—臨床医のために—

Virtual CT endoscopy “Cruising Eye View”

CT のデータからの内視鏡のイメージを得る

林 宏光・小林 尚志・隈崎 達夫

日本医科大学放射線医学教室

Virtual CT endoscopy “Cruising Eye View”

Development and clinical applications

Hiromitsu Hayashi, Hisashi Kobayashi and Tatsuo Kumazaki

Department of Radiology, Nippon Medical School

はじめに

1972 年に Hounsfield らにより X 線 CT が発表され、これまでにない高い濃度分解能で非侵襲的に人体の横断像を得ることが可能となった。X 線 CT は X 線が物体を透過する性質を利用して、被験者に対して同心円的に多方向から X 線を照射し、その透過 X 線の強度を計測して、断面各点での線吸収係数を求めることから断層像を得ている。これまでの CT 検査法においては撮影中に被験者の撮影位置を変えないことが、任意の位置での X 線 CT 像を得るための大原則とされてきた。

これに対し、最近話題となっている「高速らせん CT」は、X 線管を同一方向に連続的に回転させながら検査寝台を体軸方向に定速移動させることで被験者を「らせん状」にスキャンし、その投影データを収集する撮影法である¹⁾。高速らせん CT には従来の CT にはない様々な特徴があるが、なかでも体軸方向に良好な連続性を有するボリュームデータを利用した 3 次元 CT 血管造影法 (3D-CTA) は、新しい診断モダリティとして注目されている。

この 3D-CTA による表示法には、3 次元表示する血管腔を閾値処理して抽出し、通常のカテーテルを用いた血管造影像と同様に血流腔を描出する voxel transmission 法をはじめとする表示法²⁾と、CT 値領域の境界面のみを抽出することで、血

管をはじめとする管腔臓器の内腔面を表示する CT 内視法とに大別できる。

1. CT 内視法の開発

高速らせん CT から得られたデータをもとに、通常の血管内視鏡をはじめ現在の医療技術では観察することの困難な大血管の内腔面を臨床例にて表示・観察する試みは、1992 年当教室の小林らにより世界で初めて報告された²⁾。これはマトリックス上の位置情報を CT 値の変化として捉え、その関数の二次微分において濃度変化が最大となる点 (zero-crossing point) を探し出し、その両側に位置するピクセルのみを残して他の位置情報を消去するという方法である。この画期的手法の開発により大血管のみならず、気管支系、胆道系、泌尿器系へと応用した CT bronchoscopy, cholangioscopy, cystoscopy も臨床利用されるに至った³⁾。しかし、この手法による CT 内視法で自由に管腔臓器内を観察することは技術的に限界があり、3 次元再構成法をその根本から見直す必要があった。

2. Virtual CT endoscopy “Cruising Eye View” のための新たな投影法の開発

現在までに用いられてきた CT 内視法の投影法を図 1 に示す。血管と投影面の位置関係は任意であるが、平行投影法を用いているため投影法は互

図1 平行投影法によるCT内視法

図2 Cruising Eye View 法で用いた放射状投影法

いに平行である。また、観察の視点は無限遠方にあると仮定しているため、臓器内に設定することはできない。この結果、血管と投影面との位置関係により多少は変化するものの、投影される内腔面のほとんどが血管の外側面によってさえぎられることとなる。したがって現時点までのCT内視法は、「臓器の外側から観察した内腔面の3次元再構成」とも言える。

これに対し、virtual CT endoscopy “cruising Eye View”で用いた、投影線が視点から投影面に向かい放射状に広がる放射状投影法を図2に示す。この際、視点位置は任意に設定可能であり、もちろん、血管内にも設定しうる。図1で示した平行投影法に比較し、投影される血管内腔面の範囲が著しく広がることは、容易に理解しえよう。しかし、単純にこの投影法を用いて血管内腔を表示したのでは、画像に歪みを生ずることとなる。

