

【論文概要】

A non-invasive, reference region-based method for quantification of cerebral blood flow and oxygen metabolism using oxygen-15 labeled gases and positron emission tomography.

Ito H, Ibaraki M, Yamakuni R, Ukon N, Ishii S, Fukushima K, Kubo H, Takahashi K.

Asia Ocean J Nucl Med Biol 2025; 13: 126-137

PMID: 40585292

DOI: 10.22038/aojnmb.2025.81433.1578

https://aojnmb.mums.ac.ir/article_25823.html

O-15 標識ガス定常吸入法を用いた PET 検査による脳血流量(CBF)、脳血液量(CBV)、脳酸素摂取率(OEF)、脳酸素消費量(CMRO₂)の測定は、慢性閉塞性脳血管障害の病態評価のために重要な検査ですが、動脈採血が必要です。この研究では、O-15 標識ガス定常吸入法による CBF、CBV、OEF、CMRO₂ の測定における無採血での定量法を開発しました。この定量法では、C¹⁵O、¹⁵O₂、C¹⁵O₂ によるそれぞれの PET 検査の放射能濃度画像上、参照領域と対象領域に関心領域を設定して放射能濃度を求め、参照領域における CBF、CBV、OEF を仮定して、CBF、CBV、OEF、CMRO₂ の対象領域/参照領域比(RCBF、RCBV、ROEF、RCMRO₂)をエクセルシート上で算出します。

まず、参照部位の CBF、CBV、OEF の値が仮定値と異なった場合の測定誤差をシミュレーションで評価したところ、参照部位の値が±30%変動した場合、RCBF、ROEF 共に±10%以下の測定誤差でした。実測データによる検討では、RCBF、RCBV、ROEF、RCMRO₂ は動脈採血データを用いて算出した CBF、CBV、OEF、CMRO₂ の対象領域/参照領域比との間に病変側、病変対側共に良好な相関を示しました。

この定量法では病態による CBV の変化も考慮に入れた OEF の評価を行っているため、シミュレーションで示されたように閉塞性脳血管障害における misery perfusion でみられるような CBV の増加を伴う OEF の上昇を正確に評価することが理論上可能です。また、実測データにおいても閉塞性脳血管障害での misery perfusion における OEF の上昇や matched hypoperfusion における CMRO₂ の低下を正確に評価し得ることが示され、閉塞性脳血管障害の病態評価に応用可能と考えられました。

また、この定量法では、RCBF、RCBV、ROEF、RCMRO₂ をエクセルシート上で算出しますが、その計算過程で、C¹⁵O、¹⁵O₂、C¹⁵O₂ による PET 検査時の全血中および血漿中放射能濃度が副次的に計算されます。これらの血液データを PET 装置上で診療に用いられている O-15 標識ガス定常吸入法画像計算用ソフトウェアに入力することにより、RCBF、RCBV、ROEF、RCMRO₂ のパラメトリック画像を新たにソフトウェアを用意することなく計算することが可能です。

【エクセルシートの使い方】

1. 関心領域単位での定量

(1) 施設の正常値を入力

参照部位 CBF (mL/mL/min)	: 例 0.3 mL/mL/min
参照部位 CBV (mL/mL)	: 例 0.03 mL/mL
参照部位 OEF	: 例 0.4

(2) PET 画像上の参照部位と脳内局所の放射能濃度(counts)を入力

・ C15O2 スキャン

参照部位の C15O2 定常吸入中の脳組織中 H215O 濃度 (counts)

脳内局所の C15O2 定常吸入中の脳組織中 H215O 濃度 (counts)

・ C15O スキャン

参照部位の C15O 吸入後の脳組織中 HbC15O 濃度 (counts)

脳内局所の C15O 吸入後の脳組織中 HbC15O 濃度 (counts)

・ 15O2 スキャン

参照部位の 15O2 定常吸入中の脳組織中放射能濃度 (counts)

脳内局所の 15O2 定常吸入中の脳組織中放射能濃度 (counts)

(3) 算出結果

参照領域に対する脳内局所の相対的 CBF (RCBF)

参照領域に対する脳内局所の相対的 CBV (RCBV)

参照領域に対する脳内局所の相対的 OEF (ROEF)

参照領域に対する脳内局所の相対的 CMRO2 (RCMRO2)

2. パラメトリック画像の計算

PET 装置のコンソール上で O-15 標識ガス定常吸入法画像計算用ソフトウェアに下記を入力

(1) エクセルシート上で副次的に計算される値

- ・ C15O2 定常吸入中の動脈全血中 H215O 濃度 (counts)
- ・ C15O2 定常吸入中の動脈血漿中 H215O 濃度 (counts)
- ・ C15O 吸入後の動脈全血中 HbC15O 濃度 (counts)
- ・ 15O2 定常吸入中の動脈全血中放射能濃度 (counts)
- ・ 15O2 定常吸入中の動脈血漿中 H215O 濃度 (counts)

