

## Original Article

## 320 列面検出器型 CT(320-ADCT)による嚥下動態評価の信頼性の検討

稲本陽子,<sup>1</sup> 加賀谷 斉,<sup>2</sup> 才藤栄一,<sup>2</sup> 金森大輔,<sup>3</sup>  
柴田斉子,<sup>2</sup> 藤井直子,<sup>4</sup> 片田和広,<sup>4</sup> Jeffrey B. Palmer<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 藤田保健衛生大学医療科学部リハビリテーション学科

<sup>2</sup> 藤田保健衛生大学医学部リハビリテーション医学 I 講座

<sup>3</sup> 藤田保健衛生大学医学部歯科口腔外科

<sup>4</sup> 藤田保健衛生大学医学部放射線医学教室

<sup>5</sup> Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Johns Hopkins University

## 要旨

Inamoto Y, Kagaya H, Saitoh E, Kanamori D, Shibata S, Fujii N, Katada K, Palmer JB. Inter-rater and intra-subject reliability for the evaluation of swallowing kinematics using 320-row area detector computed tomography. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2012; 3: 59-65.

【目的】320 面検出器型 CT (320-ADCT) による嚥下動態の検者間信頼性および被験者内再現性を検討すること。

【方法】対象は健常成人 11 名。45 度リクライニング椅子に着座させ、5% とろみ付きバリウム溶液 10ml を口腔内に保持させ、検者の合図で嚥下を開始させた。320-ADCT を用いて 1 施行 3.15 秒間撮影し、0.1 秒間隔に再構成した。嚥下事象のタイミングを 2 人の検者が計測して、検者間信頼性を級内相関係数 (ICC) により分析した。1 週間後に再度同施行を実施して、1 人の検者による被験者内再現性を ICC で評価した。

【結果】検者間の ICC 平均は 0.98 と計測の一致度は非常に高く、計測項目や被験者による差はみられなかった。被験者内の ICC 平均は 0.75 であり 2 試行間の嚥下動態はかなりの一致度を認めた。

【結論】320-ADCT による嚥下評価の検者間信頼性と被験者内再現性はともに高く、信頼性を備えた評価法であることが示された。

**キーワード：**320-ADCT, 検者間信頼性, 被験者内再現性, 嚥下評価法

著者連絡先：稲本陽子  
藤田保健衛生大学医療科学部リハビリテーション学科  
〒470-1192 愛知県豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98  
E-mail: inamoto@fujita-hu.ac.jp  
2012 年 6 月 4 日受理

本研究において一切の利益相反や研究資金の提供はありません。

## はじめに

摂食・嚥下障害に対する正確な評価と適切な対応は誤嚥や肺炎予防、患者の quality of life に欠かせない。有効な訓練内容・方針を決定していくためには、原因となっている機能障害を明らかにし、症状を軽減させる方法を探しだす治療指向の評価法が重要であり、この実現には客観性の高い正確な評価法が求められる。客観性の高い評価は、チーム内で方針を一致させ一貫したりハビリ遂行に有効であり、より早期の改善を期待できる点でも重要である。近年、摂食・嚥下障害においては嚥下造影検査が最も信頼性の高い検査法として標準的に用いられている [1]。嚥下造影検査は簡便に治療指向の評価が行える点で有用である。しかし得られる画像は平面的な透視像であり、2次元画像で3次元の嚥下動態を推測する必要がある。そのため評価者の経験や主観に左右されるという問題点が多数報告されており、いまだ客観性、再現性には課題を残したままである [2-4]。