3. 画像の歪みを補正するため眼球構造に着目した投影法：Eye-Ball 法

放射状投影法における画像の歪みの発生は、表示装置のメモリ配列が二次元平面状になっているために生ずる現象である。この結果、同じ大きさの物体であっても表示位置が画像の中心か辺縁かで、その大きさや形態が異なってしまうこととなる。この非生理的現象を解決するため、われわれは眼球の幾何学的構造に着目した。眼球の網膜面が球状になっていることと同様に、3次元再構成の投影像が球面に投影した場合と同様であれば、歪みが解消され则认为たわけである。

図3に眼球構造に着目した投影法：Eye-Ball法のシェーマを示す。水晶体の中心を通った光線は水晶体の中心と原点Oとを結ぶ直線と角度 θ をなして投影点VPに達する。すると、原点と投影点VPを結ぶ円弧の長さLは角度 θ と線形関係となり、投影像の大きさが位置によって大きくなる現象は回避されることとなる。実際の投影処理は二段階よりなる。投影線に沿って、二次元平面の投影面に断層面上の画素点を投影し、これを一次投影点P1とする。この一次投影点の座標の補正に、前述の眼球の網膜面に相当する球面を利用する。投影線と球面との交点を投影点VPとしたとき、原点Oから投影点VPまでの球面に沿った長さLと同じ長さとなるように、投影面上の原点OからLだけ離れた点に二次投影点P2を設定する。そして得た二次投影点P2の位置に、一次投影点P1のデータを移動させる。このようにし

図3 画像の歪みを補正する新たな投影法：Eye-Ball 法

写真1 voxel trasmission 法による3D-CTA ならびに回転デジタル血管造影像。左外腸骨動脈に偏心性の高度の狭窄を認める（矢印）。左浅大腿動脈は閉塞している（白矢頭）。

写真2 Cruising Eye View による大動脈分岐部レベルの近接像，右総腸骨動脈分岐部の石灰化は矢頭のごとく隆起性病変として描出される。

写真3 左外腸骨（矢印：約8mm 径）・内腸骨（矢頭：約6mm 径）動脈分岐部の近接像。

て投影面上のすべての一次投影点のデータを二次投影点に移動させることで画像の歪みは解消されることとなる。

このような理論と過程から、「遠近法を有し，臓器の内側から観察した内腔面の3次元再構成」である virtual CT endoscopy “Cruising Eye View”

写真4 左外腸骨動脈の狭窄部の近接像。狭窄部の形態が明瞭となる。矢印の間隔は2mmであり、内腔径は 4×0.6 mm程度であることがわかる。

写真5 さらに狭窄部に接近した画像。狭窄部を介して末梢側の外腸骨動脈が描出されている。矢印間は0.1mm。

写真6 左外腸骨動脈の狭窄部に対する atherectomy 施行後の内腔のイメージ。写真4、5と比較し広い内腔径が得られたことが確認できるが、狭窄部の約1~2mmの『削り残し』が、背側壁に連山状の隆起として遺残したことがわかる(矢印)。

は現実が可能となった。

4. Cruising Eye Viewの作成手順

臨床データの収集に使用したらせんCT装置は

日立CT-W 3000である。撮影条件は管電圧120 kV、管電流250 mAとし、FOV 30 cm、 512×512 マトリックスにて検査した。らせんCTのX線ビーム幅を5 mm、テーブル移動速度を5 mm/sec

とし、非イオン性造影剤 120 ml を 2 ml/sec にて加圧注入しつつ、30 cm の範囲を呼吸停止せずにスキャンした。従って実際の検査時間は約 1 分 30 秒である。得られたボリュームデータより 2 mm 間隔にて画像再構成し、この画像をワークステーションに読み込ませた後、2 mm 厚の画像から線形補間法にて 0.1 mm 厚ごとさらに再計算させ、Cruising Eye View のための元画像を得た。つまり、30 cm の Cruising Eye View を作成するためには 3,000 枚の断層情報を読み込ませるわけである。この後、前述の新しく開発した投影法の Eye-Ball 法を用い、血管内の造影剤を閾値処理にて除去した後、内腔面の 3 次元再構成像を得、マウスにより観察の視点と視線方向を対話的に指示・入力し、CRT 上に動画像表示させて観察した。

