

原 著 肺 dynamic Xenon-133 SPECT および3次元表示法による肺局所換気評価

西垣内一哉*・菅一能*・清水建築*

松本常男*・松永尚文*

杉和郎**・江里健輔**

*山口大学医学部放射線医学講座

** 同 第1外科学講座

Dynamic pulmonary xenon-133 SPECT and three-dimensional display in the assessment of regional ventilatory function

Kazuya Nishigauchi*, Kazuyoshi Suga*, Kensaku Shimizu*,
Tsuneo Matsumoto*, Naofumi Matsunaga*, Kazuro Sugi**, Kensuke Esato**,Department of Radiology*& First Department of Surgery**of
Yamaguchi University School of Medicine, Ube, Yamaguchi, Japan.

はじめに

肺換気シンチグラフィの1つとして、広く施行されているプラナー像を用いたxenon-133 (Xe-133)ガス肺洗い出し検査は、肺局所換気異常を鋭敏に検出する。しかし、この方法では多方向からの撮像が困難で、胸壁や肺組織の重なりを避けられないなどの欠点を有していた¹⁻⁴⁾。今回、我々は、比較的速い肺のXe-133放射能の変化のデータ収集を可能にする連続反復回転収集モードを備えた3検出器型SPECT装置を用いて、本検査のdynamic SPECT 検査法を開発し⁵⁻⁷⁾、種々の肺疾患における換気異常の検出における有用性を検討したので報告する。また、本検査で得られる多くの断層像の読影と解析を容易にするため、サーフェイスレンダリング法を用いた3次元表示を試みたので⁷⁻⁸⁾、その有用性についても検討したので報告する。

対象と方法

[対 象]

対象は健常者7例と種々の肺疾患84例(男性72例、女性12例、年齢47~78歳までの平均54歳)である。肺疾患症例の内訳は、閉塞性肺疾患33例(肺気腫22例、気管支喘息5例、慢性気管支炎4例、びまん性汎細気管支炎2例)、肺占拠性病変32例(肺癌27例、珪肺症5例)、拘束性肺疾患10例(usual interstitial pneumonitis 7例、肺胞蛋白症1例、剥離性間質性肺炎1例、過敏性肺臓炎1例)、および肺結核症3例、肺塞栓症3例、非定型的好酸菌症2例、気管支閉鎖症1例である。閉塞性肺疾患のうち肺気腫5例では、胸腔

鏡下肺容量減少術⁸⁾が行われ、治療効果判定のため術後にもSPECT検査が行われた。

[Dynamic Xe-133 SPECT]

Dynamic SPECTは、低エネルギー用高分解能平行コリメータを装着した3検出器型 SPECT装置(東芝製、GCA 9300/HG)の反復連続回転収集モードを用いて行なった⁵⁻⁷⁾。被検者を仰臥位とし、Xe-133 ガスコントロール装置により、閉鎖回路内で酸素と混合した一定濃度の Xe-133 ガス(60-72 MBq/l)を4~5分間吸入させた後、データ収集時間 30秒、64 x 64 マトリックス、 γ 線エネルギー80keV+20%にて、平衡相像を撮像後、引き続いて洗い出し像を5~6分間にわたって撮像した。1つの検出器は120度のガントリーを時計/反時計方向にそれぞれ15秒間にて、連続反復して回転しデータ収集を行うため、比較的速い肺のXe-133ガス洗い出し過程のデータ収集が可能となった。1つの SPECT 像(スライス厚: 3.2mm)は、同一角度(6度毎)毎に平均化したデータから再構成した。従って、収集時間 30秒の間の肺のXe-133放射能の変化が平均化されたデータから1つのSPECT 像が作成される。再構成に用いたフィルターは Butterworth prefilter (オーダー; 8、カットオフ周波数; 0.13 cycles/cm)とRamph フィルターである。散乱補正や吸収補正は行っていない。選択された肺断面における肺局所換気は、Xe-133洗い出し半減時間(平衡相での局所の放射能が半減する時間; T1/2値)と、Height/area法を用いて算出された平均通過