2010 年に新しい嚥下評価法として、Fujii らが動的、立体的解析が可能な 320 列面検出器型 CT(320-ADCT) による評価法を報告した [5]。320-ADCT は、スライス厚 0.5mm×320 列の検出器を装備し、管球が 1 回転 (0.35 秒) すると、体軸方向に最大 160mm 範囲のデータを収集できる。160mm という幅は嚥下の解析に必要な頭蓋底から頸部食道までを網羅する。すなわち管球の 1 回転によって口腔、咽頭、喉頭、頸部食道の三次元画像を収集できる。管球の連続回転によって 1/10 秒間隔の連続画像を作成でき、嚥下動態を立体的に画像化できる。これにより、嚥下の生理、機能のより正確な把握や解明が可能となってきた。しかし 320-ADCT を用いた運動学的研究はほとんど報告されておらず、この CT による嚥下評価の信頼性や客観性については十分明らかになっていない。本 CT を嚥下評価に有効に利用していくためには、評価者が一致した見解を示すことができるかどうか、また同一被験者の嚥下の再現性が得られるか否かを明確にする必要がある。

本研究の目的は 320-ADCT による嚥下動態の検者間信頼性および被験者内の再現性を検討し、320-

ADCTを用いた嚥下評価法の信頼性を検証することである。

### 方法

#### 1. 対象者およびCT撮影条件

本研究は、藤田保健衛生大学倫理委員会の承認を得て行った。対象は健常成人11名であり、男性5名、女性6名、年齢46±15歳、身長163±9cm、体重58±9kg(平均値±標準偏差)であった。被験者には、事前に研究の目的・方法および被曝につき十分な説明を行い、同意、署名を得た。撮影は320-ADCT(Aquilion ONE, Toshiba Medical Systems, 日本)と嚥下CT検査用リクライニング椅子(東名ブレース(株)・アスカ(株), 日本)を用いて実施した。管球を22度傾斜



図1. 撮影姿勢と嚥下CT検査用リクライニング椅子  
管球を22度傾斜させ、CT寝台の反対側に椅子を設置。

- a. 約45°に椅子の仰角を調整し、矢印の方向に椅子をスライドさせて頭部から上半身を管球内に挿入
- b. 寝台側からみた撮影姿勢

させ、CT寝台の反対側に設置したリクライニング椅子に、被験者を着座させた後、約45°に仰角を調整し、椅子を後方にスライドさせて頭部から上半身を管球内に挿入した(図1)。口腔内に希釈造影剤5%とろみ付きバリウム溶液10mlを保持させ、検者の合図で嚥下を開始させた。この施行を1施行実施し、1週間後に再度、同一条件で1施行実施した。撮影範囲は、頭蓋底から上部食道の160mmの範囲とし、撮影条件は、管球9回転、1試行撮影時間3.15秒(0.35秒×9回転)、管電圧120kV、管電流60mAとした。得られたデータから、ハーフ再構成方式で0.1秒間隔29時相に再構成し(10画像/秒)、多断面再構成像(Multiplanar Reconstruction: MPR)で描出した。造影剤には5% v/w 硫酸バリウムを用い、ネオハイトロミール(株式会社フードケア)を用いて5%のとろみを付加した。参加した検者は、320-ADCTの画像診断に精通していた2名で、検者1は摂食・嚥下障害の臨床に11年の経験を有す言語聴覚士、検者2は6年の経験を有す歯科医師であった。両検者ともに日本・摂食嚥下リハビリテーション学会認定士を有していた。

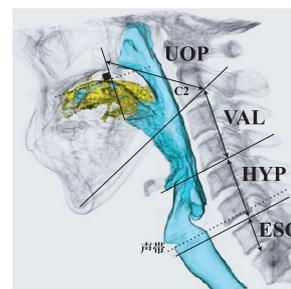
#### 2. 計測項目・方法

MPR画像を用いて、1画像(1/10秒)ごとに、各諸器官の運動時間を計測した。計測項目は、舌骨前上方挙上、軟口蓋挙上、喉頭蓋反転、喉頭前庭閉鎖、声帯閉鎖、食道入口部(UES)開大の6項目であり、すべての項目で開始、終了時間を計測した。表1にその定義を示した。さらに、上記の6項目にて運動終了時間から開始時間を差分し、運動持続時間として、舌

