

ヘリカル CT (Lemage SX) の分解能

伊勢 啓助¹⁾

新井香恵子²⁾

大西 範生²⁾

城野 良三²⁾

1) 小松島赤十字病院 放射線科部

2) 小松島赤十字病院 放射線科

要 旨

ヘリカルスキャン法は従来のスキャン法と異なり、連続回転スキャンを行いながら患者寝台を一定速度で移動する手法である。ヘリカルスキャン法には従来法にはない特有な設定パラメータが存在する。これらの設定により画像の特徴は大きく変化することとなる。

ヘリカルスキャンでは「体軸方向の空間分解能」「実効スライス厚」「寝台移動速度」について積極的に評価を行っていく必要がある。本レポートではこれらの評価方法についても言及する。

キーワード：ヘリカルCT、空間分解能、三次元画像

はじめに

当病院にもヘリカルCTが購入され三次元画像を作成することができるようになった。

そこで、この新しい装置でのAxial及び体軸方向に対する分解がどの程度かを知るために次の実験を行った。

実験方法 1

Axial空間分解能を見るファントム (スリット間

Scan FOV \ X線ビーム幅	250mm	350mm	420mm
1 mm	Fig 1 - 1	Fig 1 - 2	Fig 1 - 3
3 mm	Fig 1 - 4	Fig 1 - 5	Fig 1 - 6
5 mm	Fig 1 - 7	Fig 1 - 8	Fig 1 - 9
10mm	Fig 1 - 10	Fig 1 - 11	Fig 1 - 12

隔0.53mm・0.64mm・0.81mm・1.02mm・1.30mm・1.63mm・2.06mm・2.59mm・3.25mm・4.76mm・7.94mm)を140kv 160mAでX線ビーム幅を1mm 3mm 5mm 10mmと変え、ヘリカルスキャン(テーブル移動速度は、X線ビーム幅/回転)した。

* 画像再構成間隔 (以下Recon - INTとする)

* 画像再構成範囲 (以下Recon - FOVとする) は、全て16cmとする。

* スキャン範囲 (以下Scan FOVとする)

上記条件でのAxial画像を以下に示す。



Fig. 1

結果 1

(Fig. 1-1)(Fig. 1-2)(Fig. 1-3) は、1.02mm まで分解し、(Fig. 1-4)(Fig. 1-5)(Fig. 1-6) (Fig. 1-7)(Fig. 1-8)(Fig. 1-9)(Fig. 1-10) (Fig. 1-11)(Fig. 1-12)は、0.81mmまで分解していた。Scan FOVを変化させても同じX線ビーム幅であれば分解能は変わらない。しかし、X線ビーム幅が薄くなるほどSN比が悪くなり画像のざらつきが多くなるために、画像上、より細かな分解が得られなくなった。

実験方法 2

次に、三次元画像を作成するにあたり、ヘリカルスキャン(X線管を同一方向に連続回転させながらテーブルを体軸方向に低速移動させることで被検者を螺旋状にスキャンし、その投影データを収集する撮影法)をする為、テーブル移動方向の空間分解能を調べる必要がある。体軸方向の空間分解能を左右する因子にX線ビーム幅、テーブル移動速度、Recon-INT、Recon-FOVが考えられ、次のようなヘリカルスキャン条件にて実験をおこなった。

Scan FOVは、上記の結果、Axialの空間分解能が同じの為、250mmのみで行い、X線管電圧120kv X線

管電流160mAと同じ条件で行う。体軸方向の空間分解能を調べるファントムを自作(スリット間隔0.5mm 9line、1mm 6line、3mm 4line、5mm 3line、10mm 2line)し、X線ビーム幅1mm テーブル移動速度1mm/回転、X線ビーム幅3mm テーブル移動速度3mm/回転、X線ビーム幅5mm テーブル移動速度5mm/回転、X線ビーム幅10mm テーブル移動速度10mm/回転でスキャンし、Recon-INTを変化させた画像からReformation画像を作成しSagittal画像で評価した。

Scan FOV 250mm

X線ビーム幅 mm	テーブル移動速度 mm/回転	Recon-INT mm
10	10	1,2,4,5,7,8,10
5	5	0.5,1,2,3,4,5
3	3	0.3,0.5,1,2,3
1	1	0.1,0.2,0.5,0.7 0.8,1

