速 報

64 列 MDCT のシネモードを用いた
陰性造影剤(空気)嚥下時の咽喉頭の描出筆谷 拓¹⁾・大竹正一郎²⁾・渡部啓孝³⁾・光岡 孝¹⁾・吉川秋利¹⁾論文受付
2010年 1 月 5 日論文受理
2010年 3 月 19 日

Code No. 251

1) JA 愛知厚生連江南厚生病院放射線技術科

2) JA 愛知厚生連江南厚生病院放射線科

3) JA 愛知厚生連江南厚生病院耳鼻咽喉科

緒 言

嚥下障害があると、誤嚥性肺炎を併発しやすくなる。その予防のため、嚥下機能を評価し、適切に対処することが望ましい。嚥下障害の画像診断法として、X 線透視装置を使用した嚥下造影検査(video fluoroscopic examination of swallowing: VF)が最も一般的である。

近年、computed tomography(CT)の多列化や高速化、ワークステーションやソフトウェアの進歩により、広範囲の体内を 3 次元(3D)で、動的に観察することが可能になった。今回、われわれは 64-row multi-detector CT (64-MDCT)のシネモードを使用し、空気を陰性造影剤として飲み込ませながら、咽喉頭を撮影した。ワークステーションと Digital Imaging and Communication in

Medicine(DICOM) Viewer ソフトウェアを使用し、咽喉頭の動態を 3D シネ画像で観察した。

1. 方 法

1-1 対象

健常男性 4 名(32~60 歳、平均 49 歳)を対象とした。本研究は当施設の倫理委員会により承認され、被験者には研究内容や方法、その意義を十分に説明して同意を得た。

1-2 使用機器

CT 装置は GE 横河メディカルシステム社製の 64-MDCT の LightSpeed VCT を使用した。得られた CT

Visualization of Laryngopharynx during Swallowing of Negative Contrast Media (Air) with Cine Mode 64-row MDCT

Taku Fudeya,¹⁾ Shoichiro Otake,²⁾ Hirotaka Watabe,³⁾ Takashi Mitsuoka,¹⁾ and Akitoshi Yoshikawa¹⁾

1) Division of Radiological Technology, Konan Kosei Hospital

2) Department of Radiology, Konan Kosei Hospital

3) Department of Otolaryngology, Konan Kosei Hospital

Received January 5, 2010; Revision accepted March 19, 2010; Code No. 251

Summary

Video fluoroscopic examination of swallowing generally needs a contrast media such as a barium sulfate. Since the examination is usually performed in patients with dysphasia, there is a risk of aspiration. We tried to visualize the laryngopharynx during swallowing of negative contrast media (air) with 64-row multi-detector computed tomography (64-MDCT). Cine mode 64-MDCT was performed to visualize the laryngopharynx in 4 healthy volunteers during swallowing of negative contrast media (air). The data were converted to three-dimensional (3D) images of 2 conditions (air and bone) and sagittal images of the soft tissue condition at a workstation. These images were sent to a personal computer and modeled to 3D cine images with Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) Viewer and Quick Time Player. 3D cine images demonstrated movements of the epiglottis, vallecula, piriform sinus, tongue, pharyngeal wall, hyoid bone and thyroid cartilage.

Key words: swallow, air, computed tomography (CT), 3D, cine

別刷資料請求先：〒483-8704 愛知県江南市高屋町大松原 137 番地
JA 愛知厚生連江南厚生病院放射線技術科 筆谷 拓 宛

Table 1 Scan conditions of cine mode 64-MDCT during air swallowing

X-ray tube voltage (kV)	80	X-ray tube current (mA)	100
Scan type	Cine	Gantry rotation (sec)	0.4
Scan mode	Full	Recon type	Standard
Slice thickness (mm)	5.0	Beam collimation (mm)	40.0
Scan time (sec)	5.0	Cine image interval (sec)	0.05

画像は、GE 横河メディカルシステム社製のアドバンテージワークステーション VolumeShare 2(ワークステーション)を用いて、同一時間成分を持った画像の series 化を行い、各 series を任意の表示方法に再構成した。これらの画像を、Apple 社製のパーソナルコンピュータ(PC)の Macintosh iBook G4 を用いて、DICOM Viewer の OsiriX ver. 2.7.5(DICOM Viewer)を使用し、動画ファイルに書き出しを行った。その動画ファイルを CT 撮影時間と同様な再生時間とするために、Apple 社製の QuickTime Player(ver. 7)を使用した。

1-3 CT 撮影

被験者を 64-MDCT の寝台に仰臥位で寝かせ、発泡スチロールを枕にして、頭部をドイツ水平線に合わせ固定した。口を閉じ、鼻で軽く呼吸をしながら、ドイツ水平線から尾側へ 180 mm までの間の側面の位置決め画像を撮影した。その際、喉頭蓋基部が下縁となるように撮影範囲を設定した。合図により、被験者は空気を多めに一口飲み込み、シネモードで 5 秒間の撮影を行った。撮影条件の詳細を Table 1 に示す。