時間 (mean transit time; MTT) のファンクショナルイメージにより評価した¹⁻²⁾。

[3次元表示 Xe-133 SPECT]

さらに、画像処理装置(東芝製、5500U)に備え付けの画像処理ソフトを用いて、Xe-133貯留を有する閉塞性肺疾患例を中心にXenon-133 SPECTの3次元表示を試みた。最初に、肺の輪郭を表わすための3次元平衡相像とXe-133貯留部を表わすための洗い出し3分後の3次元像を、それぞれの肺野全体の32横断像から、サーフェイスレンダリング法(バイナリー法)を用いて作成した⁹⁻¹³⁾。その後、両者の3次元像を重ね合わせた1つの3次元合成像を作成した。洗い出し像のうち3分後洗い出し像を選択した理由は、諸家の報告で、洗い出し開始後3分以上のXe-133貯留は明らかな閉塞性変化を示すとされるためである。平衡相と洗い出し3分後像の3次元像の抽出は、いずれも平衡相データにおける最大ピクセルカウントの25%のthresholdを基準にして行った。但し、thresholdは各症例におけるXe-133貯留程度に応じ適切な値に設定することが可能で、このことによりXe-133貯留の局在化が図れる。3次元合成像に用いた平衡相と3分後洗い出しの3次元サーフェイス像はともに、カラーイルミネーション法により陰影を付けられ3次元的效果を有し、かつ半透明色に着色されている⁹⁾。これにより描出される肺輪郭を透して、洗い出し3分後の3次元像(Xe-133貯留部)が肺深部に存在する場合でも可視される。コンピュータ画面上で、さまざまな角度から見た3次元合成像がリアルタイムに描出され、Xe-133貯留部の解剖学的分布位や拡がりの詳細な観察が可能である。さらにシネモード表示も利用できる。

結 果

[健常例]

反復連続回転収集モードによるdynamic SPECT像の画質は、呼吸運動やXe-133放射能の変化にもかかわらず良好であった(図1)。SPECT像およびMTTファンクショナルイメージにより、肺組織の重なりなく局所肺換気評価がなされ、健常例では、Xe-133洗い出しは全肺野において背側肺の方が腹側肺に比べ速く、肺換気に対する生理学的重力効果を反映したものと考えられた(図1)⁶⁻⁷⁾。また、右中葉でXe-133ガス洗い出しが遅延する傾向が認められたが、中葉気管支は解剖学的に他気管支に比較して細く長い

解剖学的理由によるためと考えられた。

[閉塞性肺疾患]

閉塞性肺疾患では、胸部CTで肺野濃度低下などの変化の有無に関わらず、不均等なXe-133ガス洗い出し遅延が認められた。また肺機能障害の程度が強い症例では健常肺で認められた上記の重力効果パターンは消失していた(図2-A)。胸部CT像でびまん性の気腫性変化を呈する肺気腫例や、肺野に異常陰影の認められない気管支喘息患者でも不均等なXe-133貯留が認められた。大部分のブラにはXe-133の貯留が認められたが、周辺肺野よりもXe-133洗い出しが速い例や健常肺とほぼ同様の洗い出しを示す例、さらにブラの中にXe-133の流入の認められない例も存在した。慢性気管支炎では、胸部CTで気管支拡張の認められる末梢肺野でXe-133貯留が強い傾向があったが、気管支に明かな変化の認められない肺野でもXe-133が貯留した例もあった。びまん性汎細気管支炎の2例では、相対的に肺外套域のXe-133洗い出しが遅延しており特徴的であった⁷⁾。

定量的に洗い出し時間(T1/2)を検討すると、閉塞性肺疾患群では健常例や拘束性肺疾患群に比し有意に遅延していた(P<0.001)(図4)。平均通過時間(MTT)のファンクショナルイメージも、閉塞性肺疾患群では、拘束性肺疾患群に比較して明かに不均等であった(図5-A)。

[拘束性肺疾患]

拘束性肺疾患の10例では、いずれも胸部CTで異常陰影が認められたが、明らかなXe-133洗い出しの遅延は認められず、3例では健常例に比較してむしろ促進していた(図3)。間質性肺炎の4例では下肺野で局所的に蜂巣状肺が認められたが、この部位でも明らかなXe-133貯留は認められなかった。