表1. 計測項目と口腔咽頭領域の定義

計測項目	定義
舌骨前上方挙上	開始 左右のC2前下端-C4前上端で作られる平面を水平面として、舌骨が前上方に挙上を開始する1フレーム前 終了 舌骨が後下方に移動を開始した時点
軟口蓋挙上	開始 軟口蓋の挙上により、鼻咽腔が完全に閉鎖した時点 終了 再び鼻咽腔が開大した時点
喉頭蓋反転	開始 喉頭蓋が最大に反転した時点 終了 喉頭蓋が復位した時点
喉頭前庭閉鎖	開始 披裂と喉頭蓋の接触により喉頭前庭が完全に閉鎖した時点 終了 再び喉頭前庭が開大した時点
声帯閉鎖	開始 声帯突起を基準として声帯が内転し、完全に閉鎖した時点 終了 再び声帯が開大した時点
食道入口部開大	開始 食道入口部に初めて空気が確認された時点 終了 食道入口部の空気あるいは食塊が消失した時点

口腔咽頭領域	定義
口腔咽頭上部領域	UOP 硬口蓋・軟口蓋の境界面と下顎下端正中と左右のC2前下端で作られる平面に囲まれる領域
喉頭蓋谷領域	VAL 下顎下縁正中と左右のC2前下端で作られる平面と喉頭蓋谷を通り声帯面に平行な面に囲まれる領域
下咽頭領域	HYP 喉頭蓋谷を通り声帯面に並行な面と甲状軟骨下縁中央を通り声帯面に平行な面に囲まれる領域
食道領域	ESO 甲状軟骨下縁正中を通り声帯面に平行な面より尾側の領域



骨前上方挙上時間（舌骨挙上終了-開始）、鼻咽腔閉鎖時間（軟口蓋挙上終了-開始）、喉頭蓋反転時間（喉頭蓋反転終了-開始）、喉頭前庭閉鎖時間（喉頭前庭閉鎖終了-開始）、声帯閉鎖時間（声帯閉鎖終了-開始）、UES 開大時間（UES 開大終了-開始）を算出した。また食塊先端位置を示すために、VFにおいて用いられている方法に準じて口腔咽頭領域を口腔咽頭上部領域（Upper oropharyngeal area; UOP）、喉頭蓋谷領域（Valleculae area; VAL）、下咽頭領域（Hypopharyngeal area; HYP）、食道領域（Esophageal area; ESO）に分類し、VAL, HYP, ESO に食塊先端が到達する時間を計測した。

計測はすべてCT 付属のワークステーションで行った。付属のワークステーションは動画を1画像（1/10秒）ごとにコマ送り再生が可能であり、必要に応じて繰り返し観察し計測した。全被験者の1施行目の嚥下に対し、検者1, 2が上記の計測方法・定義にて計測した。また2施行目の嚥下は検者1のみが計測を行った。実際の計測前には、本対象とは別の既存施行例を用いて検者1と2と一緒に計測を行い、計測の定義や評価基準を確認し、練習を行った。

検者間信頼性として検者1と2の計測の一致度を調べた。また被験者の嚥下の再現性として各被験者2施行間の嚥下動態の一致度を調べた。被験者の2施行間の動態は、運動開始が検者の嚥下開始合図のタイミングによって変わってくるため、舌骨前上方挙上開始時点を基準として、それぞれの諸器官の運動開始・終了時間を比較した。統計的手法は検者内信頼性、被験者の再現性ともに級内相関係数（ICC）を用いて分析し、有意水準は5%とした。統計ソフトはSPSS Statistics 19（IBM, Japan）を用いた。

