

《技術報告》

^{133}Xe gas ボーラス吸入法による rCBF SPECT の 開発と基礎的検討

駒谷 昭夫* 安久津 徹* 山口 昂一*

要旨 ^{133}Xe ガス吸入法による局所脳血流 SPECT は、定量性に優れるが、画質では $^{99\text{m}}\text{Tc-HMPAO}$ や $^{123}\text{I-IMP}$ 等によるトレーサ捕獲法に劣る。画質改善の一策として、 ^{133}Xe ガスの投与量の増加と投与効率の向上が考えられる。

本研究では、限られた投与量 (1,850 MBq) で効率よく吸入させるために、ボーラス吸入法を考案し、その基礎的および臨床応用の有用性について検討した。マウスピース取付けパイプに加工した細いチューブを介して、呼吸位相に同期して ^{133}Xe ガスをボーラス送気し、引続きスパイロ閉鎖回路内再呼吸を繰り返す方法である。この方法により、頭部の計数率は、従来の吸入法の約 2 倍に増加した。計数率倍増に伴う SPECT 像再構成フィルターの最適化により、rCBF 画像の画質は大幅に改善された。

(核医学 31: 637-641, 1994)

I. はじめに

^{133}Xe ガス吸入法による脳血流 SPECT 法は定量性に優れ、その測定値はゴールドスタンダードとされている。しかし、画質がよくないうえ専用装置が必要等の理由であまり普及していないのが現状である。SPECT の画質を改善するために、われわれは ^{133}Xe の散乱線の特性を考慮した対策¹⁾や感度と分解能のバランスを最適にするコリメータの開発を行ってきた²⁾。さらに、 ^{133}Xe ガスを一塊状に吸入させるボーラス吸入 (bolus inhalation) 法を導入することにより、頭部の計数率が増加し、SPECT の画質を大幅に改善することができたので報告する。

II. 使用器械および方法

使用主装置は、頭部専用のリング型 SPECT (島

津製 SET-021 HEADTOME) とキセノンガスコントロールシステム (安西総業製 AZ-702) である。被検者のマウスピース接続パイプに内径 2 mm の細い分岐を設け、その細管から ^{133}Xe ガスを送気できるように加工した (Fig. 1)。 ^{133}Xe ガスの 1 回使用量は 1,850 MBq (50 mCi)、容量は 5~10 ml である。 ^{133}Xe と空気の混合ガスをスパイロバッグにあらかじめ充填して吸入させる従来法 (以下スパイロバッグ吸入法という) との比較を模式図として Fig. 2 (a) に示す。ボーラス吸入法では、被検者の終末呼気、すなわち吸気が始まる直前の呼吸位相タイミングで呼吸路をスパイロバッグ閉回路に切換え、同時にマウスピースの細管より ^{133}Xe ガスを送気する。その後 1 分間、従来法と同様スパイロバッグ内呼吸を行い、引続き 5 分間の室内空気呼吸による洗い出しを行った。rCBF SPECT 画像は、Kanno & Lassen³⁾ の方法にもとづいた。

従来のスパイロバッグ吸入法では、呼吸ガスの呼気終末点をプロットした終末呼気曲線が動脈血中 ^{133}Xe 濃度を反映するとの仮定の下に、脳への入力関数として用いられている。ボーラス吸入法

* 山形大学医学部放射線科

受付: 6 年 2 月 7 日

最終稿受付: 6 年 4 月 19 日

別刷請求先: 山形市飯田西 2-2-2 (☎ 990-23)

山形大学医学部放射線医学教室

駒谷 昭夫

においても、この仮定が成り立つか否かを確かめるため、被検者の前胸部にシンチカメラを設置し、 ^{133}Xe ガス (185 MBq) の吸入と洗い出しを行った。1 分間の吸入と 2 分間の洗い出しの計 3 分間データ収集し、両吸入法における呼吸ガスと動脈血中の ^{133}Xe 濃度を対比した。

再構成の Butterworth filter 定数は目視的にそれぞれ最適な値を選択し、分解能の評価は 20cmφ アクリルファントム内ラインソースによる半値幅 (FWHM) 法にて行った。

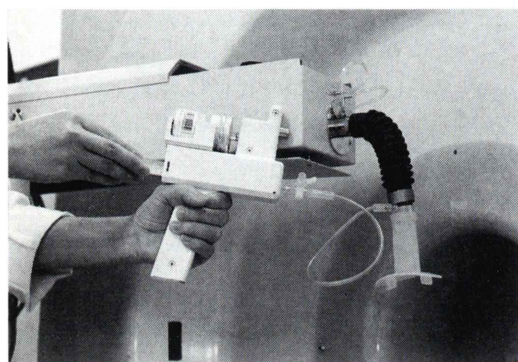


Fig. 1 The device for the bolus inhalation. Xenon-133 gas is injected synchronously in inspiration phase via a small tube connected to a mouthpiece.