[占拠性病変およびその他の疾患]

占拠性病変および肺結核症、非定型的好酸菌症では、病変部中枢側の気管支の閉塞性変化や拡張性変化を反映したXe-133貯留が認められ、気腫性変化や浸潤影などの異常陰影の認められない肺野にも検出された。肺癌例においては、中心型肺癌は末梢型肺癌に比較してXe-133貯留の拡がり大きい例が多かった。区域支気管支内腔に生じた扁平上皮癌の1例では、X線学的にはオカルト腫瘍であったが、SPECT

では気管支支配領域の末梢肺野にXe-133貯留が認められた。気管支閉鎖症の1例では、閉鎖した気管支末梢の気腫性変化を呈した肺野にXe-133が貯留し、気管支は閉鎖していても側副路を通じて末梢肺野にXe-133が流入しトラップされたためと推測された。肺塞栓症3例では、明らかなXe-133の洗い出し遅延は認められなかった。

[3次元合成像]

3次元合成像では、Xe-133貯留分布の3次元解剖学的分布が示され、多くのSPECT断層像の読影に比較

して、Xe-133貯留の空間的な分布や拡がり容易に把握にされた(図5)。ことに、不均等に多発したXe-133貯留の認められる閉塞性肺疾患群では、本画像は、Xe-133貯留部の空間的連続性や解剖学的位置関係の正確な把握に有用であった。

胸腔鏡下肺容量減少術⁸⁾が行われた肺気腫5例では、胸部CT像でびまん性に気腫変化が認められる場合にも、3次元合成像によりXe-133貯留を呈する肺機能低下部が局在化でき、切除肺の決定に有用であった(図5-B)。術後、切除部位よりも離れた肺野や対側肺でXe-133貯留が改善した例や、逆に一側肺の手術によ

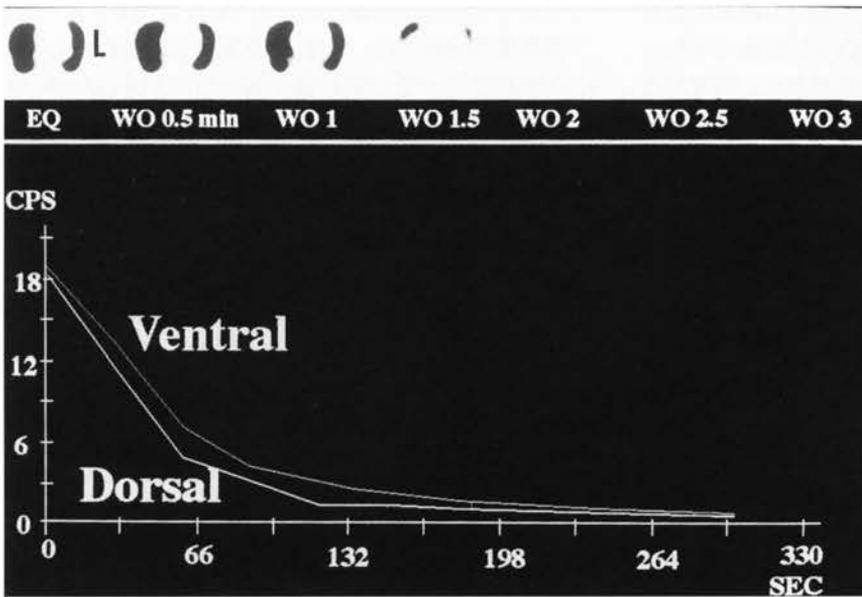


図1:(A) 健常肺のdynamic SPECT (下肺野レベル): SPECT像、洗い出し曲線はともに、背側肺の洗い出しが腹側肺に比べ速いことを示す。これは、肺換気に対する生理学的重力効果を反映する。