### 結果

全例、検者の合図にあわせて嚥下を開始でき、3.15秒の撮影時間内で造影剤の口腔から食道までの移送を撮影できた。各時相ごとにMPR作成し、3D-CT像の連続再生によって嚥下動態画像を作成した。この画像を用いて、検者1, 2とも問題なく諸器官の動態計測を行うことができた。計測に要した時間は、1施行あたり30分程度であった。表2に検者間の一致度、被験者内の一致度を示した。

#### 1. 検者間信頼性

検者間の全項目のICCの平均は0.98であり、非常に高い一致度を示した。項目別では、舌骨の前上方挙上開始時間、喉頭蓋反転終了時間、UES開大開始がICC 1.0であり、計測した全試行で完全一致した。その他の項目のICCは、いずれも0.9以上であり、項目間での差はみられなかった。差異は1-2個程度であり、すべて1フレームのずれであった。また1被験者の評価で3項目以上異なることはみられず、被験者によらず安定した評価の信頼性をみとめた。

#### 2. 被験者内信頼性

11人中10人は2施行とも10mlを1回で嚥下、1人は2施行とも2回嚥下をした。図2に被験者（37歳女性、身長158cm）の1例を示す。舌骨前上方挙上開始を基準点として1施行目と2施行目の軟口蓋挙上、

喉頭蓋反転、喉頭前庭閉鎖、声帯閉鎖、UES開大開始のタイミングは同じであった。食塊の到達時間も同じであったが、食道通過時間は1施行目の方が0.1秒長く、舌骨前上方挙上、軟口蓋挙上、喉頭蓋反転、喉頭前庭閉鎖、UES開大の運動終了時間は1施行目で2施行目に比し遅延した。

被験者内の全項目のICCの平均は0.76（表2）で、ほぼ全項目で0.6以上を示し、高い再現性を認めた。ICC 0.90以上の高い一致度を認めた項目は、軟口蓋挙上開始と声帯閉鎖開始であった。喉頭閉鎖の他の2事象である喉頭蓋反転や喉頭前庭閉鎖開始のICCはそれぞれ0.71, 0.79であり比較的高い一致度を認めた。また食塊ESO到達はICC 0.62、UES開大開始時間はICC 0.56と他に比し低い一致度であった。

図3に年齢別にUES開大開始時間と声帯閉鎖開始時間について、検者間の評価の差異と被験者の2施行間の動態の差異をグラフに示した。UES開大開始時間では検者内信頼性は10割、被験者内再現性は6割程度と解離がみられたのに対し、声帯閉鎖開始時間は検者内信頼性、被験者内再現性ともに高い一致度を示した。

### 考察

本研究では、320-ADCTを用いた嚥下動態解析の有用性を検者間信頼性および同一被験者内の再現性が

表2. 計測の一致率

級内相関係数 (ICC)	検者間	被験者内
舌骨前上方挙上開始	1.00	*
軟口蓋挙上開始	0.99	0.92
軟口蓋挙上終了	0.99	0.55
喉頭蓋反転開始	0.98	0.71
喉頭蓋反転終了	1.00	0.87
喉頭前庭閉鎖開始	0.99	0.79
喉頭前庭閉鎖終了	0.99	0.80
声帯閉鎖開始	0.99	0.97
声帯閉鎖終了	0.99	0.63
食道入口部開大開始	1.00	0.56
食道入口部開大終了	0.99	0.73
VAL	1.00	0.88
HYP	0.99	0.80
ESO	0.99	0.62
鼻咽腔閉鎖時間	0.97	0.63
喉頭蓋反転時間	0.95	0.81
喉頭前庭閉鎖時間	0.91	0.60
声帯閉鎖時間	0.97	0.88
食道入口部開大時間	0.95	0.85
平均	0.98	0.76

