

開胸手術前後における運動負荷試験の評価

岡山大学医学部第二外科学教室 (指導: 寺本 滋教授)

金 藤 悟

(平成5年2月3日受稿)

Key words: 開胸手術, 心肺予備能力, 運動負荷試験, 術後合併症, 最大酸素摂取量

緒 言

近年, 肺癌の増加と平均寿命の延長に伴い, 高齢者や低肺機能症例にも肺切除術の適応がひろがってきているが, 手術前後の管理の進歩により手術死亡例や合併症は減少している. 術前評価としての呼吸機能は機能的手術適応および術後合併症発生の予測に極めて大切である. 従来より術前の総合呼吸機能検査をはじめ一側肺動脈閉塞試験¹⁾, 肺シンチグラフィーを利用した術後呼吸機能予測²⁾³⁾⁴⁾などによる機能的手術適応の決定や, 術後の合併症発生に関する報告は多い. 術後合併症の発生は, 複数の因子による事が多いと考えられ術前安静時呼吸機能検査の中の単一のパラメーターのみで術後合併症の予測や耐術性を判断するにはおのずから限界が有る. 運動負荷試験による心肺予備能力評価や術後の合併症発生に関する報告も多い⁵⁾⁶⁾⁷⁾. Smithら⁸⁾は, 術前に22例の患者に自転車エルゴメーターを用いた運動負荷試験を行い, $\dot{V}O_2\max$ (最大酸素摂取量) が $20\text{ml}/\text{min}/\text{kg}$ 以下のグループに術後合併症が多く発生したと報告している. そこで, 著者は開胸手術患者40名に対して, 術前に安静時総合呼吸機能検査と自転車エルゴメーターを用いた運動負荷試験を行い, 耐運動能が心肺予備能力を反映し, 術後合併症発生の予測や手術適応決定に有用か否かを従来の呼吸機能パラメーターとともに運動負荷試験のパラメーターのひとつである $\dot{V}O_2\max$ を中心に検討を加えた. また, 術後にもほぼ同様の検査を行い術前後の心肺機能の変化を検討した.

対象と方法

1. 対 象

昭和59年6月から昭和60年2月までの間に, 入院した開胸手術患者40名で, 明らかな心疾患を有しない者とした. 男性31名, 女性9名で, 平均年齢は, 60歳であった. 疾患別では, 肺癌33例, 転移性肺腫瘍1例, 結核2例, 良性疾患4例で, 手術方法は, 肺全摘術3例, 二葉切除術2例, 一葉切除術24例, 肺部分切除術8例, 嚢胞切除術1例, 試験開胸術2例であった. 術後合併症とは術後早期に治療を要したもので, 手術症例40例中10例 (25%) に発生し, その内訳はブロンコファイバースコープで処置を要した喀痰喀出困難が5例, 胸部レ線写真上確認された無気肺2例と肺炎1例, レスピレーターで2日以上呼吸管理を要した呼吸不全2例で, この内1例が死亡した. 合併症発生例の術式は, 一葉切除術4例, 二葉切除術2例, 部分切除術2例, 全摘術1例, 試験開胸術1例であった.

2. 方 法

術前にコリンズ社製の総合呼吸機能検査装置を用い全例に安静時総合呼吸機能検査を施行した. 主な測定項目は, FVC (努力性呼気肺活量), %FVC (比努力性呼気肺活量), FEV_{1.0} (1秒量), FEV_{1.0}% (1秒率), MVV (最大分時換気量), %MVV (比最大分時換気量), DLco (一酸化炭素拡散能) である. その後一週間以内に段階的運動負荷試験を行った. 負荷方法は図1に示すように心電図, 観血的血圧モニター下に自転車エルゴメーター (モナーク社製, スエーデン) を用いて1分間の安静の後, 3分毎に30

表1 術前総合呼吸機能検査成績

パラメーター	合併症発生群	合併症非発生群	有意差
FVC (ℓ)	2.5±0.7	3.3±0.9	p<0.05
%FVC	81.9±14.8	92.3±18.8	N.S.
FEV _{1.0} (ℓ)	1.7±0.5	2.5±0.8	p<0.01
FEV _{1.0} %	70.2±15.2	74.7±12.4	N.S.
MVV (ℓ/min)	61.9±23.3	94.7±38.8	p<0.05
%MVV	67.8±21.4	91.7±29.3	p<0.05
DLco (ml/min/mmHg)	13.1±4.6 (n=9)	17.2±5.3 (n=28)	p<0.05

合併症発生群 (n=10) 合併症非発生群 (n=30) 数値: mean±S.D.

