

《技術報告》

シンチグラフィを用いた頸部食道の
嚥下機能の定量的評価

大杉 治司* 東野 正幸* 木下 博明* 下西 祥裕**
大村 昌弘** 池田 穂積** 小田 淳郎** 越智 宏暢**

要旨 健常人および食道切除後の嚥下機能を明らかにするため、シンチグラフィを用いて咽頭から上部食道への嚥下機能の定量的な評価を試みた。方法は、185 MBq の ^{99m}Tc 過テクネチウム酸塩液 10 ml を坐位および臥位で嚥下させ、口腔・頸部上部・頸部下部・胸部上部食道に設定した関心領域における時間放射能曲線を作成し検討した。健常人12例では、嚥下された液体の通過は臥位では坐位に比して有意に遅延していた。しかし、健常人では臥位においても嚥下された液体は平均 0.8秒 で頸部下部食道に、1.4秒 で胸部上部食道に達していた。食道切除後生理的な後縦隔経路で再建された症例の嚥下機能は健常人と差はなかった。しかし、非生理的な胸骨後経路で再建された例では嚥下機能に明らかな障害が認められた。食道シンチグラフィは嚥下機能を鋭敏にかつ定量的に評価するうえで有用である。

(核医学 29: 1237-1243, 1992)

I. はじめに

嚥下運動とは、口腔から咽頭、食道そして胃まで食塊を運搬する一連の運動をいう。このうち特に嚥下第二期（咽頭期、反射期）では、神経・筋系が複雑に関与し、また食塊の通過も早く正確な機能の評価が困難であるとされてきた。これまで、食道映画撮影法や食道内圧測定などが嚥下機能の解析や評価に、また最近では呼吸筋・横隔膜筋電図による検討も行われている。しかし、嚥下された食塊の通過状態を定量的に測定した報告はみられない。そこで、食道シンチグラフィを用いて嚥下第二期における嚥下機能の定量的評価を試みたので報告する。

II. 対象および方法

対象：消化管異常に関連する愁訴ならびに症状を有さない健常人男性12例を対象とした。年齢は26歳から38歳、平均 29.7 ± 3.4 歳であった。また、胸部食道癌に対し胸腔内食道全摘後、胃管を後縦隔経路で頸部に挙上し再建した1例および胸骨後経路で挙上再建した1例を対照比較した。

方法：被検者を4時間以上絶食とした後、まず坐位で水 10 ml を口腔内に含ませ、嚥下の練習をした後、185 MBq の ^{99m}Tc 過テクネチウム酸塩液を含む検査液 10 ml を口腔内に含ませ、被検者の胸骨切痕部のマーカーを中心に前面にシンチカメラ (ZLC 7500) を置いた。その後、合図とともに一気に嚥下させ、0.2秒ごとにデータを収集した。この3日後、臥位にて同様の方法でデータを収集した。

データ解析にはシンチパック 7000 を用い、Fig. 1のごとく関心領域（以下、ROI）を口腔全域 (ROI-0) さらに頸部上部食道 (ROI-1)、頸部下部食道 (ROI-2) および胸部上部食道 (ROI-3) に設

* 大阪市立大学医学部第二外科

** 同 核医学研究室

受付：4年5月20日

最終稿受付：4年7月6日

別刷請求先：大阪市阿倍野区旭町 1-5-7 (☎ 545)

大阪市立大学医学部第二外科

大杉 治 司

置した。ROIのサイズは、縦は食道長軸に沿い24 mm、幅は食道の全幅が入るように36 mmに設定した。各ROIにおける時間放射能曲線を作成し検討した。

なお、各計測値は平均値±標準偏差であらわし、有意差の判定にはStudent t-testを用いた。

III. 結 果

1) 健常人における検討結果

健常人における各ROIの時間放射能曲線をFig. 2に示した。嚥下によって坐位および臥位ともROI-0のカウントは急速に低下し、以後口腔内の残存量を示す平衡値に達する。ROI-1, 2および3ではそれぞれ少し遅れてトレーサーの通過をあらわす一峰性のpeakがみられ、以後、各ROIにおける残存量を示す平衡値に達する。そこで、ROI-0における嚥下後の平衡値(残存量 level of plateau, %), ROI-1, 2および3における嚥下からこのpeakまでの時間(通過時間 transit time, 秒), peakの高さ(height of peak, %)・幅(width of peak, 秒)およびpeak後の平衡値(残存量 level of plateau, %)を計測した(Fig. 3)。