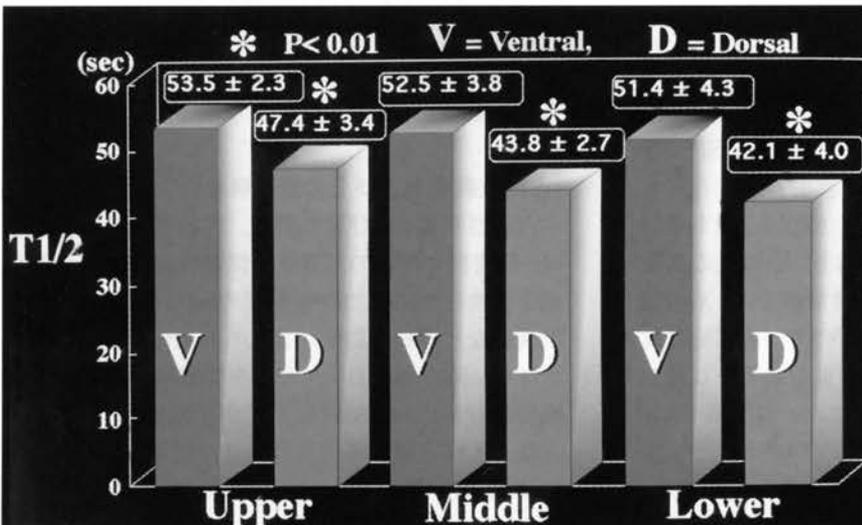


図1:(B) 健常者7例のXe-133洗い出し半減時間(T1/2): いずれの肺レベルでも、T1/2は背側肺の方が腹側肺に比べ短い。

り奇異性の横郭膜運動が起こり対側肺に新しくXe-133貯留部が出現した例などがあり(図5)、本画像は残存肺のXe-133貯留の変化を観察する上で有用であった。

考 察

Dynamic SPECT像は、Xe-133ガスの比較的速い肺の洗い出し過程の画像を提供し、画質も呼吸運動やXe-133放射能の比較的速い変化にもかかわらず良好で、明らかなアーチファクトは認められなかった。また、肺組織の重なりなく局所換気能の評価を行うことができ、胸部CT像との詳細な対比検討も可能である。

閉塞性肺疾患では、胸部CTで気腫性変化を呈さない肺野や明らかな異常陰影の認められない肺野にもXe-133貯留が認められた例が多く、本法は、胸部CT像上で形態的变化を示さない軽度の病変の検出にも鋭敏であると考えられた。また、両側肺に対称性にびまん性の気腫性変化を呈した症例においても、偏在したXe-133の貯留が検出され、本検査は胸部CTでは評価し難い換気障害の程度の強い肺組織の同定にも有用と考えられた。プラおよびプラ周辺肺野の換気能評価は、従来のプラナー像では肺組織の重なりのため把握困難な場合が多いと考えられるが、本法によ