\* 2施行間で運動開始時間が異なるため舌骨前上方挙上開始時間を基準として、諸器官の運動開始・終了時間を比較した。

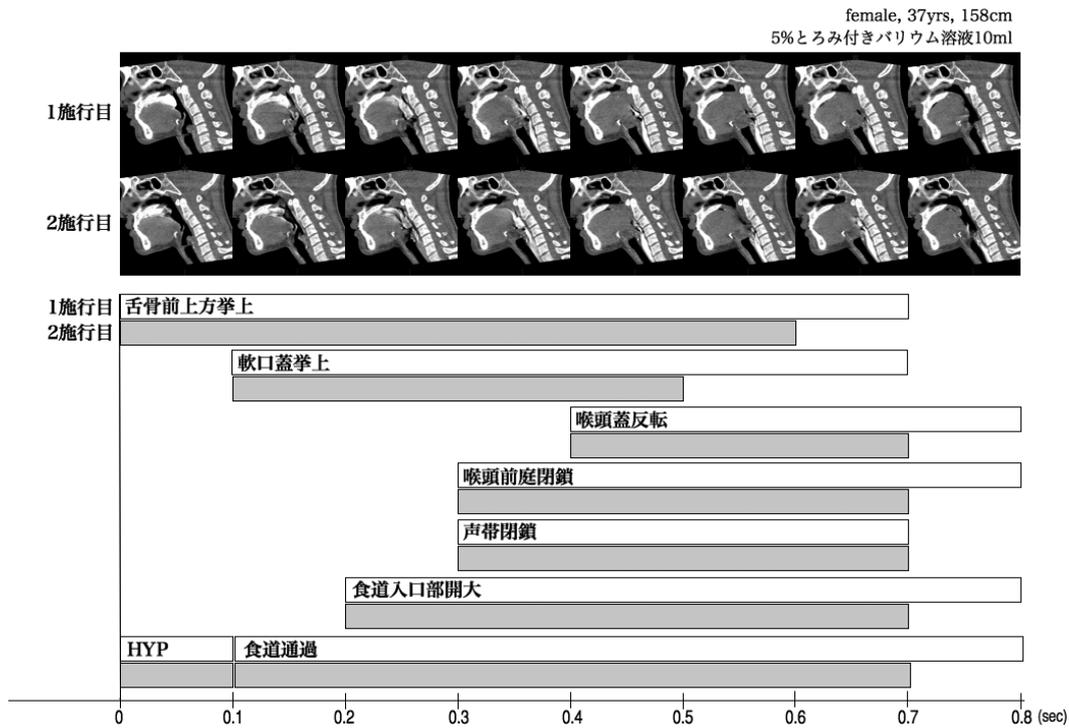


図2. 同一被験者の嚥下動態 2 施行間の差異

嚥下反射惹起に伴い舌骨が前上方挙上を開始した時点をも 0 秒として 10ml バリウム溶液 (5%とろみ付き) 嚥下 2 施行を正中矢状断の時系列で表示した。上列が 1 施行目, 下列が 2 施行目。