X線ビーム幅10mm テーブル移動速度10mm/回転にてヘリカルスキャンし、Recon-INTを変化させた画像からスリット間隔5mm 3line (Fig. 2-a) 10mm 2line (Fig. 2-b) をSagittal画像にした。

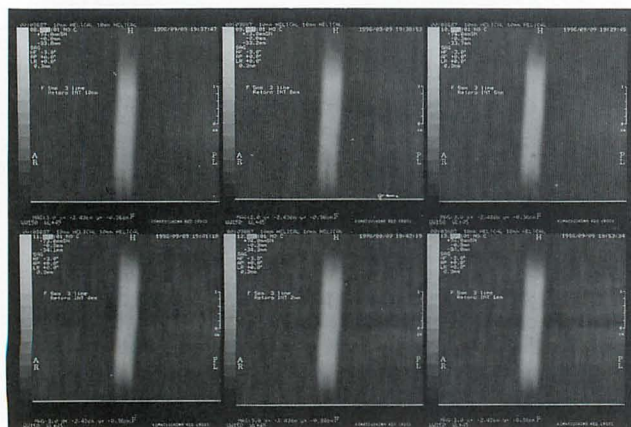


Fig. 2-a スリット間隔 5mm 3line
Recon-INT 10mm 8mm 5mm
(左上) (中上) (右上)
4mm 2mm 1mm
(左下) (中下) (右下)

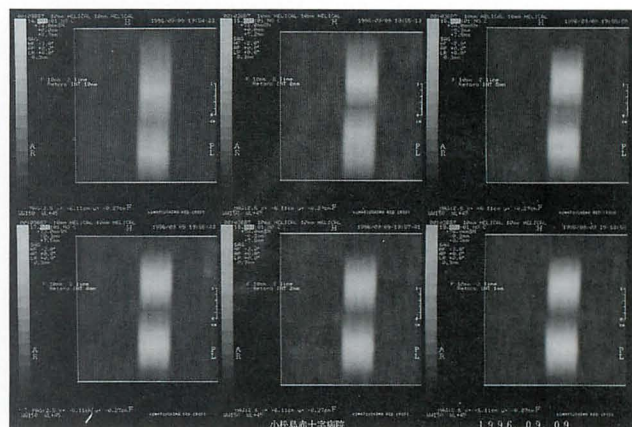


Fig. 2-b スリット間隔 10mm 2line
Recon-INT 10mm 8mm 5mm
(左上) (中上) (右上)
4mm 2mm 1mm
(左下) (中下) (右下)

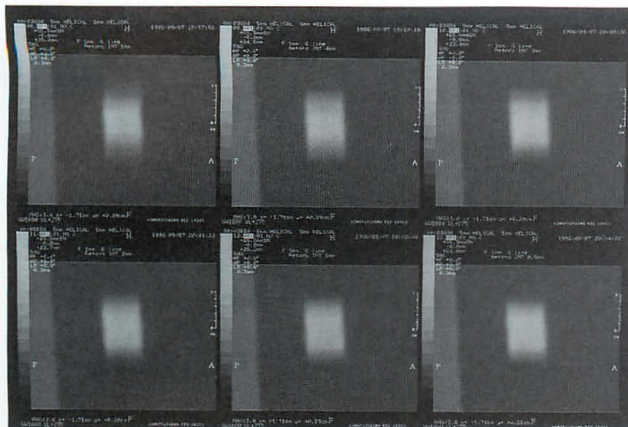


Fig.3-a スリット間隔 1 mm 6 line
Recon-INT 5 mm 4 mm 3 mm
(左上) (中上) (右上)
2 mm 1 mm 0.5mm
(左下) (中下) (右下)