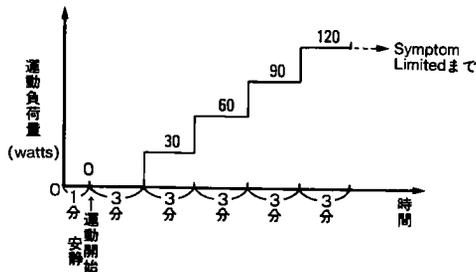


図1 運動負荷方法

watts ずつ負荷量を増す段階的の負荷法で、呼吸困難等の理由で運動が中断されるまでおこなった (symptom limited) (図1)。測定項目は、自動呼気ガス分析器 (三栄測器エアロピクスプロセッサー391) を用いて1分毎に、 $\dot{V}O_2$ (酸素摂取量)、 $\dot{V}CO_2$ (炭酸ガス排泄量)、 $\dot{V}E$ (分時換気量)、R.R. (呼吸数)、H.R. (心拍数) を測定した。また同時に橈骨動脈もしくは、上腕動脈に留置したエラストー針より、観血的血圧モニターをおこないつつ、安静時と最大負荷時に動脈血乳酸測定 (紫外外部吸光度測定・End Point法・テストコンビネーション) と動脈血ガス分析をおこなった。これらの測定値を、術後心肺合併症発生群と非発生群の両群間で比較検討した。また術後遠隔期に40名中12名にほぼ同様の検査を行い術前後の心肺機能の推移を検討した。平均値の差に関する統計処理は、unpaired および paired Student t-test を用い、 $p<0.05$ をもって有意差ありとした。

結 果

1. 術前総合呼吸機能検査の検討

術前総合呼吸機能検査の成績を、表1のように合併症発生群と非発生群に分ける (表1)。合併症発生群は10例 (男性7例、女性3例) で、非発生群は30例 (男性24例、女性6例) であった。両群の平均年齢は64歳と59歳で有意差はなかった。

術前総合呼吸機能検査において術後合併症発生群と非発生群の間に有意差を認めたパラメーターは、FVC、FEV_{1.0}、MVV、%MVV、DLcoであった。%FVC、FEV_{1.0}%には有意差は認めなかった。

FVCは、合併症発生群が、2.5±0.7ℓに対し、非発生群では、3.3±0.9ℓ、FEV_{1.0}は、合併症発生群が1.7±0.5ℓに対し、非発生群では、2.5±0.8ℓ、MVVは、合併症発生群が、61.9±23.3ℓ/min に対し、非発生群では94.7±38.8ℓ/min、%MVVは、合併症発生群で67.8±21.4%に対し、非発生群では91.7±29.3%、DLcoは、合併症発生群が13.1±4.6ml/min/mmHg に対して、非発生群では17.2±5.3ml/min/mmHgと有意差が認められた。しかし、個々の実測値では、両群間に重なりが多く見られた (図2)。

2. 術前運動負荷試験成績の検討

運動負荷試験直前の安静時の PaO₂、PaCO₂、動脈血中乳酸値 (L.A.) を各 PaO₂rest、PaCO₂rest、L.A.rest とした。運動負荷試験によって得られた1分間の $\dot{V}O_2$ の最大値を $\dot{V}O_{2max}$ とし、 $\dot{V}O_{2max}$ /体重も求めた。 $\dot{V}CO_2$ 、H.R.、 $\dot{V}E$

表2 術前運動負荷試験成績

パラメーター	合併症発生群	合併症非発生群	有意差
$\dot{V}O_2\max$ (ml/min)	909±165.2	1115.7±295.5	p<0.05
$\dot{V}O_2\max/\text{体重}$ (ml/min/kg)	18.9±3.2	19.9±4.7	N.S.
$\dot{V}CO_2\max$ (ml/min)	1036.6±263.7	1414.8±493.2	p<0.05
H.R.max (回/分)	131.4±25.3	133.1±18.7	N.S.
$\dot{V}E\max$ (l/min)	40.0±7.8	45.2±12.8	N.S.
PaO ₂ rest (mmHg)*	80.4±9.7	84.4±14.1	N.S.
PaO ₂ max (mmHg)*	73.9±14.2	90.5±13.5	p<0.01
PaCO ₂ rest (mmHg)*	33.7±5.4	35.4±6.6	N.S.
PaCO ₂ max (mmHg)*	34.9±8.7	33.9±6.5	N.S.
L.A.rest (mg/dl)*	10.2±4.8	10.6±5.2	N.S.
L.A.max (mg/dl)*	39.2±15.9	42.4±21.2	N.S.