諸器官の運動開始時間は 1, 2 施行とも同じであったが, 終了時間は 1 施行目が 2 施行目に比し遅延した。

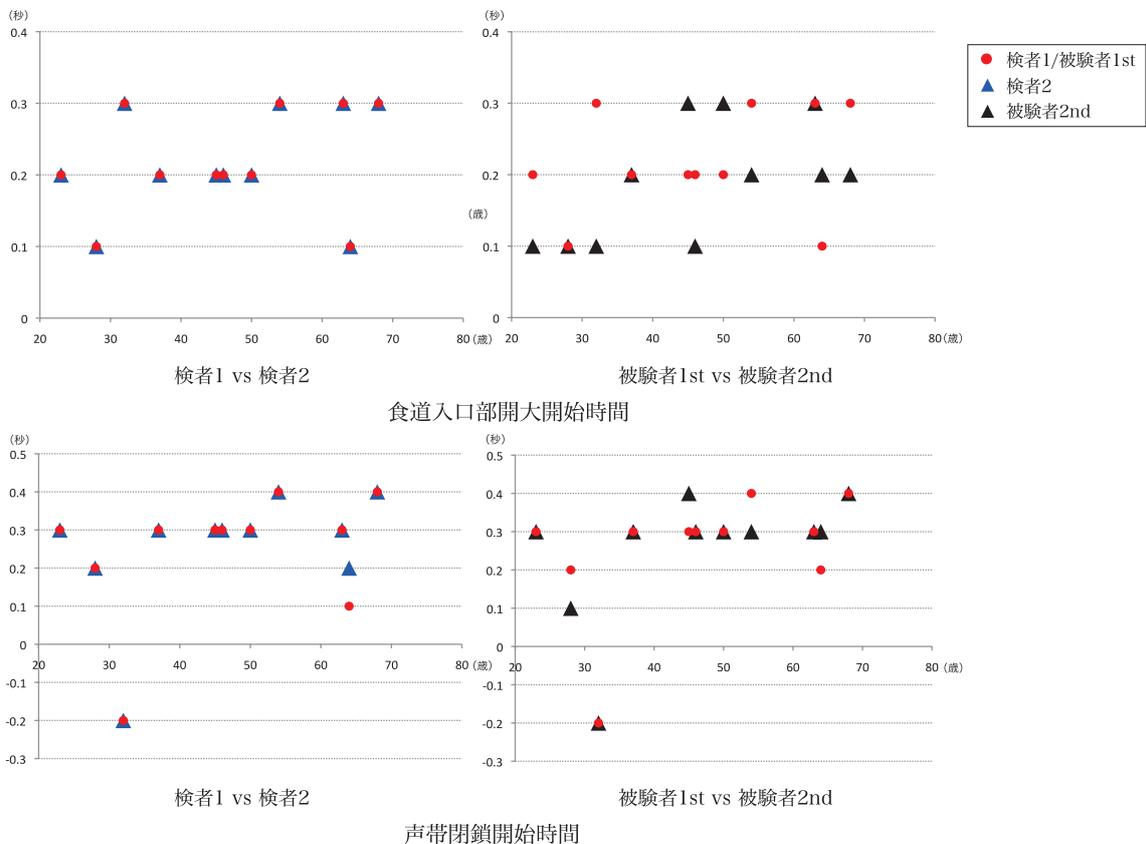


図3. 検者間信頼性・被験者内再現性

全被験者を年齢別にならべ, UES 開大開始時間 (上段) と声帯閉鎖開始時間 (下段) について, 検者 1 (●)・2 (▲) の計測値を左列に, 被験者の 1 (●)・2 (▲) 施行目の計測値を右列にプロットした。

ら検討した。320-ADCTで得られる画像は、10画像/秒と嚥下造影検査画像と比べ時間解像度は低い、各諸器官の運動開始・終了時間ともに嚥下造影と同様に計測可能である。得られる画像が3次元であり、MPR画像を用いて任意の方向、角度から制限なく観察できること、さらには0.5mmのスライス厚で観察できることから、正確に諸器官を描出できる点が大きな利点である。この特徴により、嚥下造影では困難であった声帯閉鎖や食道入口部開大を軸位断で描出でき、嚥下にかかわる諸器官を同時に計測可能となった。既に、健常被験者にて声帯閉鎖を含む嚥下諸器官の動態を計測し、320-ADCTによる動態計測の有用性を報告した[6]。また計測時の誤差、被曝量についても検討を行った[7]。しかし、さらに本CTを臨床で有効に活用していくためには、評価の信頼性や妥当性について検証する必要がある。