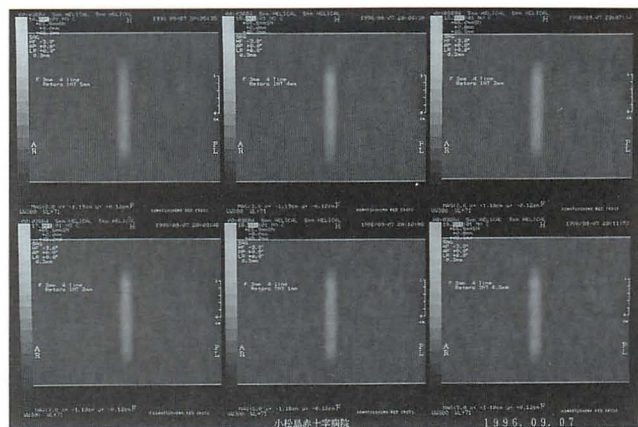


Fig.3-b スリット間隔 3 mm 4 line
Recon-INT 5 mm 4 mm 3 mm
(左上) (中上) (右上)
2 mm 1 mm 0.5mm
(左下) (中下) (右下)

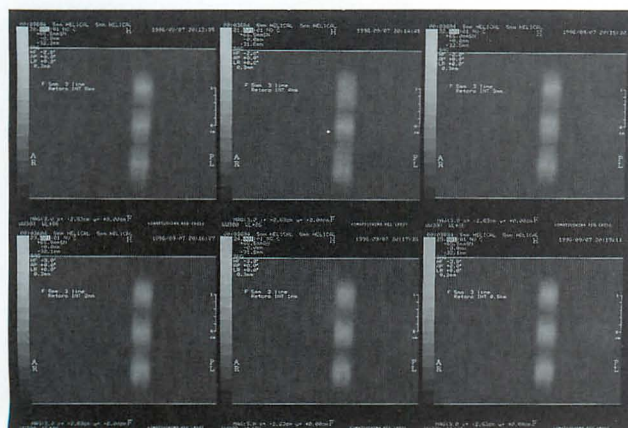


Fig.3-c スリット間隔 5 mm 3 line
Recon-INT 5 mm 4 mm 3 mm
(左上) (中上) (右上)
2 mm 1 mm 0.5mm
(左下) (中下) (右下)



Fig.3-d スリット間隔 10 mm 2 line
Recon-INT 5 mm 4 mm 3 mm
(左上) (中上) (右上)
2 mm 1 mm 0.5mm
(左下) (中下) (右下)

X線ビーム幅 5 mm テーブル移動速度 5 mm/回転にてヘリカルスキャンし、Recon-INT を変化させた画像からスリット間隔 1 mm 6 line (Fig.3-a) 3 mm 4 line (Fig.3-b) 5 mm 3 line (Fig.3-c) 10 mm 2 line (Fig.3-d) を Sagittal 画像にした。

X線ビーム幅 3 mm テーブル移動速度 3 mm/回転にてヘリカルスキャンし、Recon-INT を変化させた画像からスリット間隔 0.5 mm 9 line (Fig.4-a) 1 mm 6 line (Fig.4-b) 3 mm 4 line (Fig.4-c) 5 mm 3 line (Fig.4-d) 10 mm 2 line (Fig.4-e) を Sagittal 画像にした。

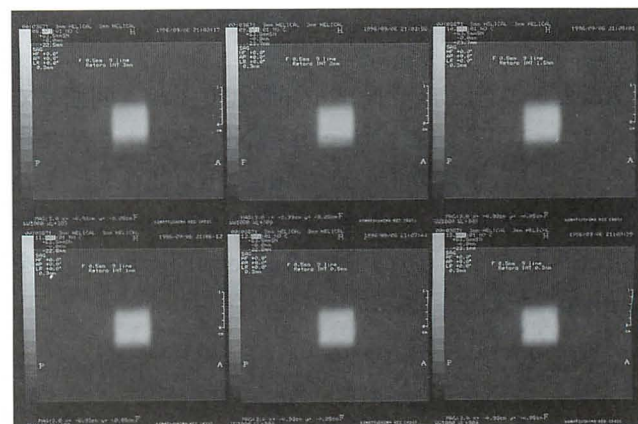


Fig.4-a スリット間隔 0.5 mm 9 line
Recon-INT 3 mm 2 mm 1.5mm
(左上) (中上) (右上)
1 mm 0.5mm 0.3mm
(左下) (中下) (右下)