合併症発生群 (n=10) 合併症非発生群 (n=30)

数値: mean±S.D.

*このパラメーターの合併症発生群の n=7

非発生群の n=21

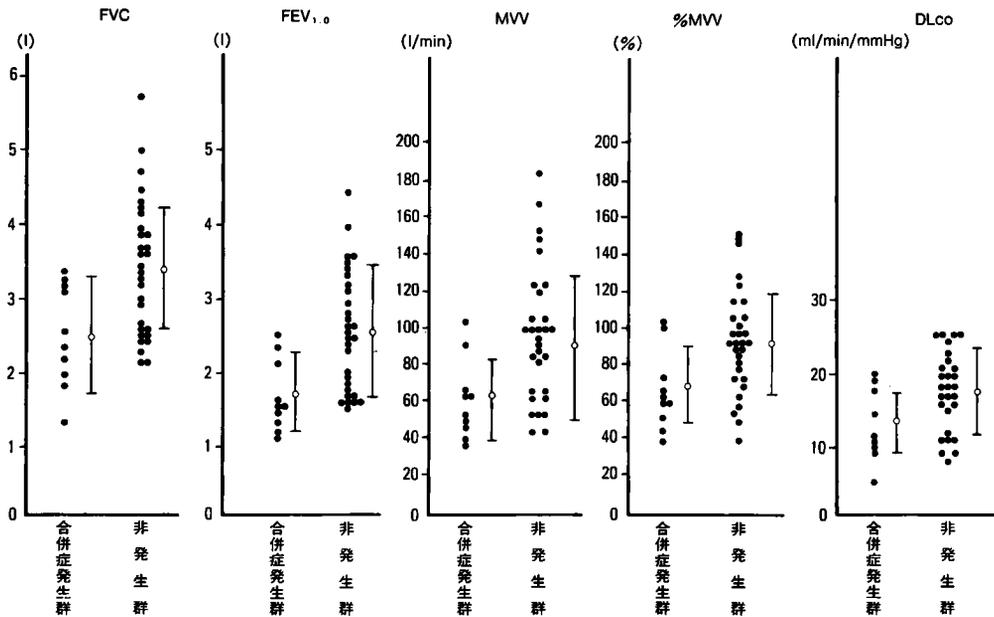


図2 総合呼吸機能検査で有意差の認められたパラメーターの分布

も同様に1分間の最大値を $\dot{V}CO_2\max$, H.R.max, $\dot{V}E\max$ とし, また最大負荷時のPaO₂, PaCO₂, 動脈血中乳酸値(L.A.)をそれぞれPaO₂max, PaCO₂max, L.A.maxと表して, これらのパラメーターを合併症発生群と非発生群に分けて検討した(表2)。両群間に有意差がみとめ

られたパラメーターは, $\dot{V}O_2\max$, $\dot{V}CO_2\max$, PaO₂maxであった。 $\dot{V}O_2\max$ は合併症発生群が平均909±165.2ml/min, 非発生群では, 1115.7±295.5ml/min, $\dot{V}CO_2\max$ は, 合併症発生群が1036.6±263.7ml/minに対して非発生群では1414.8±493.2ml/minであった。

PaO₂の運動負荷前後の変化は、合併症発生群と非発生群で比較してみると、合併症発生群は80.4±9.7 mmHgが73.9±14.2 mmHgに低下し、非発生群では84.4±14.1 mmHgから90.5±13.5 mmHgに上昇した。安静時のPaO₂restは両群間に有意差はなかったが、最大負荷時のPaO₂maxでは、両群間に有意差を認めた。PaCO₂は、合併症発生群において運動負荷前後の変化は、33.7±5.4 mmHgが、34.9±8.7 mmHg、非発生群では、35.4±6.6 mmHgが、33.9±6.5 mmHgと大きい変化はなかった。動脈血中乳酸値の負荷前後の値を両群で比較すると、合併症発生群では、10.2±4.8mg/dlから39.2±15.9mg/dlに増加し、非発生群では10.6±5.2mg/dlから42.4±21.2mg/dlと両群ともほぼ同程度に増加した。合併症発生群と非発生群の間に有意差を認めたパラメーターは、 $\dot{V}O_2\max$ 、 $\dot{V}CO_2\max$ 、PaO₂maxの3項目で、分布図を図3に示した(図3)。