この結果、ROI-0における残存量は坐位で $6.7 \pm 2.9\%$ 、臥位で $8.4 \pm 5.0\%$ と両者間に差はみられなかった。ROI-1における通過時間は坐位で臥位より0.1秒はやく、有意差がみられた。また、peakの高さおよび幅は臥位で有意に高くかつ大きかった。しかし、残存量に差はみられなかった(Table 1)。ROI-2ではこの傾向はより明らかであった。ROI-2における通過時間はROI-1より坐位および臥位でそれぞれ0.1および0.2秒遅れておりROI-1と同じく坐位と臥位の間には有意差がみられた。また、peakの高さは坐位、臥位ともにROI-1に比して低下していたが、これも坐位と臥位の間には有意差がみられた。peakの幅も臥位では坐位に比して有意に大きかった。臥位における残存量は特に増加しており、坐位に比して有意差が認められた(Table 2)。

ROI-3における通過時間は坐位でROI-2より0.2秒遅れていたが、臥位では0.6秒遅れており、

坐位と臥位に有意差がみられた。peakの高さはさらに低くなり有意差はみられなくなった。しかし、peakの幅および残存量は臥位で特に大きくかつ多くなり、坐位に比して有意差が認められた(Table 3)。

以上、健常人12例の平均値であらわした時間放射能曲線をFig. 4に示す。すなわち、健常人の平均的な嚥下状態をあらわしたもので、嚥下後の口腔内残存量に体位による差はなかったが、頸部食道における通過状態には体位によって有意差がみられた。

2) 食道再建例における検討結果

症例 1. 62歳の女性。

胸部食道癌に対し右開胸・開腹下に胸部食道全摘後、生理的経路である後縦隔に胃管を挙上し頸部食道胃管吻合術が施行された。特に合併症はみられず、手術後3か月に食道シンチグラフィを施行した。

時間放射能曲線上(Fig. 5)、健常人と差はなかった。各計測値を通過時間、peakの高さ・幅、残存量の順にみると坐位ROI-1では0.4秒、23%・0.6秒、1%、ROI-2では0.6秒、14%・0.6秒、2%、ROI-3では0.6秒、10%・0.6秒、3%、さらに臥位ROI-1では0.6秒、18%・0.8秒、0%、ROI-2では0.6秒、19%・1.0秒、2%、ROI-3では1.0秒、10%・1.0秒、3%であった。

症例 2. 63歳の男性。

胸部食道癌に対し右開胸・開腹下に胸部食道全摘後、非生理的経路である胸骨後に胃管を挙上し頸部食道胃管吻合術が施行された。特に合併症はみられなかったが、嚥下時頸部に軽度のつかえ感を訴えていた。しかし、特に日常生活に支障なく手術前の職に復している。再発の徴候なく手術約1年後に食道シンチグラフィを施行した。時間放射能曲線上一見して健常人と明らかな差がみられた(Fig. 6)。各計測値を通過時間、peakの高さ・幅、残存量の順にみると坐位ROI-1では0.4秒、62%・1.0秒、17%、ROI-2では0.6秒、30%・1.2秒、12%、ROI-3では0.6秒、12%・1.8秒、11%、臥位ROI-1では0.4秒、92%・1.0秒、