これまで嚥下造影検査の評価の信頼性について多数の報告がある。一致度は、評価の簡単な項目で高く、評価の困難な項目で低くなり、評価項目の難易度により信頼性は変化するとされている[8]。しかし多くの研究で誤嚥の有無以外の評価項目で検者間信頼性は低いと指摘されている[2-4]。この理由の1つとして、実際の速度よりゆっくり再生して評価を行う、必要に応じて繰り返し画像を再生して評価を行うなどの手法は用いず、臨床評価に則して、通常で1回のみの評価で判断を行っていることが挙げられる[2]。しかし、フレームごとの分析で繰り返しテープを観ることができ環境下や事前に患者の病歴や嚥下造影の前に行ったスクリーニング結果を教えられていた環境下でも低かったと報告されており[3]、Stoekliら[9]は臨床的に標準化された評価法を用いたのにもかかわらず評価の一致度が低く、より明確に定義されたパラメーターが必要と述べている。

320-ADCTを用いた本研究による検者間信頼性は高かった。Smithら[10]は評価前に実際にどのように評価するかをグループで討論をした後に各々が計測することで評価の一致度が上昇したと報告している。Hindら[11]は、トレーニングを受けた群は受けていない群に比べ評価の信頼性が高いと報告している。評価の信頼性を上げるためには評価基準に対して一致した理解を示していることが重要であり、そのためには詳細に定義された評価基準の作成と、評価者がともに討論しながら練習を重ねることが必要であることが分かる。今回一致度が高かった1つの理由として、嚥下造影の報告に準じて、事前に評価基準を詳細に定め、それを用いて検者らがともに評価を行い事前に十分に評価方法や手順に精通しあったことが挙げられる。さらに、本CTのもつ空間分解能の高さが信頼性に寄与したと考えられた。嚥下造影は2次元画像であり観察部位が限られているため、推測に頼ることも多く、評価者の経験に左右される。一方、320-ADCTは3次元で観察可能であり、0.5mmのスライス厚でいずれの方向からも観察できる点で、観察したい器官を正確に描出でき計測できる。すなわち計測方法と手順が決まっていれば、誰でもほぼ同じように評価できる確率が高いと考えられる。事実、嚥下造影では組織の動きを直接観察する項目では一致度の低下が目立つと報告されてきた[12]。本研究での計測項目は組織

の動きを計測するものばかりであったのにもかかわらず、信頼性が高く、評価法として有効であることが示された。また嚥下造影検査に比し、時間分解能が低く1施行が29フレーム数であり、可視できるフレーム数であったことも一致度を高めた点かもしれない。

検者間信頼性に比べ被験者内信頼性は低かった。これは同一個人、同条件であっても、嚥下方法は異なるため妥当な結果と考えられた。UES開大の一致度が最も低かったが、これは、食道への食塊到達時間の一致が同様に低かったことから、食塊の流れに応じてUESの開大開始時間が変化した結果と考えられた。本研究では舌の運動は観察していないが、随意的にコントロール可能な舌による送り込み運動の差異で、食塊の送り込まれる速度や時間が変化し、それにUES開大が順応したと考えられた。このような食塊の送り込みによる各器官の動態の順応は、図2の症例で、食塊の到達時間は同じでも、食道内を通過する時間が異なることでUES開大、喉頭閉鎖、鼻咽腔閉鎖終了時間が変化したことからも示された。このことは、食塊の物性や量など異なる変数においても、正確に各器官の動態の変化を計測していける可能性を示した。また全項目においてICC 0.5~0.9と比較的高い一致度を認めたことから、同一個人内の嚥下では、嚥下反射が惹起されるとある程度決まったパターンで諸器官の動きがみられることも示された。11被験者中1名は2施行ともに2回の嚥下を要したことから個人に一定の嚥下方法があることが示された。