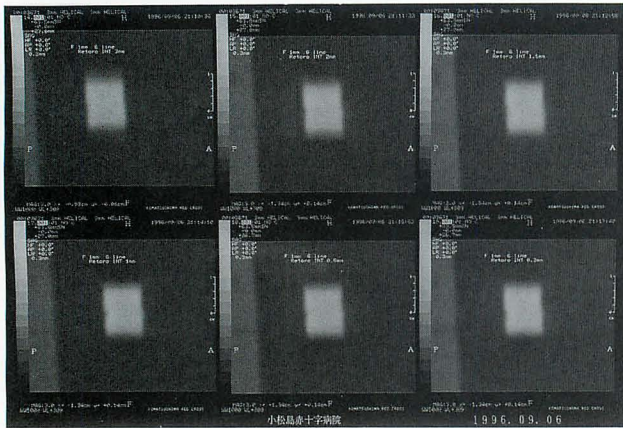


Fig.4-b スリット間隔 1 mm 6 line
Recon-INT 3 mm 2 mm 1.5 mm
(左上) (中上) (右上)
1 mm 0.5 mm 0.3 mm
(左下) (中下) (右下)



Fig.4-c スリット間隔 3 mm 4 line
Recon-INT 3 mm 2 mm 1.5 mm
(左上) (中上) (右上)
1 mm 0.5 mm 0.3 mm
(左下) (中下) (右下)

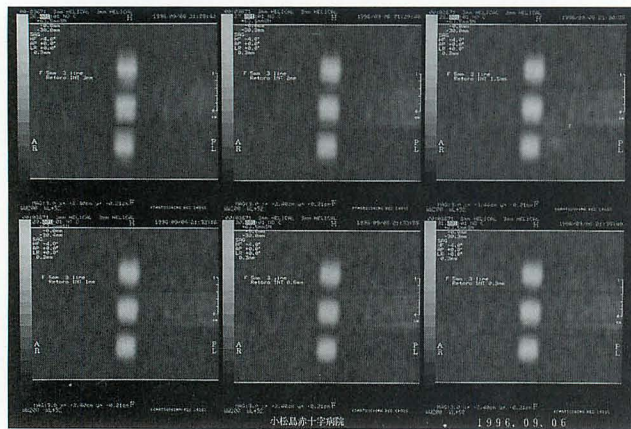


Fig.4-d スリット間隔 5 mm 3 line
Recon-INT 3 mm 2 mm 1.5 mm
(左上) (中上) (右上)
1 mm 0.5 mm 0.3 mm
(左下) (中下) (右下)

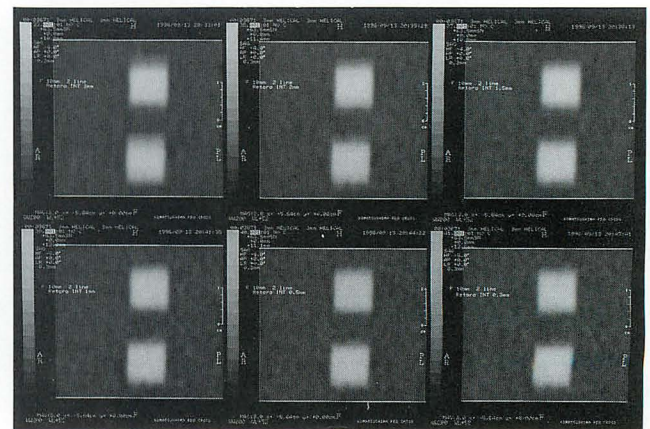


Fig.4-e スリット間隔 10 mm 2 line
Recon-INT 3 mm 2 mm 1.5 mm
(左上) (中上) (右上)
1 mm 0.5 mm 0.3 mm
(左下) (中下) (右下)

X線ビーム幅 1 mm テーブル移動速度 1 mm/回転にてヘリカルスキャンし、Recon-INT を変化させた画像からスリット間隔 0.5 mm 9 line (Fig.5-a) 1 mm 6 line (Fig.5-b) 3 mm 4 line (Fig.5-c) 5 mm 3 line (Fig.5-d) 10 mm 2 line (Fig.5-e) を Sagittal 画像にした。