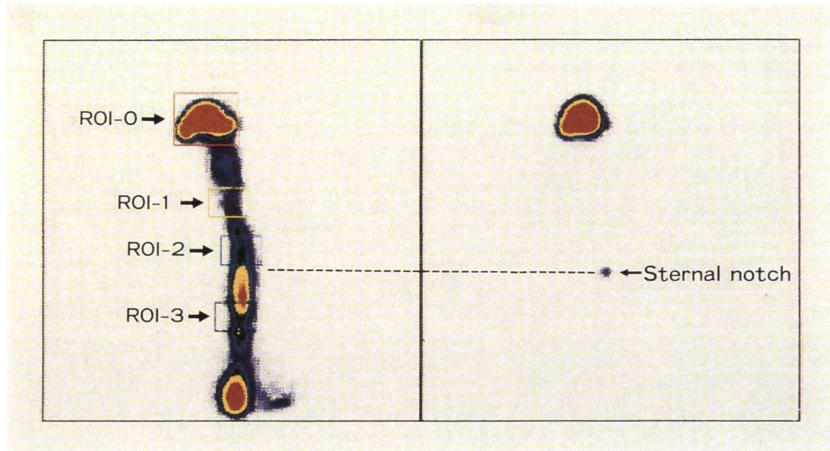


Fig. 1 Setting of regions of interest.

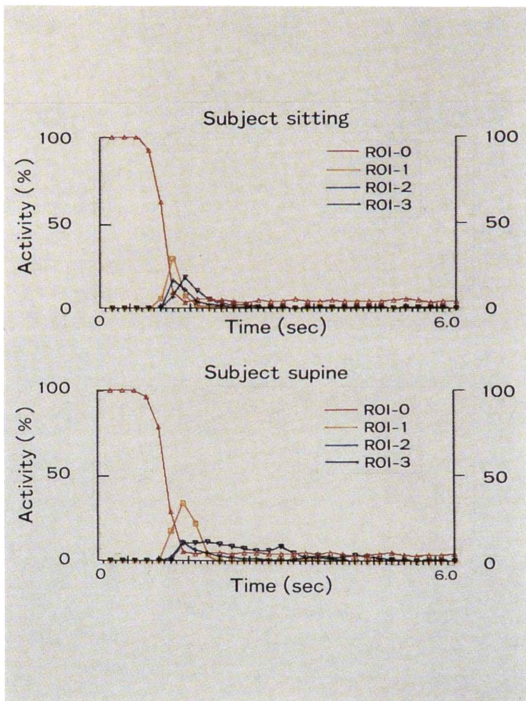


Fig. 2 Time-activity curve for healthy volunteers.

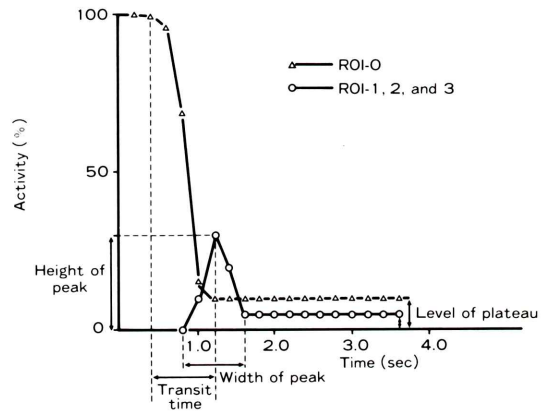


Fig. 3 Typical time-activity curve and numerical values obtained.

Table 1 Numerical values for ROI-1 in healthy volunteers

	Subject sitting	Subject supine
Transit time	0.5±0.1 sec	0.6±0.1 sec
Height of peak	21.9±5.1%	28.6±7.9%
Width of peak	0.7±0.2sec	0.9±0.2sec
Level of plateau	0.6±0.5%	0.3±0.5%

* : P<0.05
 ** : P<0.01
 NS : Not significant

Table 2 Numerical values for ROI-2 in healthy volunteers

	Subject sitting	Subject supine
Transit time	0.6±0.1 sec *	0.8±0.2 sec
Height of peak	14.1±3.1% **	21.7±6.9%
Width of peak	0.8±0.1 sec **	1.1±0.2 sec
Level of plateau	0.9±0.5% **	2.3±1.2%

