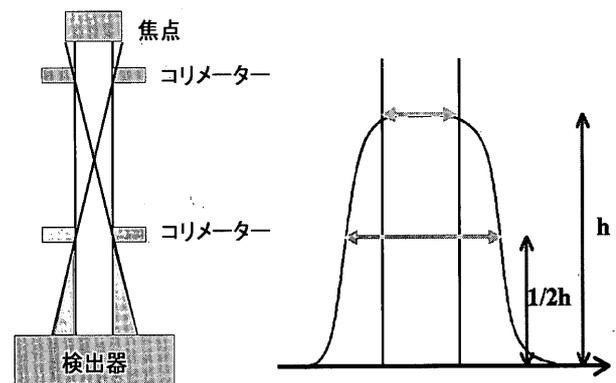


図3 スライス厚の原理

設定されたスライス厚よりも実際には広い範囲で情報が検出される。実際のCT画像では中央の最高感度領域の1/2の感度が得られる幅における情報を画像に構築している。

本実験において、設定したスライス厚が1mm以下になると誤差が拡大する結果となった(表1)。つまり要求したスライス内に多分なデータを含んでいる以上、信頼性が低下することになる。本学CTにおいては「可能な限り薄く」する事は、提供される情報の精度を低下させる原因になると推察された。

また、設定スライス厚1mmにおいてヘリカルピッチを大きくすると、実効スライス厚が薄くなる現象が発生した。これは、①テーブルの移動速度がある程度速いほうが検出した情報を処理するタイミングに合い易い。②フィルタリング再構成補間による影響などが推察されるが、百分の1mm単位の値では測定誤差と考えるほうが自然ではないかと思われた。特に設定スライス厚よりも薄い実効スライス厚となって情報を提供する事は理論的に不可解であることから、今後の検討課題になる結果を残した。

2. 体軸方向への空間分解能の評価

インプラント手術等の外科的手術を前提とする診断や、矯正治療においてCT画像を再構築した三次元(3D)イメージや多断面再構成(multi-planner reconstruction: MPR)像は解剖学的構造を自由に把握することが可能となり、非常に有用性が高い情報を提供できる。特

に解剖学的構造物の位置関係の把握や、距離を正確に測定した上で治療に挑むことは治療成績にも影響を与える。近年では、CTから提供された情報がセファログラムといった従来行われてきた画像情報による計測と比較しても優秀な評価を得られる性能を持つほどに至った(川原ら, 2000; 高根ら, 2001)。

空間分解能は0.5MTFにおける横軸の幅(=規格化空間周波数)を2倍した値の逆数から求められるので、図2に示した線形が右に広がるほど高い分解能を得ることが出来ることになる。本研究では、設定スライス厚が薄く、ヘリカルピッチが小さいほど空間分解能が高くなり、その精度は満足のいく結果となった。

しかしながら、設定スライス厚やヘリカルピッチを下げるのが必ずしも患者の利益に直結するとは限らない。

ヘリカルピッチは以下の式から求められる。

ヘリカルピッチ=エックス線管1回転の間にテーブルが移動する距離/設定スライス厚

従って、テーブルの移動スピードが遅いほど空間分解能を高めることが可能になるのだが、患者の拘束時間や被爆線量も増加することを考慮する必要がある。そこで今回、撮像距離1.2cmで電離箱型線量計(RADCHECK model 106-525, VICTOREEN)にて被爆線量を測定したところ、スライス厚0.6mm(スライス20枚)撮像の場合の吸収線量は0.39mGy、スライス厚1.0mm(スライス12枚)撮像の場合で0.38mGyとなった。その差は0.01mGyで、スライス幅0.6mmと1.0mmの撮像で大きな差があるとは考えられなかった。従って、臨床上スライス幅0.6mmの撮像に大きなリスクがあるとは言い難い。

今回の研究では1mm以下に小さくしても、実効スライス厚は減少しないが、スライス厚が薄いほど空間分解能が優れた画像を得られるという結果が得られた。体軸方向への寸法精度は、設定スライス厚に近い分解能であることから、本学CTは0.6~1.0mm程度の誤差を含んでいる情報であるとも考えられが、空間的表示においてソフト面で補正を加えている可能性もあり今後も解決すべき点が多いと思われる。

結 論

本学CTにおいて、歯科臨床的立場から求められる計測値の精度を評価項目として検証した結果、次の結論を得た。

1. 設定スライス厚を1mm以下に小さくしても、実効

スライス厚は下がらない。逆に精度の低下を招く可能性がある。

2. ヘリカルピッチは小さい方が設定スライス厚と実効スライス厚との誤差は低くなる。

3. スライス厚が薄いほど空間分解能が優れた画像を得られる。同様に、ヘリカルピッチが小さいほど分解能も高くなる。

文 献

- Kalender WA, Polacin A and Suss C: A comparison of conventional and spiral CT: an experimental study on the detection of spherical lesions. *J Comput Assist Tomogr* 18: 167-176, 1994.
- 川原英明, 下田信治, 小林 馨, 他: スパイラルX線CTによる3Dイメージの距離測定精度に関する研究. *日口腔インプラント誌* 13: 321-327, 2000.
- 馬場仁, 広渡諭, 西村弘幸, 他: X線CTにおけるスライス感度分布の測定-エアーギャップを用いた方法-. *日放技学誌* 53: 437-442, 1997.
- 花井耕蔵, 石田智広, 井田義宏, 他: 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.
- Polacin A, Kalender WA and Marchal G: Evaluation of section sensitivity profiles and image noise in spiral CT. *Radiology* 185: 29-35, 1992.
- Polacin A, Kalender WA and Brink J, et al: Measurement of slice sensitivity profiles in spiral CT. *Med Phys* 21: 133-140, 1994.
- 佐藤尚志, 川上俊光, 久保田徹, 曾根可南子: MultiDetector-row CTにおけるz軸の特性評価. *日放技学誌東北部会雑誌* 13: 178-181, 2004.
- 白石順二, 津田和良: CTにおけるスライス厚の測定: partial volume effectを用いた測定法. *日放技学誌* 46: 29-34, 1990.
- 高根ユミ, 一色泰成, 西川慶一: 顔面非対称のX線CT 3次元画像診断における距離計測の信頼性. *歯科学報* 101: 1195-1206, 2001.
- 辻岡勝美: ヘリカルCTシステムの技術的問題点~性能評価と実際の運用~. *日放技学誌* 52: 389-396, 1996.