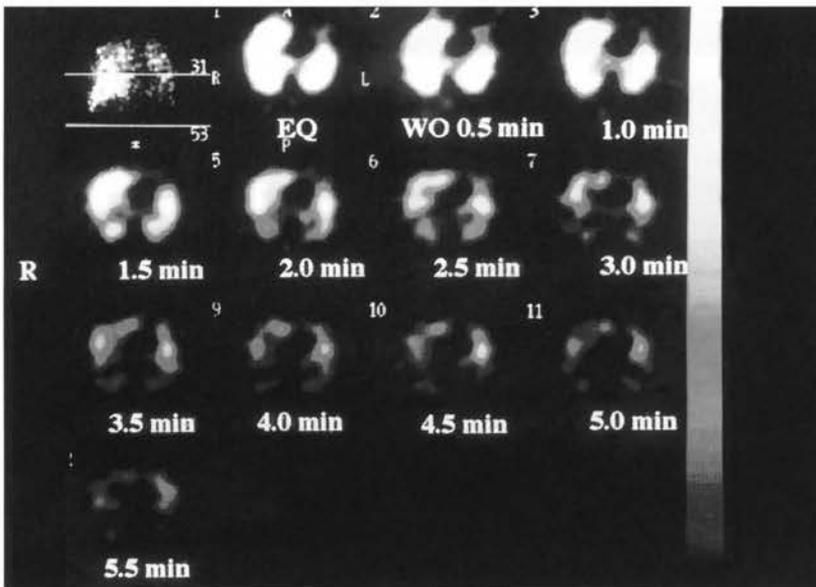
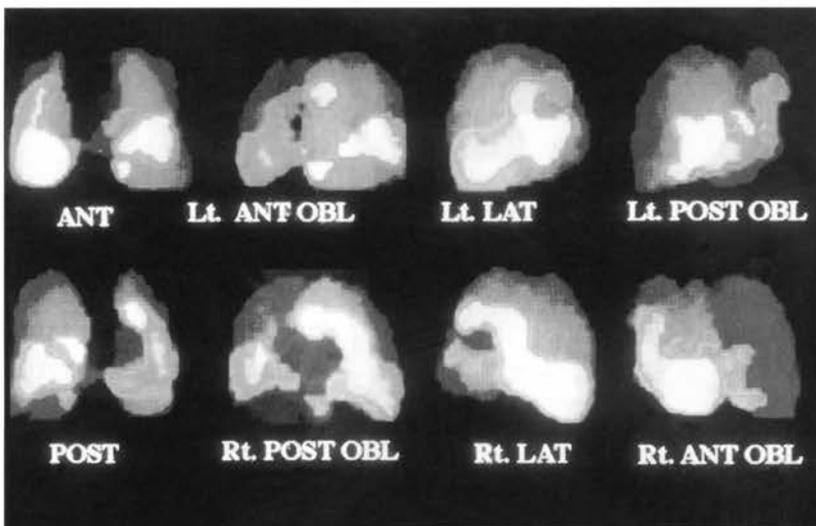


図2: 59歳、女性、気管支喘息。
(A) Dynamic SPECT像により不均等なXe-133ガスの洗い出し遅延部が描出されている。胸部CTでは明らかな異常陰影は指摘されていない。



(B) 3次元合成像: 赤紫色の肺輪郭を示す3次元平衡相像に、黄色のXe-133貯留部を示す3次元3分後洗い出し像を重ね合わせたもので、さまざまな角度から観察可能である。黄色で示されるXe-133貯留部の解剖学的な分布や拡がりは、(A)の複数の横断像の読影に比べ容易にかつ正確に把握される。

り可能となり、個々のプラによりXe-133ガスの流入や洗い出しの状態は異なることが示された。これに対し、拘束性肺疾患では明らかなXe-133貯留は認められず、閉塞性肺疾患との間における局所肺換気機能の差異も明らかにされた。また、Xe-133洗い出し半減時間(T1/2)により定量的評価を行うと、閉塞性肺疾患例においてSPECT画像上で明らかなXe-133貯留の認められない肺野でも洗い出しの遅延が把握された。本検査では画像評価のみならず定量的評価も併せて行う必要があると考えられた⁶⁻⁷⁾。この他、占拠性病変による気道系への影響や病変部以外の肺野の

換気能も評価可能であり、肺癌例では肺機能の術後予測にも有用な検査法となると考えられる。

今回のXenon-133 SPECTの3次元表示は、時系列的に異なった相の3次元画像(平衡相と洗い出し3分後像)を融合させたものであり、肺の深部に存在するXe-133貯留も透見でき、本法に特徴的である。また、一般にはサーフェイスレンダリング法¹⁰⁻¹²⁾を用いると、異常集積部を陽性描出することが困難な場合が多いが、今回の3次元表示像では、2つの画像を重ね合わせたことにより、一種の異常集積ともいえるXe-133貯留部が陽性像として描出された。また、今回の