* : P<0.05
 ** : P<0.01
 NS: Not significant

Table 3 Numerical values for ROI-3 in healthy volunteers

	Subject sitting	Subject supine
Transit time	0.8±0.2 sec *	1.4±0.5 sec
Height of peak	8.7±4.8% NS	14.0±7.5%
Width of peak	0.9±0.2 sec *	1.9±0.5 sec
Level of plateau	1.8±1.5% **	6.3±5.3%

* : P<0.05
 ** : P<0.01
 NS: Not significant

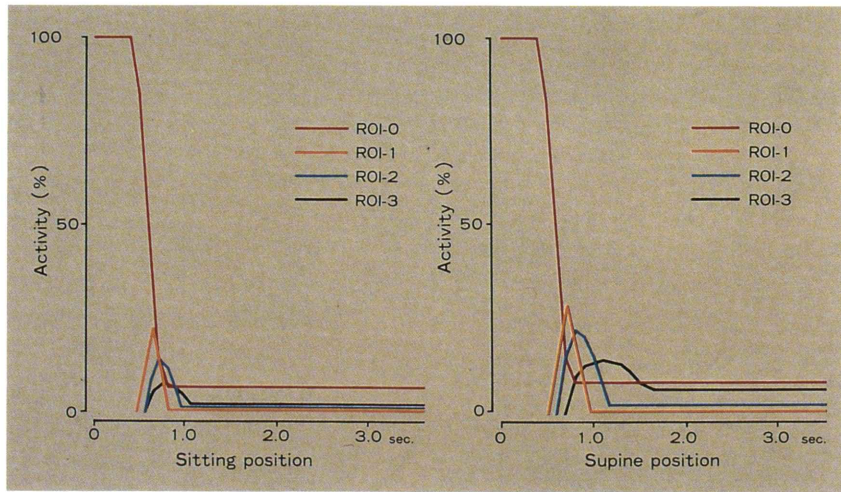


Fig. 4 Time-activity curve by mean values for healthy volunteers.

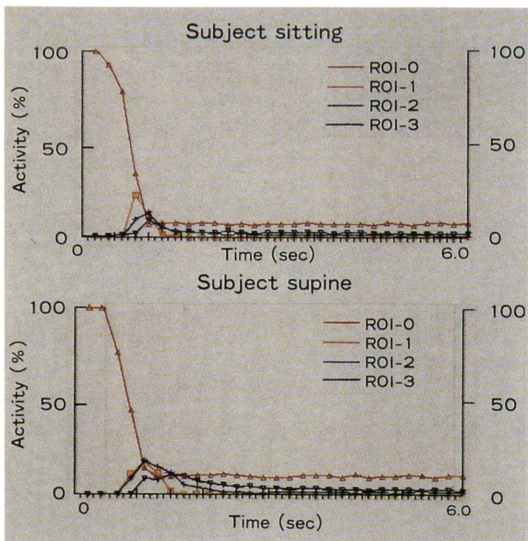


Fig. 5 Time-activity curve for a patient who had posterior mediastinal reconstruction of the thoracic esophagus.

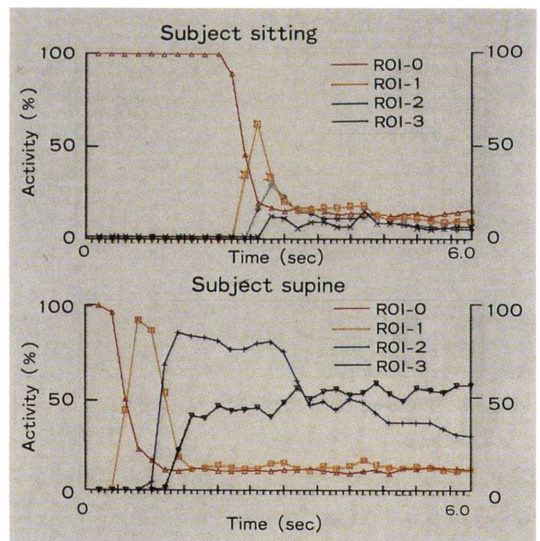


Fig. 6 Time-activity curve for a patient who had retrosternal reconstruction of the thoracic esophagus.

