

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 24 日現在

機関番号：32653

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K19987

研究課題名(和文) 赤外線サーモグラフィを用いた肺区域間面同定法の確立

研究課題名(英文) Establishment of a noninvasive visualizing technique of the lung intersegmental plane using an infrared thermography

研究代表者

坂本 圭 (Sakamoto, Kei)

東京女子医科大学・医学部・助教

研究者番号：50746873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：肺区域切除において区域間面の同定は重要なプロセスである。研究代表者らは生体ブタを対象に赤外線サーモグラフィを用い、区域血管(肺動静脈)遮断後に肺表面温度の変化を観察する方法を確立し計4区域において肺区域間面の明瞭な描出同定に成功した。また実臨床において区域肺静脈が同定困難な区域切除を念頭に区域肺動脈のみを遮断することでも同様に区域間面が同定できることを明らかにした。本法で得られた区域間面と、現在広く受け入れられている区域間面同定法(含気虚脱ライン法)とを比較し、これらが一致することを示した。臨床応用にむけ、最低限必要な開胸創径の検討も行い、12cm程度の開胸創が必要であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Visualization of the lung intersegmental plane is an important technique during lung segmentectomy. We tried to visualize intersegmental planes with an infrared thermography on experimental pigs. After ligation of segmental pulmonary arteries and veins, intersegmental planes were visualized sharply on thermography. And we confirmed same results only after ligation of segmental pulmonary artery. Intersegmental planes detected by our method were perfectly matched with inflation-deflation lines. The thermography method is completely noninvasive. All we have to do is only monitoring of the lung surface with an infrared thermography. We consider that the thermography method can help thoracic surgeons who perform lung segmentectomy to identify the intersegmental plane simply and precisely.

研究分野：呼吸器外科

キーワード：肺区域切除 サーモグラフィ 肺区域間面同定法

## 1. 研究開始当初の背景

原発性肺癌に対する標準術式は肺葉切除と2群リンパ節郭清であるが、近年 High resolution computed tomography(HRCT)の普及に伴い2cm以下の小型肺癌が発見される頻度が増加し、縮小手術である肺区域切除が選択される症例が増加している。現在この妥当性については本邦において第 相臨床試験が行われておりその結果次第で肺区域切除術が小型肺癌に対する標準術式の一つとなる可能性がある(JCOG 0802)。また患者の高齢化に伴い、合併症を多く有する症例、低肺機能の症例に対する肺癌手術も増加しており肺機能温存のために区域切除が選択されることも多い。このように今後も適応症例が増加する可能性が高く、肺区域切除術は呼吸器外科医が必ず習得すべき術式と考えられる。

実際に肺区域切除術を施行する際には切除ラインとなる区域間面の同定が重要である。具体的には肺区域切除術において、切除予定区域の肺動静脈と気管支を切断した後に肺実質を切除予定区域と温存予定区域の境、すなわち区域間面に沿って正確に切離す必要がある。しかし通常は肺表面を観察しただけでは区域間面の同定は出来ず、何らかの方法で区域間面を可視化、もしくは区域間面の目印を見つけ出す必要があるが、多くの外科医は経験に基づき区域間を判断している。現在、臨床で多く行われている区域間面同定法は、切除予定区域気管支に送気を行い切除予定区域のみを膨張させ膨張部分と非膨張部分の境目を区域間面として切離する含気虚脱法や、インドシアニングリーン(ICG)を血管内に投与し近赤外光胸腔鏡で肺表面を観察する方法(ICG法)などである。しかし含気虚脱法は、隣接区域まで拡張する可能性や、拡張肺により視野確保が困難になる可能性があり、ICG法では区域間面を同定できるタイミングが短く1度きりしか確認で

きないなど、既存の方法にはそれぞれ特有の限界がある。そのため既存の方法よりも簡便、低侵襲で信頼性の高い区域間面同定法の確立が求められている。

## 2. 研究の目的

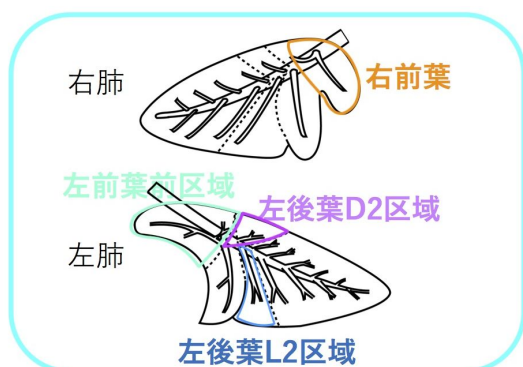
肺区域切除中に切除予定区域を還流する区域肺動静脈を遮断した後に切除予定区域の血流低下が生じる結果、切除予定区域の温度が低下する一方で、血流が保たれる温存予定区域は温度低下を免れることから、両区域の間に温度差が生じる可能性に着目した。この温度差を可視化することが出来れば区域間面が同定できると考えた。温度の可視化のために、熱画像センサーである赤外線サーモグラフィを使用することとした。区域間面同定に先立つ予備的実験として生体ブタ1頭を用いて、肺葉切除を施行する際に赤外線サーモグラフィを用いて肺表面温度の変化をモニタリングし、その結果、肺動静脈遮断後に切除予定肺葉は温存予定肺葉と比較して温度が有意に低下し、その境界(葉間面)がサーモグラフィ上、明確な線として描出できることをあらかじめ確認した。この結果から、肺区域間も同様の原理で区域間面が同定可能である可能性が高いと考え、赤外線サーモグラフィを用いて切除予定区域と温存予定区域の境となる区域間面を同定する方法を確立することを本研究の目的とした。具体的にはブタ肺を用いて肺区域切除を施行し、その際に赤外線サーモグラフィで肺表面を観察し、区域間面が同定できるタイミングや同定に必要な条件(遮断すべき血管は肺動静脈両方なのか、もしくは肺動脈のみで十分なのか)を明らかにし、さらに将来的な臨床応用に向けた課題や問題点を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