本法による脳血流値と従来のスパイロバッグ吸入法による値との差異の有無を調べるため、男性健常者 6 人 (21~40 歳, 平均 28.5) の脳血流値と従来のスパイロバッグ吸入法による健常者の年齢相応脳血流値⁴⁾ との比較を行った。

III. 結 果

1. 吸入効率

スパイロバッグ吸入法とボーラス吸入法における、呼吸ガス中および頭部の時間放射能曲線の例を Fig. 2 (b) に示す。従来のスパイロバッグ吸入法では、動脈血中 ^{133}Xe 濃度を反映する終末呼吸曲線は徐々に上昇し、1 分間の吸入時間内にはプラトーに達しないことが多い。一方、ボーラス吸入法での終末呼吸曲線は、初回ないし 2 回目の呼吸でほぼプラトーに達し、プラトーの値はスパイロバッグ吸入法より明らかに高かった。プラトーの高さは、被検者の体格や肺機能により個人差があるが、15~25% 増加し、入力相 (1 分間) の積分値では 70~80% の増加が認められた。

終末呼吸曲線のプラトー、またはプラトーに達しない場合は最大値 (ET_{max}) に対する頭部曲線の最大値 (Cb_{max}) の比 ($\text{Cb}_{\text{max}}/\text{ET}_{\text{max}}$) を求めた。この比の値は、スパイロバッグ吸入法で $1.56 \pm$

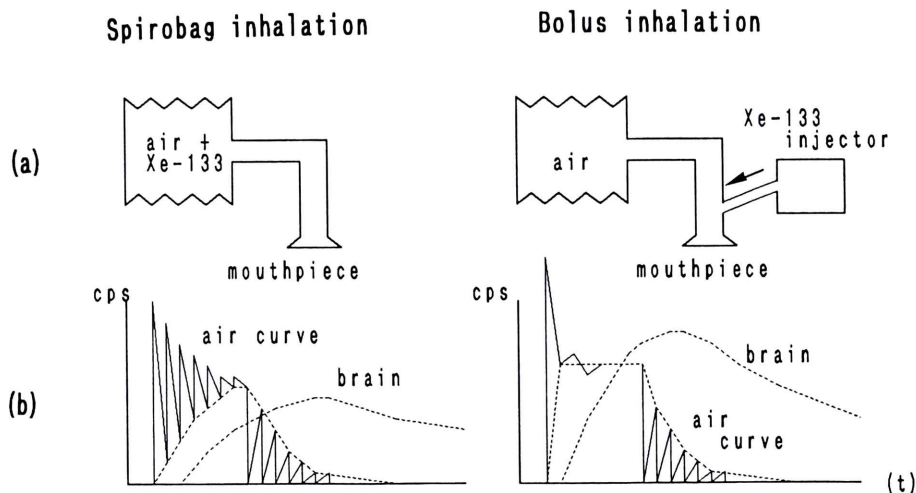


Fig. 2 Schematic presentation of the spiropack inhalation and the bolus inhalation (a). A typical time-activity curves of breathing air and the brain (b).

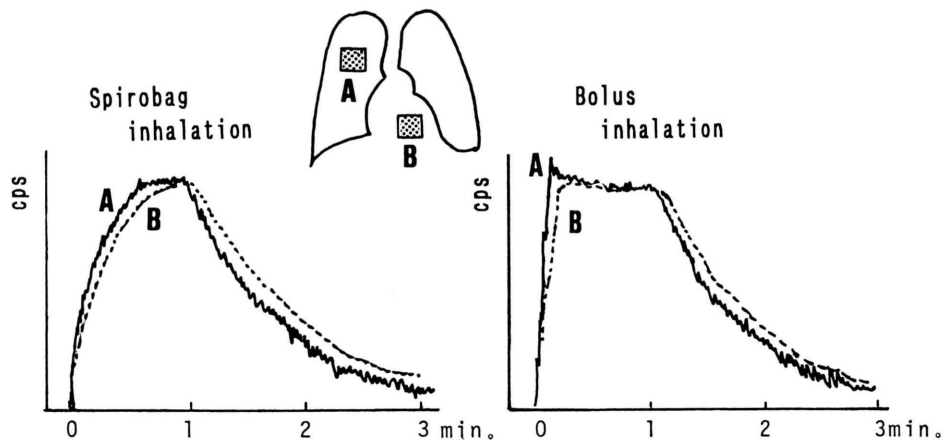


Fig. 3 Time-activity curves at the lung (A) and the heart (B). These curves explain that the air curve reflects arterial time course of ^{133}Xe concentration even in the bolus inhalation method.