(2) 任意の値 (エクセルシート上に既知の正常値を表示)

※本法では CMRO2 の絶対値は計算できないため便宜的に任意の値を入力。

- ・ 血液ガス分析データ(正常値) : pH
- ・ 血液ガス分析データ(正常値) : PaO2 (mmHg)
- ・ 血液ガス分析データ(正常値) : Hb (g/dL) 男性
- ・ 血液ガス分析データ(正常値) : Hb (g/dL) 女性
- ・ 血液ガス分析データ(正常値) : SaO2 (%)
- ・ 動脈血酸素含量(正常値) : CaO2 (mL/dL) 男性
- ・ 動脈血酸素含量(正常値) : CaO2 (mL/dL) 女性

150ガスPET定常吸入法簡便定量法 計算シート

カウント入力

正常値入力

最終結果

CBF

参照部位CBF (mL/mL/min)
参照部位のC15O2定常吸入中の脳組織中H215O濃度 (counts)
150の壊変定数 (/sec)
H215Oの脳血液分配定数 (mL/mL)
C15O2定常吸入中の動脈全血中H215O濃度 (counts)
脳内局所のC15O2定常吸入中の脳組織中H215O濃度 (counts)
脳内局所CBF (mL/mL/min)
参照領域に対する脳内局所の相対的CBF (RCBF)

0.0056703

1

#DIV/0!

#DIV/0!

#DIV/0!

CBV

参照部位CBV (mL/mL)
参照部位のC15O吸入後の脳組織中HbC15O濃度 (counts)
脳組織内微小血管/大血管ヘマトクリット比
C15O吸入後の動脈全血中HbC15O濃度 (counts)
脳内局所のC15O吸入後の脳組織中HbC15O濃度 (counts)
脳内局所CBV (mL/mL)
参照領域に対する脳内局所の相対的CBV (RCBV)

0.85

#DIV/0!

#DIV/0!

#DIV/0!

OEF

参照部位OEF
参照部位CBF (mL/mL/min)
参照部位CBV (mL/mL)
15O2定常吸入中の動脈全血中H215O濃度/動脈全血中Hb15O2濃度 (Rm)
参照部位の15O2定常吸入中の脳組織中放射能濃度 (counts)
Xref
参照部位OEF'
15O2定常吸入中の動脈全血中Hb15O2濃度 (counts)

0

0

0.214

#DIV/0!

#DIV/0!

#DIV/0!

脳内局所の15O2定常吸入中の脳組織中放射能濃度 (counts)	
Xi	#DIV/0!
脳内局所OEF'	#DIV/0!
脳内局所OEF	#DIV/0!
参照領域に対する脳内局所の相対的OEF (ROEF)	#DIV/0!

CMRO2

脳内局所CBF (mL/mL/min)	#DIV/0!
脳内局所OEF	#DIV/0!
参照部位CBF (mL/mL/min)	0
参照部位OEF	0
参照領域に対する脳内局所の相対的CMRO2 (RCMRO2)	#DIV/0!

パラメトリック画像計算(PET装置のコンソール上で入力)

入力項目	
C15O2定常吸入中の動脈全血中H215O濃度 (counts)	#DIV/0!
C15O2定常吸入中の動脈血漿中H215O濃度 (counts)	10000
C15O吸入後の動脈全血中HbC15O濃度 (counts)	#DIV/0!
15O2定常吸入中の動脈全血中放射能濃度 (counts)	#DIV/0!
15O2定常吸入中の動脈全血中Hb15O2濃度 (counts)	#DIV/0!
15O2定常吸入中の動脈全血中H215O濃度 (counts)	#DIV/0!
15O2定常吸入中の動脈血漿中H215O濃度 (counts)	#DIV/0!
15O2定常吸入中の動脈全血中H215O濃度/動脈全血中Hb15O2濃度 (Rm)	0.214
血液ガス分析データ(正常値) : pH	7.40
血液ガス分析データ(正常値) : PaO2 (mmHg)	90
血液ガス分析データ(正常値) : Hb (g/dL) 男性	15.3
血液ガス分析データ(正常値) : Hb (g/dL) 女性	13.2
血液ガス分析データ(正常値) : SaO2 (%)	97
動脈血酸素含量(正常値) : CaO2 (mL/dL) 男性	20.2
動脈血酸素含量(正常値) : CaO2 (mL/dL) 女性	17.4