14%, ROI-2 では 1.0 秒, 85%・2.4 秒, 37%, ROI-3 では明らかな peak をつくらず嚥下後 1.2 秒より平均 53% の残存量に達した。

IV. 考 案

嚥下早期, すなわち食塊が咽頭から食道入口部さらに頸部食道にいたる, いわゆる嚥下第二期から第三期の初期における上部消化管の運動には, 神経・筋系が複雑に関与し, その動きは急速である。このため, その動態の解析は困難である。これまで, 食道内圧測定法や食道映画撮影法などを用いた研究が行われてきた。食道内圧測定法は急速な圧変化も測定可能な圧トランスデューサーの普及により咽頭頸部食道における協調運動の評価にも対応できるようになった¹⁾。しかし, 感覚の鋭敏な部に内圧測定用チューブを留置する必要があり, 生理的な状況下での評価は困難である。一方, 食道映画撮影法は嚥下時の解剖学的変化を造影より判定し, 誤飲等の原因を診断するうえで有用である²⁾。しかし, 比重の大きなバリウムを飲用すること, また嚥下を定量的に評価できない等の問題点もある。

ところで, シンチグラフィを用いて食道の機能を検査する試みは Kazem ら³⁾ によって初めて報告された。以来, 食道アカラシア⁴⁾ や強皮症⁵⁾ 等の中下部食道噴門の運動機能障害を定量的に評価するために用いられてきた。Kjellin ら⁶⁾ は内圧測定・食道透視検査上正常であるにもかかわらず嚥下困難を訴える患者においてシンチグラフィが有用であったと報告している。また, Eriksen ら⁷⁾ は食道シンチグラフィが食道運動異常の客観的判断にスクリーニング検査として使用できるとしている。しかし, 咽頭から頸部食道における食塊の通過状態を定量的に検討した報告はみられない。胸部食道切除術等の上部消化管手術では頸部食道に手術侵襲が加わり, 術後頸部にこれに起因すると思われる通過障害を訴える例がみられる。また種々の神経原性疾患でも下咽頭・頸部食道における嚥下障害がみられ⁸⁾, この部の運動機能の評価は臨床的にも重要である。食道シンチグラフィで

は水とほぼ同等の比重・粘稠度の ^{99m}Tc 過テクネチウム酸塩含有液を嚥下するだけで, 定量的かつ客観的な評価が可能で, 咽頭から頸部食道における通過のはい部においても最も生理的な検査法と思われる。また近年ガンマカメラや核医学データ処理装置の性能向上により短時間ごとのデータ収集および処理が可能となり, 急速な食塊の通過によるトレーサーの急速な変化も正確に判定できるようになった。

この際, 嚥下された液体の通過状況は, その量によって変化する⁹⁾。したがって検査液の量は 10 ml とした。これは健常人でも 2-3 ml の液の嚥下では第一次蠕動波が誘発されない場合があるからである¹⁰⁾。また, 頸部食道では液体の急速な通過のためアーチファクト等による計測誤差が生じやすい, この誤差をより少なくするために 185 MBq とこれまでの食道体部の機能を評価するシンチグラフィに比して^{11,12)} やや多量のアイソトープを使用した。その結果, ROI-0 の残存量は臥位でも坐位に比して僅かに多いものの有意差はなく, 健常人では背臥位でも坐位と同様に検査液を口腔から頸部食道へ嚥下することが可能であった。ROI-0 のカウント値の急速な低下に続いて, ROI-1, 2, 3 にはそれぞれ少し遅れて嚥下された検査液の通過をあらわす一峰性の peak がみられた。そして, ROI-1 から 3 に向かうにしたがい, すなわち胃側に向かうにしたがい, 坐位・臥位ともに peak の高さおよび幅はそれぞれ低くかつ大きくなっていった。peak の高さが ROI-1 から 3 へと次第に低下する理由は, 嚥下された検査液が胃側へ通過するにしたがい次第に食道の長軸方向に広がるため, それぞれの ROI における最高カウント値が低下したものと思われる。また, peak の幅はそれぞれの ROI における嚥下された検査液の食道長軸方向の広がりをおける通過速度で除した値であらわされるが, この値も胃側に向かうにしたがい次第に長くなっていった。これはそれぞれの ROI を通過するのに要する時間が胃側に向かうにしたがい次第に長くなったことを示している。