4. $\dot{V}O_2\max$ と術前総合呼吸機能検査各パラメーターとの相関

次に $\dot{V}O_2\max$ と呼吸機能パラメーターのFVC, %FVC, FEV_{1.0}, FEV_{1.0}%, MVV, %MVV, DLcoとの相関を見てみると表3のごとくMVVとの相関係数0.67をはじめFEV_{1.0}は0.66, FVCは、0.59, DLcoは0.57と正の相関

表3 $\dot{V}O_2\max$ と術前総合呼吸機能検査の各パラメーターとの相関

パラメーター	相関係数
MVV	0.67 (n=40)
FEV _{1.0}	0.66 (n=40)
FVC	0.59 (n=40)
DLco	0.57 (n=37)
%MVV	0.48 (n=40)
%FVC	0.25 (n=40)

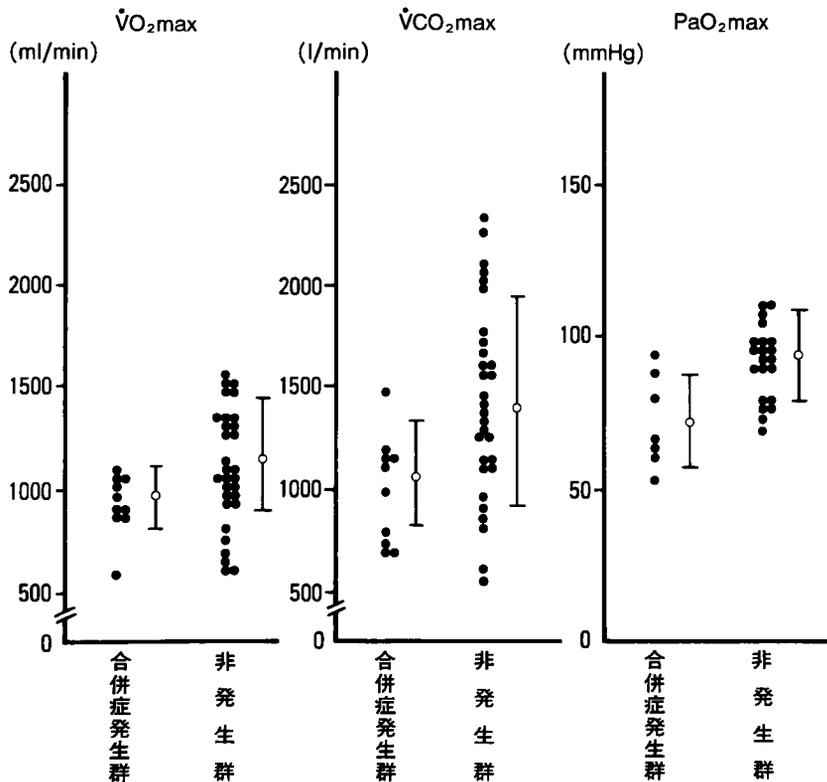


図3 運動負荷試験で有意差の認められたパラメーターの分布

が得られた (表 3)。

5. 開胸手術後の総合呼吸機能検査と運動負荷試験成績について

肺切除術を受けた12名の患者に全身状態の安定した術後平均5ヵ月目に術前とはほぼ同様の検査をおこなった。図4は術前後の総合呼吸機能検査の変化を示しており%FVCは、術前96.6±11.2%から術後66.3±11.7%と減少し、FEV_{1.0}%は、72.2±13.6%から80.1±12.5%と増加、MVVは、94.4±40.2 l/minから76.9±35.1 l/minに、DLcoも、18.6±4.4ml/min/mmHgから12.5±4.4ml/min/mmHgと減少した。%FVC、MVV、DLco値は、術後に有意の低下が見られたが、FEV_{1.0}%はすべての症例で有意に増加した (図4)。

術前後の運動負荷試験成績を比較したのが図5である。VO₂maxは、術前1048.7±290.5ml/minから術後815.1±235.5ml/minに、VEmaxは43.4±11.5 l/minから37.5±8.6 l/min、H.R.maxは、136.7±23.7回/分から122.5±19.2回/分に、心機能を反映するパラメーターであるVO₂max/H.R.maxは、8.5±1.9から7.3±1.1といずれも術後に有意の低下が見られた。VO₂rest (安静時酸素摂取量)、R.R.max (最大呼吸数)には有意差はなかった (図5)。