(1)対象 本研究においては研究対象としてブタを用いた。ラット等の小動物でなくブタを用いる理由は小動物では術中の分離肺換

気が困難であり、また肺血管気管支の解剖の研究が十分進んでいないことから区域切除遂行が困難である一方、ブタではヒトに準じた分離肺換気管理下の肺区域切除術の遂行が十分可能であるからである。また骨格、胸腔のサイズがヒトと近いこと臨床応用を前提とした本研究で最も適切な対象と考えられた。切除対象区域は右前葉(ヒト右上葉相当)、左前葉前区域(同左上葉上大区相当)、左後葉 D2 区域(同左 S6 相当)、左後葉 L2 区域(同左 S8 相当)とした(図 1)。

図 1



(2)サーモグラフィ 研究機材としてハンディタイプの赤外線サーモグラフィ (InfRec Thermo GEAR R300SR-S®, Nippon Avionics Co. Ltd. Tokyo, Japan) を使用した。本デバイスは物質の表面温度に比例して放射される赤外線を測定し、それを温度に応じたカラーマップに変換する。640×480 ピクセルの解像度を持ち、それぞれのピクセルごとに 0.025 の温度変化を区別できる性能がある(図 2)。

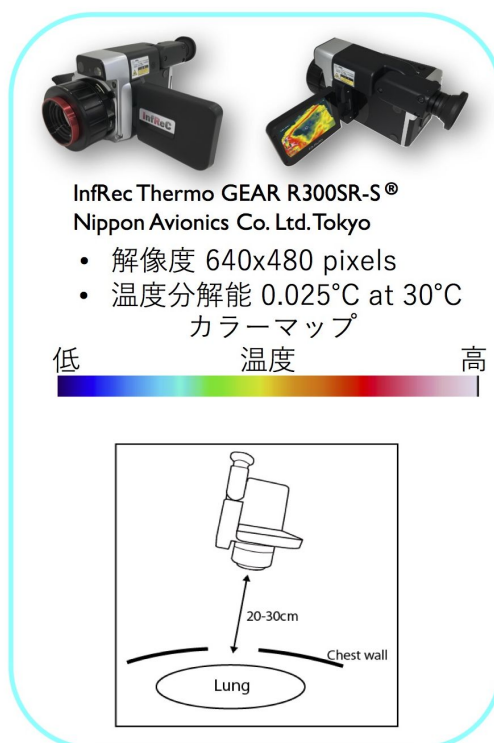
実験の具体的な方法は以下の通りである。

区域肺動静脈遮断後の区域間面の同定:

生体ブタを全身麻酔、分離肺換気下に開胸し、区域肺動静脈を同定しそれぞれを結紮した。血管結紮の前後で赤外線サーモグラフィを用いて肺表面温度をモニタリングし、描出された区域間面をマーキングした。その後区域気管支を切断し、区域切除を施行した。また本法の妥当性を検証するために、区域間同定法は同時に含気虚脱法を採用し、切除予定

区域気管支に送気を行い含気虚脱法で同定された区域間面とサーモグラフィで描出されたラインが一致するかどうか確認した。また術後、得られたサーモグラフィデータを専用解析ソフトウェア (InfRec Analyzer NS9500 standard®, Nippon Avionics Japan) を用いて解析し、区域血管結紮後に肺表面温度がどの程度低下するのか、また切除予定区域と温存予定区域の間に統計学的有意差が認められるかどうかを検討した。

図 2



区域肺動脈のみ遮断後の区域間面同定:

と同様の手順で開胸し、区域肺動脈のみを同定、遮断しその前後での温度変化も同様に測定し、区域肺動脈の遮断のみでと同様の結果が得られるかを検討した。

同定に必要な最小開胸創:

将来的な臨床応用を念頭に、本法に必要な最低限の開胸創の大きさについて検討した。

#### 4. 研究成果

計 16 回のブタ肺区域切除を施行した。この内 10 回は区域肺動静脈を両方結紮し、6 回は肺動脈を先行して遮断した。全 16 回の実

験において、切除予定区域血管切離後に切除予定肺表面温度は速やかに低下し温存予定肺表面との間の温度差をサーモグラフィで描出確認することが可能であった。温度差はサーモグラフィ上色調の異なる2領域の境界線として識別可能であり、このラインに沿って肺表面をマーキングすることが可能であった。切除予定区域温度は温存予定区域温度と比較して有意に低く(肺動静脈遮断後  $32.3 \pm 2.4$  vs  $34.6 \pm 2.2$  ,  $p=0.001$ 、肺動脈遮断後  $32.9 \pm 1.6$  vs  $35.4 \pm 1.2$  ,  $p=0.016$ )、全例においてマーキングラインは含気虚脱法で同定した区域間面と一致した(図3)。肺動脈のみを結紮した後も速やかに肺表面温度は低下し、区域間面を明確に同定できた(図4)。開胸創は6cm(肋骨切断なし)では、肺表面温度を観察するには不十分であり、十分な観察には12cm(肋骨1本切断)程度の開胸創が必要であった。

図3

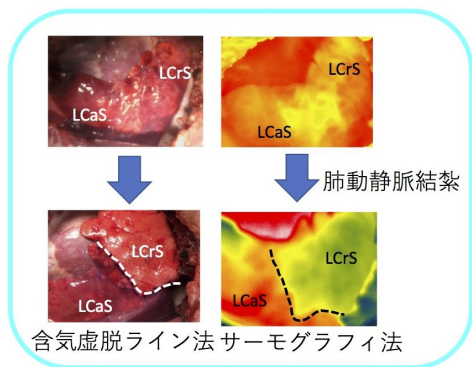
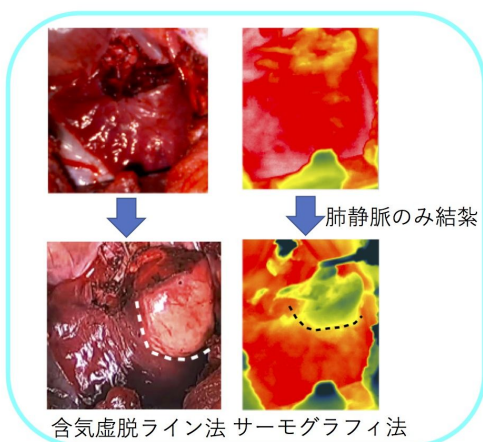


図4



本法は簡便で非侵襲的であり、既存の方法と比較し、術中気管支鏡などを用いて区域肺を再膨張させる技術や、ICG等の薬剤投与の必要がなく、血管結紮後は任意のタイミングで区域間面を確認できる、という利点がある。また既存の方法と組み合わせて施行可能である。区域肺動脈の結紮のみでも肺動静脈両方結紮した場合と同様に区域間面が同定できる可能性が示されたが、このことは区域内、区域間肺静脈を同定しにくい複雑な区域切除(ヒトであればS9,S10など)においても本法は有用である可能性を示している。臨床応用の可能性については、今回の検討では6cmの小開胸では体外からサーモグラフィを使つての肺表面の観察が困難であり、現時点では完全胸腔鏡下区域切除の際には応用できないと考えられた。一方で12cmの開胸創があれば十分観察可能であり、開胸を要する区域切除に際しては併用も可能であると考えられた。今後さらに実験を重ね臨床応用を目指したい。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計4件)

Kei Sakamoto, Shota Mitsuboshi, Sayaka Katagiri, Hideyuki Maeda, Takako Matsumoto, Tamami Isaka, Kunihiro Oyama, Masahide Murasugi and Masato Kanzaki A noninvasive visualizing technique of the lung intersegmental plane using an infrared thermography The 26th European Conference on General Thoracic Surgery, Ljubljana, Slovenia(国際学会) 2018年

坂本 圭、光星翔太、片桐さやか、前田英之、松本卓子、井坂珠子、小山邦広、村杉雅秀、神崎正人 赤外線サーモグラフィを用いた肺区域間面同定法の確立-生体ブタを用いた区

域切除での検討- 第70回日本胸部外科学会  
定期学術集会 2017年

坂本 圭, 荻原 哲, 片桐さやか, 前田英之,  
松本卓子, 井坂珠子, 小山邦広, 村杉雅秀,  
神崎正人 赤外線サーモグラフィカメラを用  
いた肺区域間面同定法 第34回日本呼吸器外  
科学会総会 2017年

坂本 圭, 前田英之, 井坂珠子, 小山邦広,  
村杉雅秀, 神崎正人 Thermographic  
detection of the lung intersegmental plane  
第7回呼吸器外科イノベーション研究会 2016  
年

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

坂本 圭 (SAKAMOTO, Kei)

東京女子医科大学・医学部・助教

研究者番号:50746873

### (2)研究分担者

該当なし

### (3)連携研究者

該当なし

### (4)研究協力者

神崎 正人(KANZAKI, Masato)