このように、嚥下された液体が胃側に向かうにしたがい次第に変形すると思われるため、最もカウント値の高い部の到達をもって各 ROI の通過時間とした。この部は各 peak の頂点であらわされ、健常人の場合は peak のほぼ中央に認められた。peak 後の平衡値は嚥下された検査液の通過後の食道粘膜への付着などによる残存量を示すと思われる。

健常人の平均値であらわした時間放射能曲線を見ると (Fig. 4), 坐位と臥位の間大きな差はみられない。しかし、各計測値を比較すると、まず、通過時間は ROI-1, 2, 3 全てにおいて臥位で遅延していた。また、peak の高さをみると、ROI-3 では坐位・臥位ともに低値となり有意差はないが、ROI-1, 2 では臥位において有意に高く、さらに peak の幅も ROI-1, 2, 3 で臥位において有意に大きかった。臥位の通過時間が有意に遅延したことより、臥位において嚥下された検査液は坐位に比して食道の長軸方向に広がることなく、より一塊となったまま、有意に遅く各 ROI を通過することが示唆された。しかしながら、健常人では重力の影響のない臥位でも食道蠕動の結果、嚥下後平均 0.8 秒で頸部下部食道に、さらに 1.4 秒と短時間のうちに胸部上部食道に嚥下された液塊の中心部が到達していた。一方、手術操作が頸部食道に及んだ患者についてみると、胸部食道全摘後、生理的な経路である後縦隔に胃管を挙上し左頸部で頸部食道と吻合した例では、時間放射能曲線上さらに各計測値も健常人とほぼ差がなかった。すなわち、口腔から頸部食道における嚥下機能は健常人と差がなく、この例では嚥下障害はみられなかった。一方、非生理的経路である胸骨後経路に胃管が挙上された例では、社会復帰がなされているものの嚥下時の頸部つかえ感を訴えていた。この例では時間放射能曲線上も健常人と明らかに差があり、坐位では頸部食道における通過が遅く、また多量に停滞していた。さらに臥位では頸部食道における通過の遅延および停滞がより著明であった。すなわち、この例における時間放射能曲線の変化が嚥下障害を明確に示していると思われた。

このように、食道シンチグラフィによって、口腔から上部食道への嚥下運動の初期における液体の通過状態が定量的に評価される。また、健常人において坐位と臥位における僅かの嚥下機能の差も判定することが可能であった。さらに手術操作に起因する嚥下動態の変化も定量的に判定することができた。これらの判定には重力の影響がなく咽頭・食道の生理機能をみるうえで背臥位における検査の方が鋭敏とおもわれるが、日常生活における状況を判断するためには坐位における検査も必要と思われる。

今回の検討では、嚥下後あるいは通過後の残存量も判定する目的で検査用の食塊には液体を用いたが、アイソトープを混入することにより液体から固体まで種々の性状の検査用食塊を作成することが可能で、食塊の性状の差による通過状態の差も判定できると思われる。食道シンチグラフィは被検者に与える苦痛も少なく、安全で生理的であるなど嚥下機能を定量的に評価するうえで有用な検査法である。

V. 結 語

- 1) 健常人12例において食道シンチグラフィを用いて検討を行った結果、咽頭から頸部食道における液体の嚥下状態は重力の影響のない臥位では、坐位に比して有意に遅延していた。
- 2) 健常人では臥位においても蠕動運動の結果嚥下された液体は平均 1.4 秒で胸部上部食道に到達していた。
- 3) 食道切除後生理的経路で再建された例では嚥下機能は健常人と差はなかった。しかし、非生理的経路で再建された例では嚥下機能に明らかな変化が認められた。
- 4) 食道シンチグラフィは侵襲が少なく、定量的に嚥下機能を評価するうえで有用である。