考 察

運動負荷試験は、以前より循環器領域において冠疾患の早期診断や心機能評価⁹⁾、心疾患の治療効果判定¹⁰⁾に用いられてきたもので呼吸器の分野でも呼吸器疾患の早期診断¹¹⁾等に応用されている。

一方呼吸器外科においては、開胸手術の耐術能からみた機能的術後適応は、主に安静時総合呼吸機能をもとに決められてきたが、開胸および肺切除という高度の侵襲下での術後心肺合併症の発生は、当然ながら、心および肺の両方の予備能力の低下症例に発生しやすいと考えられる。術前に自転車エルゴメーター法による運動負荷試験をおこない心肺機能を測定し耐運動能を知ることは心肺予備能力の低下による手術のリスク判定や術後合併症発生予測に役立つことが期待される。Reichel¹²⁾は、肺全摘患者の術前検査には、運動負荷試験がリスク判定に有用と報告している。

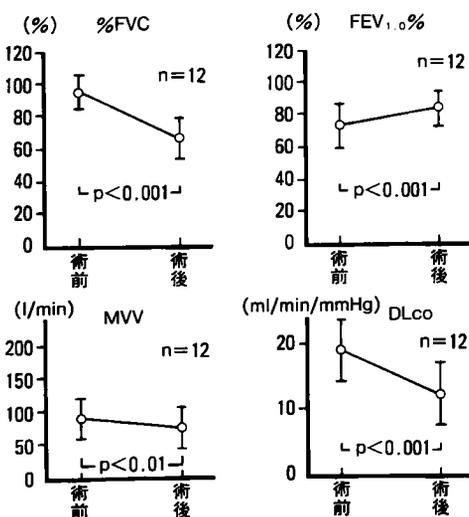


図4 術前後の総合呼吸機能検査成績の変化

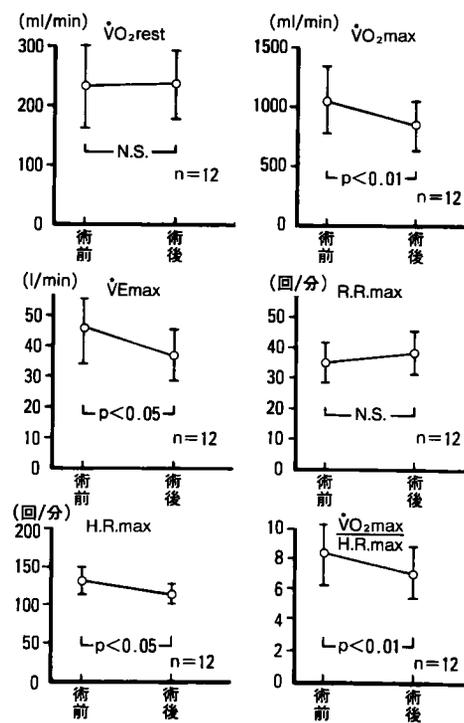


図5 術前後の運動負荷試験成績の変化

運動負荷試験の負荷法としては、トレッドミル法、階段昇降法、自転車エルゴメーター法が知られているが、今回、著者が用いたのは自転車エルゴメーター法である。この方法を用いた利点としては負荷量に体重の影響がなく、定量的負荷をかけやすいこと、運動負荷中に転倒の危険性が少ないことである。

本研究は、40例の開胸手術患者について、術前に総合呼吸機能検査を施行後、自転車エルゴメーター法で心電図、観血的血圧モニター下に、1分間の安静の後、3分毎に、0、30、60、90、120 watts と負荷を増量する多段階負荷法を用い、120 watts まで達しえた場合は、同負荷量のまま、symptom limited まで運動負荷試験を行った。術後合併症は心肺予備能力が低下している症例で発生しやすいという事は容易に考えられるが、この心肺予備能力を客観的に数量化でき、また術後合併症発生の予測に有用なパラメーターの検討を行ってみた。術前総合呼吸機能検査のパラメーター、FVC、%FVC、FEV_{1.0}、FEV_{1.0}%、MVV、%MVV、DLco について合併症発生群と非発生群に分け検討したところ、FVC (p<0.05)、FEV_{1.0} (p<0.01)、MVV (p<0.05)、%MVV (p<0.05)、DLco (p<0.05) の5項目に有意差を認めた。しかし、図2に見られるように、いずれのパラメーターも両群間で個々の実測値は重なりが多く見られ、ばらつきも大きい。p<0.01で有意差のあったFEV_{1.0}を例にとると、合併症発生例は、FEV_{1.0}の最高値が2.54 l で、それ以下の非発生例も含めた症例数に占める割合は37%にすぎなかったが、FEV_{1.0}の値を2.4 l を境に合併症発生率を比較すると、2.4 l 以上では17例中1例(6%)に合併症が発生し、2.4 l 以下では、23例中9例(39%)と発生率に差があり合併症の発生予測にある程度有用と思われた。他の4つのパラメーターも同様の傾向であった。開胸手術の安全基準としては、1976年 Block ら¹³⁾によると、FEV_{1.0}%>50%、FEV_{1.0}>2.0 l、%MVV>50%と報告されている。一方、原ら¹⁴⁾は、術前%VC、FEV_{1.0}%、 \dot{V}_{25} およびPaO₂と術後呼吸困難との関連は、見だせなかったと報告している。