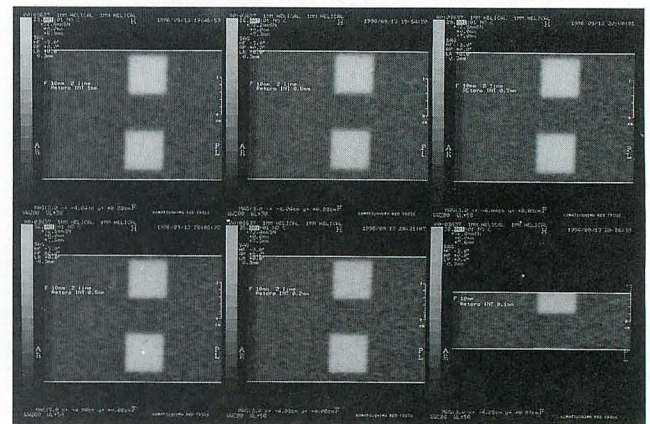


Fig.5-a スリット間隔 0.5 mm 9 line
Recon-INT 1 mm 0.8 mm 0.7 mm
(左上) (中上) (右上)
0.5 mm 0.2 mm 0.1 mm
(左下) (中下) (右下)

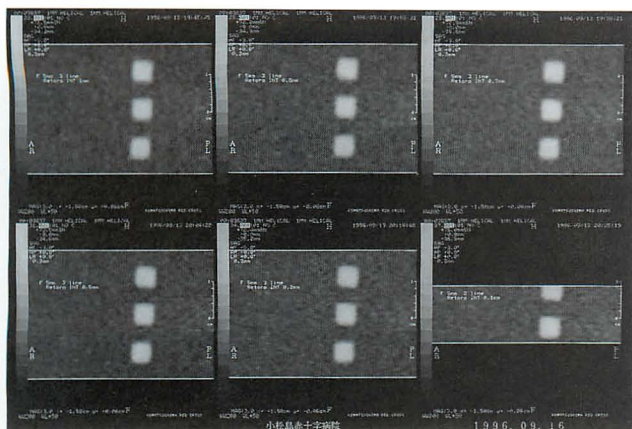


Fig.5-b スリット間隔 1 mm 6 line
Recon-INT 1 mm 0.8mm 0.7mm
(左上) (中上) (右上)
0.5mm 0.2mm 0.1mm
(左下) (中下) (右下)



Fig.5-c スリット間隔 3 mm 4 line
Recon-INT 1 mm 0.8mm 0.7mm
(左上) (中上) (右上)
0.5mm 0.2mm 0.1mm
(左下) (中下) (右下)



Fig.5-d スリット間隔 5 mm 3 line
Recon-INT 1 mm 0.8mm 0.7mm
(左上) (中上) (右上)
0.5mm 0.2mm 0.1mm
(左下) (中下) (右下)



Fig.5-e スリット間隔 10 mm 2 line
Recon-INT 1 mm 0.8mm 0.7mm
(左上) (中上) (右上)
0.5mm 0.2mm 0.1mm
(左下) (中下) (右下)

以上より各条件での空間分解能に対する評価を放射線科医師が行った。

個数の識別が不可能 B 個数の識別が可能 G 形までの識別が可能 E の 3 段階で表示する。

B	B	B
B	B	B

Fig.2-a スリット間隔 5 mm 3 line
Recon-INT 10 mm 8 mm 5 mm
(左上) (中上) (右上)
4 mm 2 mm 1 mm
(左下) (中下) (右下)

B	B	BG
BG	BG	BG

Fig.2-b スリット間隔 10 mm 2 line
Recon-INT 10 mm 8 mm 5 mm
(左上) (中上) (右上)
4 mm 2 mm 1 mm
(左下) (中下) (右下)

B	B	B
B	B	B

Fig.3-a スリット間隔 1 mm 6 line
Recon-INT 5 mm 4 mm 3 mm
(左上) (中上) (右上)
2 mm 1 mm 0.5 mm
(左下) (中下) (右下)

B	B	B
B	B	B

Fig.3- b スリット間隔 3 mm 4 line
Recon-INT 5 mm 4 mm 3 mm
(左上) (中上) (右上)
2 mm 1 mm 0.5mm
(左下) (中下) (右下)