320-ADCTは操作方法に精通し、評価方法にある程度の経験を積めば、一致した評価が得られやすい信頼性の高い方法であること、また同一個人内の嚥下の変化を正確にとらえることができる方法であることが明らかとなり、高い信頼性を備えた評価法であることが示された。一致した評価内容は、訓練適応の判断や訓練内容についての共通した臨床的判断を促進する。また同一個人内での異なる嚥下動態をとらえることができることは、機能障害を明らかにするために、また症状を減少させる方法を探し出す点で重要である。320-ADCTを用いた嚥下動態解析は、計測に要する時間は約30分と現実的な範囲内であり、嚥下造影では不明であった新たな嚥下動態も明らかにできるという利点もある[6]。320-ADCTは治療指向的な評価に有用な検査法であるため、摂食・嚥下障害の治療のために今後普及していくことが望まれる。今回は、健常被験者の嚥下のみを対象としたが、今後、嚥下障害患者の誤嚥や咽頭残留などの症状の有無や程度についても同様に評価の信頼性を検証していく必要がある。

## 結語

320-ADCTによる嚥下評価の検者間信頼性、被験者内再現性を検討した。過去に報告された嚥下造影検査よりも一致度が高かった。320-ADCTは3次元画像が得られるため、より正確に計測可能である。評価基準を厳密に設定し、それに準じて計測することで、検者の経験に大きく左右されず、一致した評価が行える可能性が示された。

### 謝辞

稿を終えるに臨み、本研究にご協力いただきました藤田保健衛生大学病院放射線部各位に厚くお礼申し上げます。本研究はJSPS科研費23800064の助成を受けたものです。

### 文献

1. Logemann JA. Evaluation and treatment of swallowing disorders. Texas: Pro ed; 2 Sub edition; 1988.
2. Kuhlemeier KV, Yates P, Palmer JB. Intra- and interrater variation in the evaluation of videofluorographic swallowing studies. *Dysphagia* 1998; 13: 142-7.
3. Wilcox F, Liss JM, Siegel GM. Interjudge agreement in videofluoroscopic studies of swallowing. *J Speech Hearing Res* 1996; 39: 144-52.
4. McCullough GH, Wertz RT, Rosenbek JC, Mills RH, Webb WG, Ross KB. Inter- and intrajudge reliability for videofluoroscopic swallowing evaluation measures. *Dysphagia* 2001; 16: 110-8.
5. Fujii N, Inamoto Y, Saitoh E, Baba M, Okada S, Yoshioka S, et al. Evaluation of swallowing using 320-detector-row multislice CT. Part I: single- and multiphase volume scanning for three-dimensional morphological and kinematic analysis. *Dysphagia* 2011; 26: 99-107.
6. Inamoto Y, Fujii N, Saitoh E, Baba M, Okada S, Katada K, et al. Evaluation of swallowing using 320-detector-row multislice CT. Part II: kinematic analysis of laryngeal closure during normal swallowing. *Dysphagia* 2011; 26: 209-17.
7. Kanamori D, Kagaya H, Fujii N, Inamoto Y, Nakayama E, Suzuki S, et al. Examination of the distance measurement error and exposed dose when using a 320-row area detector CT: A comparison with video fluoroscopic examination of swallowing. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2011; 2: 18-23.
8. Gibson E, Phyland D. Rater reliability of the modified barium swallow. *Aust J Hum Comm Disord* 1995; 23: 54-60.
9. Stoeckli SJ, Huisman TA, Seifert B, Martin-Harris BJ. Interrater reliability of videofluoroscopic swallow evaluation. *Dysphagia* 2003; 18: 53-7.
10. Smith CH, Logemann JA, Colangelo LA, Rademaker AW, Pauloski BR. Incidence and patient characteristics associated with silent aspiration in the acute care setting. *Dysphagia* 1999; 14: 1-7.
11. Hind JA, Gensler G, Brandt DK, Gardner PJ, Blumenthal L, Gramigna GD, et al. Comparison of trained clinician ratings with expert ratings of aspiration on videofluoroscopic images from a randomized clinical trial. *Dysphagia* 2009; 24: 211-7.
12. Tohara H, Chiba Y, Nakane A, Goto S, Ouchi Y, Teranaka S, et al. Inter- and intra-rater reliability in videofluoroscopic swallowing study. *Jpn J Dysphagia Rehabil* 2005; 9: 139-47.