文 献

- 1) Wehrauch TR: Esophageal Manometry, Donauworth LA, Urban & Schwarzenberg, Munchen, 1981, pp. 32-35
- 2) Donner MW: Medical and Surgical Problem of the

- Esophagus, Stipa S, Belsey RHR, Moraldi A, Academic Press, New York, 1981, pp. 30-34
- 3) Kazem I: A new scintigraphic technique for the study of the esophagus. *Am J Roentgenol* **115**: 681-688, 1972
 - 4) 氏家裕明, 本郷道夫, 林 義峰, 佐竹賢三, 浅木茂, 後藤由夫, 他: RIによる食道排出能検査. *日消誌* **84**: 2479-2485, 1987
 - 5) Tolin RD, Malmud LS, Reilley J, Fisher RS: Esophageal scintigraphy to quantitate esophageal transit (quantitation of esophageal transit). *Gastroenterology* **76**: 1404-1408, 1979
 - 6) Kjellin G, Svedberg JB, Tibbling L: Solid bolus transit by esophageal scintigraphy in patients with dysphagia and normal manometry and radiography. *Dig Dis Sci* **29**: 1-5, 1984
 - 7) Eriksen CA, Holsworth RJ, Sutton D, Kennedy, N, Cuschieri A: The solid bolus esophageal egg transit test; its manometric interpretation and usefulness as a screening test. *Br J Surg* **74**: 1130-1133, 1987
 - 8) 新美成二: 神経・筋系障害による嚥下障害の保存的治療. *日気食会報* **40**: 92-95, 1989
 - 9) Fisher MA, Hendrix TR, Hunt JN, Murrills AJ: Relation between volume swallowed and velocity of the bolus ejected from the pharynx into the esophagus. *Gastroenterology* **74**: 1238-1240, 1987
 - 10) Stewart ET: *Gastrointestinal Motility—Which test?* Read NW, Wrightson Biomedical Publishing LTD, Gillingham, 1989, pp. 19-25
 - 11) Klein HA, Wald A: Normal variation in radionuclide esophageal transit studies. *Eur J Nucl Med* **13**: 115-120, 1987
 - 12) 相沢信行, 明石恒浩, 原 芳邦, 三井民人, 守谷孝伸, 鈴木 豊: 食道動態シンチグラフィの有用性の検討. *核医学* **23**: 1709-1713, 1986

Summary

Quantitative Evaluation of Deglutition in the Upper Esophagus by Scintigraphy

Harushi OSUGI*, Masayuki HIGASHINO*, Hiroaki KINOSHITA*, Yoshihiro SHIMONISHI**, Masahiro OMURA**, Hozumi IKEDA**, Junro ODA** and Hironobu OCHI**

*Second Division, Department of Surgery, Osaka City University Medical School

**Department of Nuclear Medicine, Osaka City University Medical School

To evaluate the function of deglutition quantitatively, radionuclide transit in the and upper esophagus was examined. Ten ml of water containing 185 MBq ^{99m}Tc pertechnetate was put into the mouth and isotopic counts were measured every 0.2 second in the oral cavity, upper and lower cervical esophagus, and upper mediastinum. The subjects were studied twice, once while sitting and once supine. Esophageal transit was evaluated with time-activity curves obtained in each region of interest. In twelve healthy volunteers transit of the radionuclide was significantly delayed in supine position compared with sitting position. Even while the subject was supine, the radionuclide was

propelled into the lower cervical esophagus in 0.8 second and upper mediastinum in 1.4 second in the healthy volunteers. In the patient, who had reconstruction of the esophagus through posterior mediastinum, radionuclide transit was not different from that of healthy volunteers. Whereas in the patient, who had the reconstruction through retrosternal space, the transit was remarkably delayed. The esophageal scintigraphy was safe and sensitive enough to evaluate the function of deglutition quantitatively.

Key words: Esophageal scintigraphy, Quantitative evaluation of deglutition.