1-4 ワークステーションでの処理

得られたデータを 64-MDCT 上でレトリコン(1.2 mm×32)を実施し、2976 画像を得た。それらをワークステーションに転送し、Volume Viewer のソフトウェアの一つである add/sub の BIND を使用し、32 画像ずつ繰り返されている Location[mm]ごとに series を作成した。作成された 93 series を全て選択し、Volume Viewer のソフトウェアの一つである Dual Phase Follow up を起動させ、volume rendering 画像において空気のみが描出される条件(visible voxel values:-865~-160, opacity: 25%)に設定し、series ごとに save image を行った。同様の処理を、骨が描出される条件(visible voxel values: 300~500, opacity: 100%)と、矢状断像にて軟部組織と咽頭腔が識別可能な条件(wv:2750, wl: 270)で行い、それぞれの save image を得た。

1-5 ムービーへの書き出し

各 save image を PC に取り込み、DICOM Viewer に

て Quick Time Movie 形式に書き出した。それを Quick Time Player で立ち上げ、メニューの「ファイル」→「書き出す」から「ムービーから QuickTime ムービー」を選択し、「オプション」→「ムービー設定」→「設定」で、圧縮の種類を「H.264」、フレームレートを「18.6(93 series/5 sec)」, キーフレームを「等間隔に設定: 93 フレーム」、圧縮プログラムを「高」、エンコーディングを「最高品質」に設定し、ムービーの書き出しを行った。

2. 結果

2-1 空気条件 3D シネ画像

結果を Fig. 1, 2 に示す。舌根部、喉頭蓋、喉頭蓋谷、梨状窩および食道入口部を含んだ咽喉頭腔や、気管の形態が確認できた。撮影開始 0.86 秒後に舌根と喉頭蓋が後方へ動き始めた。1.13~1.34 秒後に喉頭蓋谷が狭小化した。1.40~1.99 秒後で喉頭蓋谷は確認できなくなり、喉頭前庭と梨上窩が拡大した。2.04~2.37 秒後に舌根と咽頭後壁が接触して上・中咽頭が閉鎖し、同時に喉頭前庭が左右から挟まれるように細くなり、喉頭は閉鎖した。2.58 秒後から咽頭と気管が同時に再開し、4.03 秒後に元の形態になった。嚥下運動開始から終了までは 3.17 秒間であった。

2-2 骨条件 3D シネ画像

結果を Fig. 3 に示す。舌骨、甲状軟骨の動態が確認できた。撮影開始 1.08~1.93 秒後に舌骨が後方へ約 3 cm 挙上し、甲状軟骨も挙上した。1.99~2.42 秒後に舌骨が前方へ移動し、甲状軟骨は舌骨の両側大角の間に数 mm 入り込むように挙上し、最大挙上位に達した。その後、舌骨と甲状軟骨は前方へ移動した。2.53~4.03 秒後に舌骨と甲状軟骨は、後方の安静位に戻った。舌骨は最大で上下方向へ約 3 cm, 前後方向へ約 1.5 cm 移動した。嚥下運動の開始から終了までは 3.17 秒であった。

2-3 矢状断像シネ画像

結果を Fig. 4 に示す。結果 2-2 と同様に舌骨と甲状軟骨の動きが確認できたが、断層面での表示のため、奥行きの重なりがなく、それぞれの動きが 3D シネ

Fig. 1 Seventeen 3D cine mode images of air condition in frontal view (visible voxel values: -865 to -160, opacity: 25%). Images were obtained during air swallowing. The time after CT start is noted on each image. Ep: epiglottis, Es: esophagus, P: piriform sinus, V: vallecula

画像より明瞭に観察できた。撮影開始 0.86 秒後から、舌根が後方へ動き始めた。1.24~1.29 秒後に舌骨が約 3 mm 挙上し始め、舌根が咽頭後壁に近づいて喉頭蓋谷が狭小化した。1.34~1.83 秒後に舌骨が後方へ挙上し始め、甲状軟骨が上方へ挙上した。同時に舌根と喉頭蓋が接しながら咽頭後壁へ近づいた。披裂部は厚さを増しながら前上方へ移動した。1.83~1.94 秒後に舌骨、甲状軟骨の動きは静止した。披裂部はさらに厚みを増し、声帯・仮声帯レベルは閉鎖し始めた。1.99~2.37 秒後に舌骨は前方へ移動し、甲状軟骨はさらに挙上し、舌骨の中央あたりまで挙上した時に、喉頭蓋谷と咽頭後壁はお互いに接近して接触し、中咽頭腔を閉鎖した。気管は声帯や披裂で閉鎖され、喉頭蓋起始部と披裂部後方から食道にかけて空気が認められた。2.40~2.80 秒後に舌骨と甲状軟骨が前下方へ移動ながら接近し、中咽頭腔が開き始めた。声帯・仮声帯レベルが開放され始めた。2.85~4.03 秒後に舌骨、甲状軟骨は後下方に移動し、舌