Table 1 Specific comparison between spirobag inhalation and the bolus inhalation method

Inhalation	Spirobag	Bolus
$\text{Cb}_{\text{max}}^*/\text{ET}_{\text{max}}^{**}$	1.56 ± 0.21 (1.0)	2.64 ± 0.46 (1.7)
$\text{ET}_{\text{max}}^{**}$	1	1.15~1.25
Counts/pixel	1	2~
Filter:		
cut off	22	18
order	8	8
FWHM:		
at the center	13.6 mm	12.5 mm
at 6 cm from center	10.3 mm	9.7 mm

* Cb_{max} : maximum counts of time-activity curve at the brain.

** ET_{max} : maximum counts of the end-tidal air curve.

0.21 ($n=43$), ボーラス吸入法では 2.64 ± 0.46 ($n=43$) であった。この値は、吸入効率を表す指標(任意単位)と考えられるが、ボーラス吸入法がスパイロバッグ吸入法の約 1.7 倍高い結果となった。すなわち、この効率と終末呼気曲線プラトールの増加分が加わり、頭部の計数率はスパイロバッグ吸入法の 2 倍以上に増加した。両方法におけるこれらの特性を Table 1 に示す。

2. 呼吸曲線と動脈曲線

被検者の前胸部に設置したシンチカメラのデー

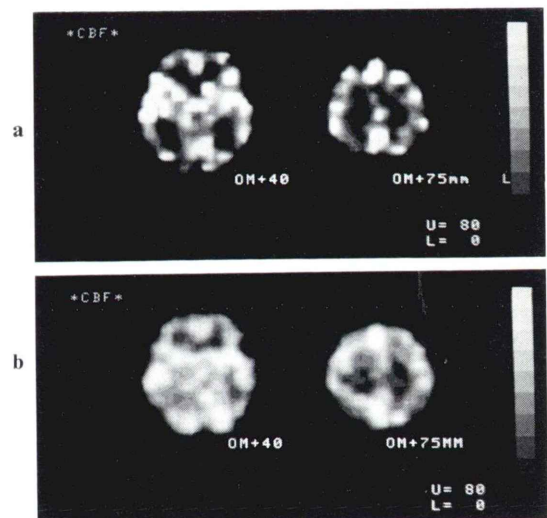


Fig. 4 A typical rCBF-SPECT by the spirobag inhalation method (a), and by the bolus inhalation method (b).

タより、スパイロバッグ吸入法とボーラス吸入法における、肺 (A) と左心室 (B) の時間放射能曲線を求めた (Fig. 3)。左心室の時間放射能曲線は、肺の時間放射能曲線に数秒遅れで追従するような曲線になった。この追従性には、スパイロバッグ吸入法とボーラス吸入法に明らかな差は認められなかった。すなわち、ボーラス吸入法においても、

従来のスパイロバッグ吸入法同様、呼吸曲線が肺機能や呼吸法の影響を加味した動脈血中濃度を反映すると考えられた。

3. 画質の比較

再構成の Butterworth filter 定数は、スパイロバッグ吸入法では cut off 22 mm, order 8 が最適と判断され、FWHM はファントム中心部で 13.6 mm, 中心から 6 cm の点では 10.3 mm であった。一方、ボース吸入法では cut off 18 mm, order 8 が最適と判断され、FWHM はそれぞれ 12.5 mm, 9.7 mm と改善された (Table 1)。

目視的評価でも画質の改善傾向は明らかであり、特に計数率増加に伴う S/N 比の改善は著明であった。本法による脳血流 SPECT 像の一例を Fig. 4 に示す。

4. 健常者の脳血流値

本法による健常男性ボランティア (21~40 歳, 平均 28.5 歳) の脳血流値は、CO₂ 補正後の値で 52.7±4.54 ml/100 g/min であった。従来のスパイロバッグ吸入法によるこの年齢の男性の脳血流値は、われわれが実測値より提案した式⁴⁾によると 53.6 ml/100 g/min であった。すなわち、ボース吸入法と従来のスパイロバッグ吸入法の脳血流値に差異は認められなかった。

IV. 考 察

シングルフォトンエミッション CT (SPECT) で脳血流画像を得る方法には、トレーサ捕獲法と拡散-クリアランスに基づく方法がある。前者には ¹²³I-IMP や ^{99m}Tc-HMPAO 等が用いられている。定量的な脳血流測定には、 γ 線の吸収補正や動脈採血による入力関数の把握等煩雑な手技が必要であり、その精度や再現性にも限界がある⁵⁾。しかし、一般に普及しているシンチカメラ回転式の SPECT 装置で比較的良好な画質の脳血流分布図が得られる。