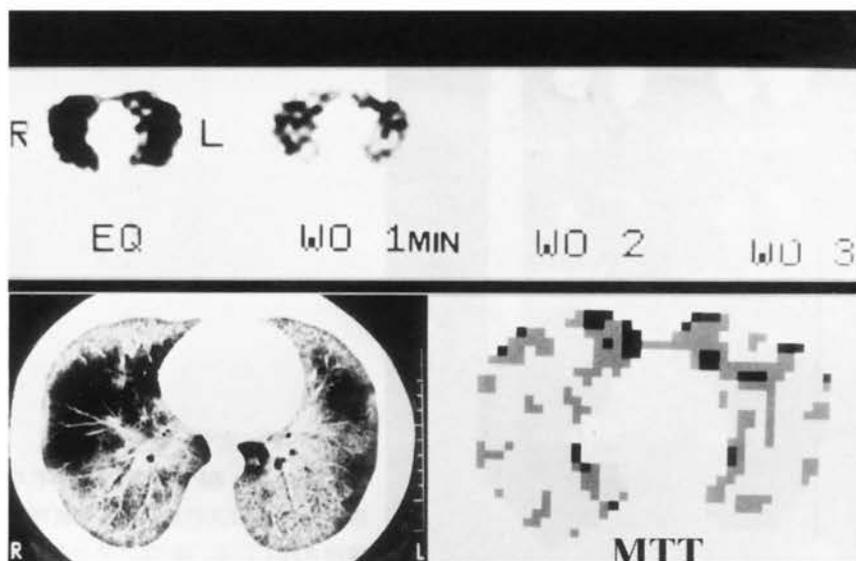


図3: 41歳、男性。肺胞蛋白症。胸部CT(左下)では間質肥厚所見と肺野濃度上昇が不均等に認められる。Dynamic SPECT像ではXe-133の洗い出しは速やかで、平均通過時間(MTT)のファンクショナルイメージでもMTT値の不均等性は軽度である。

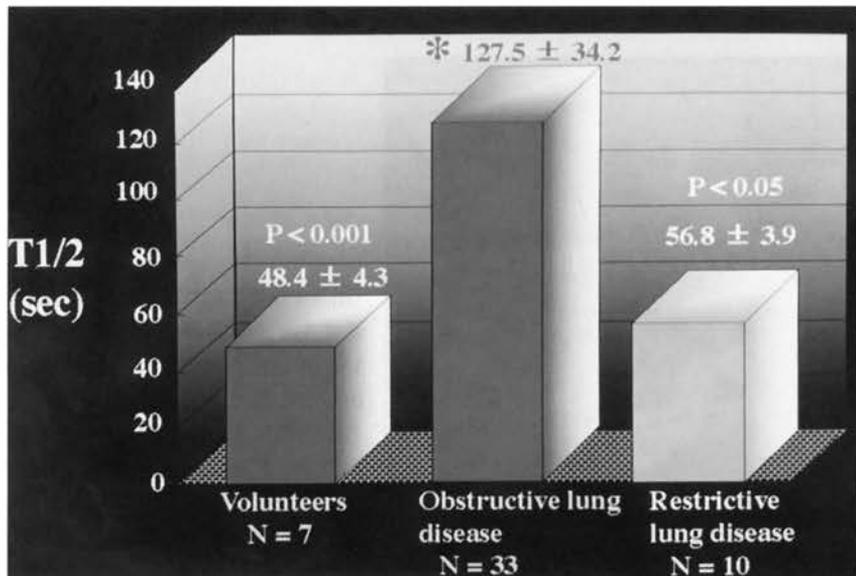


図4: Dynamic SPECT で求めた洗い出し時間(T1/2)の比較: 上中下肺野の背側と腹側肺野で算出した洗い出し時間(T1/2)の平均値は、閉塞性肺疾患群では健常例や拘束性肺疾患群に比し有意に遅延している(P < 0.001)。健常例と拘束性肺疾患群の間には明らかな有意差は認められない。

thresholdの設定は平衡相のピクセルの最大放射能を基準にしたものであり、各患者間で平衡相の肺放射能に若干のばらつきが存在しても、Xe-133貯留程度が客観的に描出される。従って、本法は患者間の比較や同一患者の複数の検査の比較にも有用と考えられる。従来のSPECT断面像では、洗い出し相でXe-133の洗い出しがあるため肺輪郭が不明瞭となり、Xe-133貯留部の解剖学的位置関係や拡がり把握し難く、読影に熟練と時間を要していたが、本画像の導入により容易にかつ正確に行えるようになった。本画像はSPECT検査のトポグラフィ的役割を果たし、Xe-133