5. Cruising Eye View 法の展望

Virtual CT endoscopy “Cruising Eye View” は、血管を始めとする管腔臓器の内腔面を正確に表示するため、球面に投影したのと同様の効果をも有する投影法である Eye-Ball 法を用い、かつ観察の視点と視線方向を任意に設定可能な新たな 3 次元画像再構成法⁴⁾である。本法を血管性病変に適用することで、血管内視鏡での観察が困難な大動脈内腔から、理論的には 1 画素の内腔径 (FOV 30 cm とすると、直径約 0.6 mm の内腔を持つ血管となる) の微小血管内までの観察が可能である。今後、FOV を小さくし、よりよい条件で撮影することで、さらに小さな内腔径の脈管も観察対象となると考えられる。また、画像再構成法を改良することで、血管壁の CT 値を反映した Cruising Eye View も可能となる。その際には、単に狭窄の程度を評価するだけでなく、これが石灰化を伴う「固い狭窄」であるのか否かの判断も可能となろう。血管走行に沿った狭窄あるいは拡張性病変部の 3 次元的計測も世界に先駆け可能としたことより、血管内治療の方針の決定に有用⁵⁾であるのみならず、広く生体の 3 次元計測に応用可能と考えられる。

Cruising Eye View 法は血管系以外にも気管・気管支系、胆道系、尿路系、消化管系、さらに骨構造間の間隙にも画像的な侵入が可能であり、この点から整形外科および耳鼻科領域への応用も適応となる。さらに本法では必要に応じて視点を管腔外に移動し、外側より病変を評価することも可能である。この観点より Cruising Eye View は今後 virtual CT microscopy (CT 顕微鏡) としての可能性をも秘めた再構成法でもあるといえる。この結果、腫瘍と栄養血管との 3 次元的関係、あるいは腫瘍による血管浸潤の有無の判定などの、従来困難とされてきた画像診断も可能となることが期待される。

現時点での Cruising Eye View 法は完成された技術ではなく改良点も存在する、いわば発展途中の技術であるが、本法の臨床応用により高速らせん CT ならびに 3 次元画像診断の持つ可能性は、今後、より拡大されるものと期待される⁶⁾。

文 献

- 1) 林 宏光, 小林尚志, 高木 亮, 趙 圭一, 石原真木子, 吉川 晃, 市川太郎, 隈崎達夫: らせん CT; その基礎からの最新の 3 次元画像まで。臨床画像, 12, 181~193, 1996。
- 2) 小林尚志, 奥村敏之, 雨宮隆太, 長谷川博: 三次元 CT による管腔臓器・大血管の内視イメージについて; Volumetric CT を用いた新しい試み。日本医放会誌, 52, 1195~1197, 1992。
- 3) 小林尚志, 松枝 清, 朝戸幹雄, 中島光太郎: 三次元 CT 内視法 (CT 内視法) の開発。Innervision, 7, 29~35, 1993。
- 4) 林 宏光, 小林尚志, 隈崎達夫, 後藤良洋: 血管性病変の virtual CT endoscopy “Cruising Eye View” の開発ならびに臨床応用。日本医放会誌, 56, 135~136, 1996。
- 5) 林 宏光, 小林尚志, 隈崎達夫: virtual CT endoscopy “Cruising Eye View”; 血管性病変の三次元的計測への応用。日本医放会誌, (印刷中)。
- 6) 林 宏光, 小林尚志: virtual CT endoscopy “Cruising Eye View”。隈崎達夫, 小林尚志 (著編)。新世代三次元 CT, p. 168~177, 南江堂, 1995。

(受付: 1996年7月10日)