B G	B G	G B
G	G	G

Fig.3- c スリット間隔 5 mm 3 line
Recon-INT 5 mm 4 mm 3 mm
(左上) (中上) (右上)
2 mm 1 mm 0.5mm
(左下) (中下) (右下)

B G	B G	B G
G	G E	G E

Fig.3- d スリット間隔 10 mm 2 line
Recon-INT 5 mm 4 mm 3 mm
(左上) (中上) (右上)
2 mm 1 mm 0.5mm
(左下) (中下) (右下)

B	B	B
B	B	B

Fig.4- a スリット間隔 0.5 mm 9 line
Recon-INT 3 mm 2 mm 1.5 mm
(左上) (中上) (右上)
1 mm 0.5 mm 0.3 mm
(左下) (中下) (右下)

B	B	B
B	B	B

Fig.4- b スリット間隔 1 mm 6 line
Recon-INT 3 mm 2 mm 1.5 mm
(左上) (中上) (右上)
1 mm 0.5 mm 0.3 mm
(左下) (中下) (右下)

B	B G	G
G	G	G

Fig.4- c スリット間隔 3 mm 4 line
Recon-INT 3 mm 2 mm 1.5 mm
(左上) (中上) (右上)
1 mm 0.5 mm 0.3 mm
(左下) (中下) (右下)

B G	G	G
G	G	G

Fig.4- d スリット間隔 5 mm 3 line
Recon-INT 3 mm 2 mm 1.5 mm
(左上) (中上) (右上)
1 mm 0.5 mm 0.3 mm
(左下) (中下) (右下)

G	G E	E
E	E	E

Fig.4- e スリット間隔 10 mm 2 line
Recon-INT 3 mm 2 mm 1.5 mm
(左上) (中上) (右上)
1 mm 0.5 mm 0.3 mm
(左下) (中下) (右下)

B	B	B
B	B	B

Fig.5- a スリット間隔 0.5 mm 9 line
Recon-INT 1 mm 0.8 mm 0.7 mm
(左上) (中上) (右上)
0.5 mm 0.2 mm 0.1 mm
(左下) (中下) (右下)

B	B	G E
G E	G E	G E

Fig.5- b スリット間隔 1 mm 6 line
Recon-INT 1 mm 0.8 mm 0.7 mm
(左上) (中上) (右上)
0.5 mm 0.2 mm 0.1 mm
(左下) (中下) (右下)

G	G	G
G	G	G

Fig.5- c スリット間隔 3 mm 4 line
Recon-INT 1 mm 0.8 mm 0.7 mm
(左上) (中上) (右上)
0.5 mm 0.2 mm 0.1 mm
(左下) (中下) (右下)

E	E	E
E	E	E

Fig.5- d スリット間隔 5 mm 3 line
Recon-INT 1 mm 0.8 mm 0.7 mm
(左上) (中上) (右上)
0.5 mm 0.2 mm 0.1 mm
(左下) (中下) (右下)

E	E	E
E	E	E

Fig.5-e スリット間隔10mm 2line

Recon-INT 1 mm 0.8mm 0.7mm
 (左上) (中上) (右上)
 0.5mm 0.2mm 0.1mm
 (左下) (中下) (右下)

結果2

X線ビーム幅10mmテーブル移動速度10mm/回転のFig 2ではRecon-INT 1mmにしても10mmの分解がない。

また、X線ビーム幅5mmテーブル移動5mm/回転のFig 3において体軸方向に5mm以上のVolumeを持ち、なおかつRecon-INT 2mm以下で体軸方向5mmの分解が得られる。

X線ビーム幅3mmテーブル移動3mm/回転のFig 4において体軸方向に3mm以上のVolumeを持ち、なおかつRecon-INT 1.5mm以下で体軸方向3mmの分解が得られる。

X線ビーム幅1mmテーブル移動速度1mm/回転のFig 5において体軸方向に1mm以上のVolumeを持ち、なおかつRecon-INT 0.7mm以下で体軸方向1mmの分解が得られる。