Fig. 2 Seventeen 3D cine mode images of air condition in lateral view (visible voxel values: -865 to -160, opacity: 25%). Images were obtained during air swallowing. The time after CT start is noted on each image. Ep: epiglottis, Lv: laryngeal vestibule, P: piriform sinus, V: vallecula

根、喉頭蓋、咽頭後壁、声帯レベルの器官、披裂部は安静位へ戻った。舌骨は最大で上下方向へ約 3 cm、前後方向へ 1.5 cm 移動した。嚥下運動の開始から終了までは 3.17 秒であった。

3. 考 察

嚥下障害の正確な評価は、障害を持つ患者のリハビリテーションの際に重要である。嚥下評価の検査において代表的な VF では、口腔、咽頭、食道の解剖学的構造や動き、食物の動態の評価が可能である¹⁻³⁾。検査は X 線 TV にて行われ、造影剤として硫酸バリウムや模擬食品が必要となり、誤嚥の危険性がある。また造影剤が付着していない筋肉等の軟部組織や、喉頭や気管の観察は難しい。

本法で用いた 64-MDCT は VF よりも組織コントラストに優れ、断層面での観察も可能で、咽喉頭腔や周囲の軟部組織、骨の観察に有用である。また空気を陰性造影剤として使用するため、硫酸バリウムや模

Fig. 3 Seventeen 3D cine mode images of bone condition in lateral view (visible voxel values: 300 to 500, opacity: 100%). Images were obtained during air swallowing. The time after CT start is noted on each image. C: cervical vertebra, H: hyoid bone, M: mandible, T: thyroid cartilage

Fig. 4 Seventeen sagittal cine mode images (ww: 2750, wl: 270). Images were obtained during air swallowing. The time after CT start is noted on each image. C: cervical vertebra, Ep: epiglottis, H: hyoid bone, Lv: laryngeal vestibule, M: mandible, Pt: posterior part of tongue, T: thyroid cartilage, V: vallecula

擬食品がなくても咽喉頭腔領域の変化が観察できる。

唐帆らはヘリカルCTの静止画像を用い、頸部回旋時の咽頭の形態変化とそれに伴う嚥下圧変化を報告している⁴⁾。武原らは、ダイナミックCTを使用して水平断での嚥下時の食道入口部の観察を行い、食塊の量によって開口面積が変化すると報告している⁵⁾。近年、CTの多列化、高速化により、広範囲の動態を評価できるようになった。Multi-planar reconstruction画像や3D画像、シネ画像での表示が可能となり、立体的、動的に観察することが可能となった。

本法で得られた空気条件の3Dシネ画像における正面像では、嚥下時の咽喉頭腔の経時的な形態変化が観察可能で、左右対称の喉頭蓋谷や梨状窩、披裂の形態変化の観察に適しており、側面像では咽喉頭腔内の閉鎖状態の観察が可能であった。また正面像や側面像における空気の残存の程度により、クリアランスの参考になると思われる。

骨条件の3Dシネ画像では、舌骨や甲状軟骨の移

動行程や時間、移動距離が観察可能であり、喉頭の挙上の程度を詳細に評価できた。しかし骨の動きによるアーチファクトによって、舌骨が2重に表示される場合があった。喉頭の挙上開始から食塊が食道入口部を通過するまで時間は、健常者で通常0.35～0.48秒、最大でも1秒と言われている⁶⁾。本法のシネ画像での時間分解能は0.4秒程度であり、舌骨や甲状軟骨の早い動きの評価は十分ではなかった。さらに時間分解能が高いCT撮影を行えば、改善されると推測される。

矢状断像シネ画像では、舌根などの軟部組織と、舌骨や甲状軟骨などの骨を同時に観察することが可能であった。多くの筋や骨が関連する複雑な嚥下運動の理解が容易になると思われる。

本法では空気の嚥下であるため、実際の食物の嚥下時の動態とは異なっている可能性がある。しかし解剖学的構造の異常や動きの評価に関しては、3つの表示条件(空気、骨、軟部)での描出が可能であり、

VF よりも組織コントラストに優れる。今回は正面像と側面像を表示したが、任意の観察角度からの画像が作成できるため、最も適切な方向から組織の動きを評価することが可能である。さらに空気を陰性造影剤として用いるため、造影剤による誤嚥や窒息、造影剤の副作用がない点は最大の利点と考えられる。