一方、後者では ¹³³Xe ガスを吸入する方法が代表的である。この方法では、画素ごとの相対的時間放射能曲線から脳血流を算出するので、絶対値を求めるための吸収補正は不要である。またト

レーサの動態が比較的単純で、脳血流計算法が確立され、その誤差因子についても明らかにされている^{6,7)}。さらに、検査時間は 6 分程度と短く、負荷前後の繰り返し検査が可能である等の利点がある。しかし、¹³³Xe の γ 線エネルギー (81 keV) は、散乱線除去が困難¹⁾ なうえ、短い測定時間が逆に計数率不足の因となり、SPECT の画質は劣る。計数率を増やすには ¹³³Xe の投与量の増加、または吸入効率の改善が必要である。

本研究では、吸入効率の向上を計るため、ボース吸入法の導入について検討した。この方法では、従来のスパイロバッグ吸入法と比べ、2 倍以上の頭部計数率が得られ、画質の向上を図ることができた。また、入力関数が急峻に立上がり、¹³³Xe の分布がより直接的に脳血流を反映する利点も考えられる。

今後普及が予測される 3 検出器型の SPECT 装置に本法を導入すれば、課題であった感度不足が大幅に改善され、3 検出器型 SPECT による ¹³³Xe-rCBF SPECT の実用化が可能になると考えられる。

V. ま と め

¹³³Xe rCBF SPECT に、高濃度の ¹³³Xe ガスを一塊として吸入させるボース吸入法を導入した。この方法では、頭部計数率が従来法の約 2 倍となり、SPECT 画質を改善することができた。本法は、今後普及が予測される 3 検出器型 SPECT 装置への応用も期待される。

文 献

- 1) 駒谷昭夫, 高橋和栄, 高梨俊保, 安久津徹, 山口昂一: Xe-133 γ 線の特性とウィンドウレベルがリング型 SPECT の画質に及ぼす影響. 核医学 22: 1695-1698, 1985
- 2) 駒谷昭夫, 山口昂一, 蟬 眞弘, 渡辺順久, 東 義文, 山岡信行: Xe-133 吸入法による局所脳血流 SPECT 用の最適コリメータシステムの開発とその性能評価. 核医学 27: 173-177, 1990
- 3) Kanno I, Lassen NA: Two methods for calculating regional cerebral blood flow from emission computed tomography of inert gas concentrations. J Comput Assist Tomogr 3 (1): 71-76, 1979

- 4) 駒谷昭夫, 山口昂一, 虻 真弘: 健常者の脳血流と脳容積——年齢分布および男女差について——. 脳神経 **42**: 889-893, 1990
- 5) 久保敦司: 脳神経領域における核医学の現況. 映像情報 (M) **25**: 1189-1194, 1993
- 6) Kanno I, Uemura K: Some experimental errors in calculating regional cerebral blood flow from the intracarotid ^{133}Xe clearance curve. *Stroke* **6**: 370-375, 1975
- 7) 駒谷昭夫, 高橋和栄, 安久津徹, 高梨俊保, 菅井幸雄, 山口昂一: 局所脳血流測定の精度を左右する因子の検討——HEADTOME による Xe-133 吸入法について——. 核医学 **23**: 1019-1024, 1986

Summary

Xenon-133 rCBF SPECT by Newly Designed Bolus Inhalation Method

Akio KOMATANI, Tooru AKUTSU and Koichi YAMAGUCHI

Department of Radiology, Yamagata University School of Medicine

Single photon emission computed tomography (SPECT) with ^{133}Xe gas inhalation method enables measurement of regional cerebral blood flow (rCBF) quantitatively. But this method is inferior to the method with $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO or ^{123}I -IMP in the quality of images. Efficient administration of ^{133}Xe gas more than usual is supposed to improve quality of SPECT images.

In this study we designed bolus inhalation method, a new method to efficiently administrate ^{133}Xe gas of usual dose (1,850 MBq), and examined its fundamental aspects and clinical feasibility. The method was initiated by bolus administration

of ^{133}Xe gas synchronously in inspiration phase via a small tube connected to a mouthpiece and was followed by steady breathing of the gas in a closed circuit with a spiro-bag.

Introduction of this method provided almost twofold increase in count ratio at the head in comparison with a conventional inhalation method. Consequently, considerable improvement in the quality of rCBF images was achieved by optimization of a reconstruction filter of SPECT.

Key words: Regional cerebral blood flow, Xenon-133, Single photon emission CT, Bolus inhalation.