実験方法3

X線ビーム幅1mmテーブル移動速度1mm/回転で1mm間隔のファントムを撮影した後Recon-INT 0.1mm Recon-FOVを15cm, 10cm, 8cm, 7cm, 6.5cm, 6cm, 5.5cm, 5cm, 4.5cmと変えた三次元画像をFig 6に示す。

結果3

Recon-FOV 6cm以下ならば形態を許容できる程度に描出しているという評価を得た。

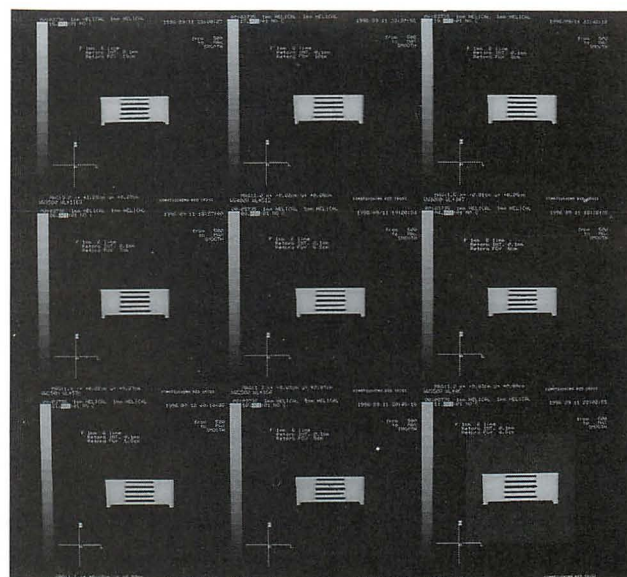


Fig.6 スリット間隔1mm 6line

Recon-FOV 15cm 10cm 8cm
 (左上) (中上) (右上)
 7cm 6.5cm 6cm
 (左下) (中下) (右下)
 5.5cm 5cm 4.5cm
 (左下) (中下) (右下)

考 察

ヘリカルCTには従来のCTにはない次のような利点

- (1) スキャン停止時間がないため従来法に比較し、一度で広範囲をスキャンでき、かつ被曝線量も少ない。
- (2) 1回の呼吸停止下で検査対象臓器の全体をスキャンすることが可能となり、息継ぎによる空間的位置のずれが生じない。
- (3) 体軸方向のデータの連続性に優れ、この方向での空間分解能が高い。
- (4) データの収集が連続的であるため、任意の断面像が得られる。
- (5) 短時間で検査が終了するため、呼吸停止の得られにくい小児や緊急検査症例にも対応が可能である。
- (6) 造影検査では一定範囲を目的とする血管相内、すなわち血流の位相を捉えて撮像し得る。
- (7) post-processingは多様であり、1回の検査データから動画像表示、多断面変換表示、および三次元表示など再構成画像を任意で作成し得る。
- (8) 臓器、血管、病変部の三次元画像を得ることができ、外科手術前のシュミレーション、さらに患者への説明に利用できる。

などが挙げられている¹⁾。

今回は、三次元画像作成にあたって最も重要と思われる体軸方向の空間分解能を測定するファントームを自作し、X線ビーム幅を10mm, 5mm, 3mm, 1mmと変化させ、さらにRecon-INTを変化させ、その画像からReformation画像を作成し、そのSagittal像で評価した。その結果、各X線ビーム幅全てにおいてRecon-INTを小さくしたSagittal像ほど分解が明瞭に見えた。また、X線ビーム幅と同じ厚さの体軸方向分解能が得られる最大のRecon-INTがまちまちだったため、Recon-INT設定の指標となるような法則を見いだすことができなかった。

ヘリカルスキャンでは、X線ビーム幅よりも少し小さい体軸方向の分解能が得られるという報告²⁾がなされている。しかし今回の実験では、X線ビーム幅以下の体軸方向の空間分解能についての評価ができていない。これは、自作ファントームでX線ビーム幅より少し小さい空間分解能を得るファントームを作っていないので、Lemage SXの体軸方向での限界空間分解能を知ることができなかったためである。