一般的な VF の実効線量は 0.4 mSv である³⁾。MDCT の実効線量は、 $\text{dose length product (DLP)} [\text{mGy} \cdot \text{cm}]$ から実効線量 $[\text{Sv}]$ への換算係数 $(k) [\text{mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}]$ を用いた実効線量評価を用いて概算することができる⁷⁾。直径 16 cm ファントム使用時の、本法撮影条件で CT 装置に表示された DLP は、 $118.10 [\text{mGy} \cdot \text{cm}]$ であった。成人頸部の換算係数 (k) は、 $0.0059 [\text{mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}]$ であるため、実効線量は $118.10 [\text{mGy} \cdot \text{cm}] \times 0.0059 [\text{mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}] = 0.69679 [\text{mSv}]$ と概算できる。以上より、VF と本法での実効線量を比較すると、ほぼ同等な被ばく線量であったと思われる。本法の対象の健常者は、嚥下開始から終了まで約 3.2 秒かかり、撮影時間は 4 秒以上必要であった。実際に嚥下障害者に本法を行う場合は、嚥下に要する時間が健常者よりも長くなる可能性があり^{1-2, 6)}、撮影時間の延長

が予想されるため、被ばくに関する注意が必要と思われる。また、本法では撮影体位が臥位であり、実際の食事の体位とは異なっている。嚥下における体位の影響は今後の検討課題である。

4. 結 語

64-MDCT で撮影した 3D シネ画像で、嚥下運動を動態的に観察できた。空気の嚥下のため、誤嚥の問題や造影剤の副作用もない。将来、嚥下機能評価を担う検査の一つになりうる可能性がある。

謝 辞

稿をおえるにあたり、本研究へのご助言をいただきました当院リハビリテーション技術科の言語聴覚療法士の先生方、GE ヘルスケアジャパン株式会社の方々に深謝いたします。

本論文の要旨は平成 21 年 4 月 17 日から 19 日に開催された第 65 回日本放射線技術学会総会学術大会(横浜)にて発表した。

参考文献

- 金子芳洋, 千野直一 監修, 才藤栄一, 田山二朗, 藤島一郎, 他 編集, 摂食・嚥下リハビリテーション, 東京: 医歯薬出版株式会社, 2006.
- 藤島一郎, よくわかる嚥下障害 改訂第 2 版, 大阪: 株式会社永井書店, 2005.
- 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会, 嚥下造影の標準的検査法(詳細版)日本摂食・嚥下リハビリテーション学会 医療検討委員会案 作成にあたって, 日摂食嚥下リハ会誌 2004; 8(1): 71-86.
- 唐帆健浩, 大前由紀雄, 田部哲也, 他, 頸部回旋による咽喉頭の形態的变化および嚥下機能の変化, 日気食会報 1997; 48(3): 242-248.
- 武原 格, 猪飼哲夫, 杉本 淳, ヘリカル CT による嚥下時の咽喉頭・食道評価, リハビリテーション医学 2003; 40(2): 121-126.
- Logemann JA, Logemann 摂食・嚥下障害(2nd Ed), 第 4 章 摂食・嚥下障害とは, 道 健一, 道脇幸博監訳, 医歯薬出版株式会社, 東京, 2003: 67.
- Valentin J, Ann ICRP, ICRP PUBLICATION 102, Managing Patient Dose in Multi-Detector Computed Tomography (MDCT), ELSEVIER, 2007.

図表の説明

- Fig. 1 空気嚥下時における空気条件の 3D シネ画像(正面像)の 17 画像(visible voxel values: $-865 \sim -160$, opacity: 25%)
各画像の時間は、CT 撮影開始からの時間を示す。
Ep: 喉頭蓋, Es: 食道, P: 梨状窩, V: 喉頭蓋谷
- Fig. 2 空気嚥下時における空気条件の 3D シネ画像(側面像)の 17 画像(visible voxel values: $-865 \sim -160$, opacity: 25%)
各画像の時間は、CT 撮影開始からの時間を示す。
Ep: 喉頭蓋, Lv: 喉頭前庭, P: 梨状窩, V: 喉頭蓋谷
- Fig. 3 空気嚥下時における骨条件の 3D シネ画像(側面像)の 17 画像(visible voxel values: $300 \sim 500$, opacity: 100%)
各画像の時間は、CT 撮影開始からの時間を示す。
C: 頸椎, H: 舌骨, M: 下顎骨, T: 甲状軟骨
- Fig. 4 空気嚥下時における矢状断シネ画像の 17 画像(ww: 2750, wl: 270)
各画像の時間は、CT 撮影開始からの時間を示す。
C: 頸椎, Ep: 喉頭蓋, H: 舌骨, Lv: 喉頭前庭, M: 下顎骨, Pt: 舌根部, T: 甲状軟骨, V: 喉頭蓋谷
- Table 1 空気嚥下時の 64-MDCT シネモード撮影条件