貯留部の解剖学的分布や拡がりを把握し易くするのに役立つ、かつ呼吸核医学領域の専門医のみならず、内科医や外科医などにも判り易い呼吸機能情報を提供し得る。特に不均等なXe-133貯留を示す閉塞性肺疾患において本法の有用性は高いと思われるが、今回示したように、肺癌症例などにおいても換気障害のある肺野の拡がりを正確に評価する上で有用と考えられる。

肺気腫に対する胸腔鏡下肺容量減少術は、air trappingを呈し過膨張傾向を示す肺組織を切除し、残った肺組織の機能を最大限に使えるようにすること

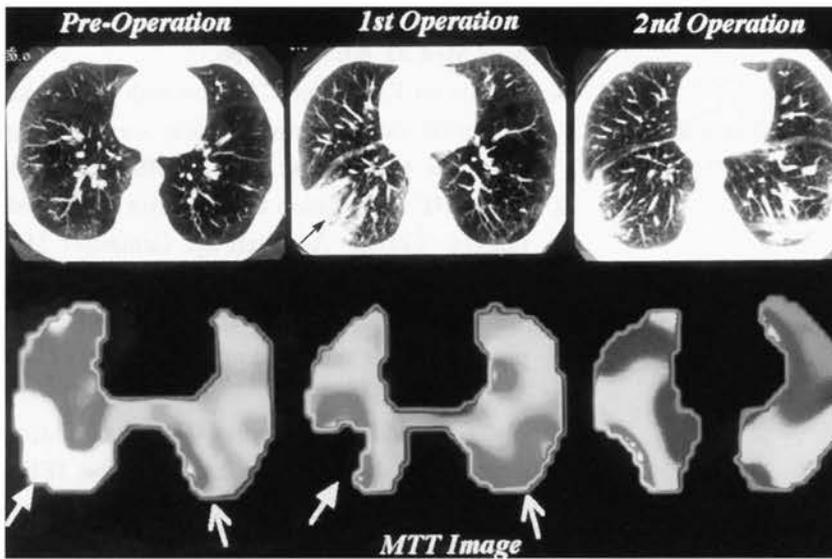
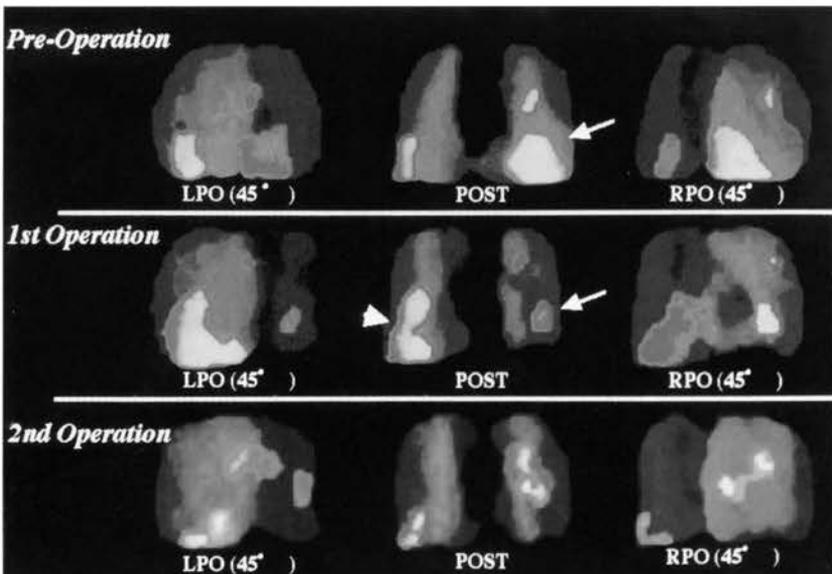


図5: 69歳、男性、びまん性の肺気腫例。

(A) 胸腔鏡下肺容量減少術が行われた下肺野レベルのCT像と同一レベルでの平均通過時間(MTT)のファンクショナルイメージ。初回手術で右下肺野の一部が切除されMTTは改善したが(→)、対側肺でMTTの増悪が認められる(→)。この時点では奇異性の横郭膜運動がみられた。2回目の手術では左下肺野で切除が行われ(→)、MTTの改善が認められる。奇異性の横郭膜運動も改善した。



(B) 3次元合成像:

初回手術により、右下肺野のXe-133貯留は改善したが(矢印)、対側下肺野でXe-133貯留の増悪が認められる(矢頭)。2回目の手術後には、両側肺ともにXe-133貯留の改善が認められる(赤紫色が肺輪郭を、黄色がXe-133貯留部を示す)。本画像により、これらの術前後でのXe-133貯留部の改善や増悪の様子が容易に把握される。

で肺機能の回復を目指す術式である^{8, 13)}。対象はブラのみならず、ブラがないびまん性肺気腫でも機能していない肺組織の分布に片寄りがある例は良い適応になると考えられる。肺換気の相対的に不良な部位を正確に診断することが、術前評価として重要である^{8, 3)}。今回の検討例のなかには胸部CT像でびまん性肺気腫変化を呈する場合でも、Xenon-133 SPECTおよびその3次元表示によりXe-133貯留部は局在化された例があり、本検査法は最も肺換気能の悪い肺組織の検出、すなわち本術式における切除ターゲットを選択する上で有用であると考えられる。また、本画像により術後の肺局所換気の変化が容易かつ詳細に把握されるため治療効果判定にも有用であり、今後、本術式が局所肺機能に及ぼす影響を検討して行く上でも重要な役割を果たすと考えられる。

以上、dynamic Xe-133 SPECTならびにその3次元表示は、さまざまの肺疾患の肺局所換気能評価に有用で、今後、新しい呼吸器核医学の検査法の1つとして利用されて行くことが期待される。

[本研究の一部は、平成8年度文部省科学研究費(研究番号08671033)の助成を受けた。また、本論文の要旨は第25回断層映像研究会においてポスター展示し、金賞を受けた。]

文 献

1. Alderson PO, Secker-Walker RH, Forrest JV. Detection of obstructive pulmonary disease. Relative sensitivity of ventilation - perfusion studies and chest radiography. *Radiology* 111: 643-648, 1974;
2. Alderson PO, Line BR. Scintigraphic evaluation of regional pulmonary ventilation. *Semin Nucl Med* 10:218-242, 1980.
3. Dittrich FA, Goodwin DA. Early recognition of chronic airway disease by the Xe-133 lung scan. *JAMA* 220:1120-1122, 1972.
4. Ball WC, Stewart PB, Newshaw LGS. Scintigraphic evaluation of regional pulmonary ventilation. *Semin Nucl Med* 10:218-242, 1980.
5. 菅 一能、西垣内一哉、久米典彦、他. SPECT装置による肺局所 Xenon-133ガス洗い出しのdynamic SPECTの検討. *日本医学放射線会雑誌* 54:1424-1426, 1994.
6. Suga K, Nishigauchi K, Kume N, et al. Regional ventilatory evaluation using dynamic imaging of xenon-133 washout in obstructive lung disease: an initial study. *Eur J Nucl Med* 22: 220-226, 1995
7. Suga K, Nishigauchi K, Kume N, et al. Dynamic pulmonary SPECT of xenon-133 gas washout. *J Nucl Med* 37:807-814, 1996.
8. Naunheim KS, Keller CA, Krucylak PE, et al. Unilateral video-assisted thoracic surgical lung reduction. *Ann Thorac Surg* 61:1092-1098, 1996.
9. Phong BT. Illumination for computer generated images. *Comm Associate for Computer Machinery* 18: 311-317, 1975.
10. Wallis JW, Miller TR. Three-dimensional display in nuclear medicine and radiology. *J Nucl Med* 32:534-546, 1991.
11. Wallis JW, Miller TR, Lerner CA, et al. Three-dimensional display in nuclear Medicine. *IEEE Trans Med Imaging* 8:297-303, 1989.
12. DePuey EG, Garcia EV, Ezquerra NF. Three-dimensional techniques and artificial intelligence in thallium-201 cardiac imaging. *AJR* 152:1161-1168, 1989.
13. 菅 一能、西垣内一哉、久米典彦、他. 肺気腫の胸腔鏡下肺容量減少術における3次元表示 Dynamic Xe-133 SPECTの有用性. *日医放会誌*: 57:215-216, 1997

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619