Axial方向の空間分解能はScan FOVに関係なく、X線ビーム幅1mmで1.02mm X線ビーム幅3mm以上で0.81mmであり、このAxial方向の空間分解能も体軸方向にX線ビーム幅以上の物体があって初めて1.02mm、0.81mmの空間分解能が得られるものである。体軸方向の分解能はX線ビーム幅以上の空間分解能しか得られないため、Reformation画像、三次元画像は結果的にX線ビーム幅以下の空間分解能を得ることができていない。しかも体軸方向の物体がX線ビーム幅より小さい物になればなるほど、SN比の低下により空間分解能は落ちてくるであろう。今回の結果としては、体軸方向の分解1mmを得るには体軸方向に1mm以上の物体が存在し、X線ビーム幅1mm、テーブル移動速度1mm/回転で撮影する条件が必要であることが考えられた。3mm、5mmの体軸方向の分解能についても、同様の条件下で結果を得ることができた。しかし10mmのX線ビーム幅、テーブル移動速度10mm/回転では体軸方向に10mmの分解が得られなかった。

次はRecon-FOVについてであるが、Lemage SXの三次元画像は、複数のAxial画像に、しきい値でCT値の範囲を設定することにより、その範囲に含まれるpixelの中から、範囲に含まれないpixelと隣接している境界pixelのみを三次元表面として抽出し、

その像を任意方向の投影した三次元画像として表示するもの(サーフェスレンダリング法)である。今回の実験では、Recon-FOV 6.5cm以上のデータから三次元画像にするとファントームと同じ形態を持つように表示することが難しく、許容できる三次元画像を得るためにはRecon-FOV 6cm以下の条件が必要であると思われる。

Recon-FOVを小さくするということは、三次元画像作成の前処理であるAxialのpixelを小さくし、ひいては三次元画像の表面のBoxelをより細かくして、表面の形態をより実際の形態に近く表現し得ることにつながる。三次元画像は、形態をそのまま描出してはじめて意味があると思われるが、このようにReformation画像、三次元画像ともRecon-FOV、Recon-INTに大きく左右されpost-processingに大切な因子であり、検査をする上での絞らなければ見つかるものも見つからないであろう。

現在ヘリカルスキャンで検査する時、テーブル移動速度は、X線ビーム幅と同じにしているが、X線ビーム幅 $\times\sqrt{2}$ のテーブル移動速度まで体軸方向の空間分解能は変わらないという報告がある³⁾。空間分解能を落さずにテーブル移動速度を上げることができるということは、検査領域を広げることになり大変有用である。Lemage SXにおいても分解能を落さずにどの程度までテーブル移動速度を上げられるのか今後の課題としたい。

まとめ

今回の実験で、Lemage SXはAxial方向で、X線ビーム幅1mmで1.02mm、X線ビーム幅3mm, 5mm, 10mmで0.81mmまでの空間分解能があることがわかった。

体軸方向では、X線ビーム幅1mmで1mm、X線ビーム幅3mmで3mm、X線ビーム幅5mmで5mmまでの空間分解能があることがわかった。しかし、X線ビーム幅10mmでは10mmの空間分解能が得られなかった。

参考文献

- 1) 平松京一 隈崎達夫 他：高速らせんCTの実際、メディカル・ジャーナル社
- 2) 鈴木憲二 片倉俊彦 遊佐 烈 他：ヘリカルCTシステムの技術的問題点、日放技学誌 52：

Measurement of spatial resolution on CT(Lemage SX)

Keisuke ISE¹⁾, Kaeko ARAI²⁾, Norio OONISHI²⁾, Ryouzou SHIRONO²⁾

1) Division of Radiology, Komatushima Red Cross Hospital

2) Division of Radiology, Komatushima Red Cross Hospital

Unlike conventional scanning methods, the helical scan method moves the patient's couch at constant speed while performing continuous rotational scans. The helical scan method has settings for specific parameters, not available in conventional methods. These settings have a significant effect on the characteristics of the images.

In helical scanning, we need to thoroughly investigate the following factors : the spatial resolution to scan along the axis of the body, effective slice width, and couch velocity. This report will also refer to these factors.

Keyword : helical CT, spatial resolution, 3D image

Komatushima Red Cross Hospital Journal 2 : 123-131, 1997