運動負荷試験成績で合併症発生群と非発生群

の間に有意差の認められたのは、 $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}CO_{2max}$ 、PaO_{2max} の3項目であった。合併症発生例の $\dot{V}O_{2max}$ 値は1189ml/min以下であり、 $\dot{V}O_{2max}$ 値1100ml/minを境に症例をわけて、合併症発生率を比較してみると、1100ml/min以下では合併症の発生は25例中9例(36%)で、1100ml/min以上では15例中1例(7%)にすぎず合併症の発生予測に有用と考えられた。 $\dot{V}O_{2max}$ /体重は、Smith ら⁸⁾の報告では、 $\dot{V}O_{2max}$ /体重が、20ml/min/kg以下のとき術後合併症が多いとのことであるが今回の検討では合併症発生群の $\dot{V}O_{2max}$ /体重は非発生群よりもやや低値ではあったが有意差は認めなかった。 $\dot{V}CO_{2max}$ は1300ml/minを境に合併症発生率を比較すると、1300ml/min以下では、21例中9例(42%)にみられ、1300ml/min以上では19例中1例(5%)にすぎなかったが $\dot{V}O_{2max}$ とくらべ数値にばらつきが大きく合併症発生群の最低値をかなり下回る例が非発生群に2例みられた。運動負荷試験において $\dot{V}CO_{2}$ 値は $\dot{V}O_{2}$ 値とほぼパラレルに変動するので $\dot{V}O_{2}$ と同様の意義を持つと思われる。

$\dot{V}O_{2max}$ は、耐運動能の良い指標として知られ運動負荷試験の限界の基準とされており、運動生理学的に心肺予備能、いわゆる“体力”と相関が最も高いとされている¹⁵⁾。また $\dot{V}O_{2max}$ は、肺活量、全肺気量、Hb値、血液量、心容積、筋肉量などに影響され、最大換気量、肺拡散能、心拍出量、組織拡散能などの機能にも影響される¹⁶⁾。著者が行った運動負荷試験では、自転車エルゴメーターを用いたが、運動中断理由は、ほとんどが呼吸困難と下肢疲労であり、全例が、真の $\dot{V}O_{2max}$ には、達しているとは思われないが、中断時点が個々における最大の運動能力、心肺予備能力を反映するものと考えた。

$\dot{V}O_{2max}$ の20歳日本人男性の平均は約2800ml/min。60歳男性では、約1800ml/minとされている¹⁷⁾。 $\dot{V}O_{2max}$ 値が1100ml/minというのは平均と比して明らかに低く心肺予備能力が低下しているものと考えられる。

運動負荷前後のPaO₂の変動を検討すると合併症発生群では、80.4±9.7 mmHgが73.9±14.2 mmHgと低下し、非発生群では、84.4±14.1

mmHg が 90.5 ± 13.5 mmHg に増加した。PaO₂ max は、合併症発生群の方が有意に低値であり最大負荷時においてガス交換能の低下が示唆された。しかし、個々に変化を検討すると非発生群にも約半数に負荷後 PaO₂ の軽度の低下が見られ一定の傾向はないが、合併症発生例の中に運動負荷前後で PaO₂ 値が 78.5 mmHg から 52 mmHg と極端に低下した例があり、術後に無気肺を併発した。運動負荷後の PaO₂ max が、極端に低下する例には術後管理に注意が必要と思われた。PaCO₂ 値は、負荷前後において両群間に有意差はなかった。乳酸値の変化は負荷後において両群とも同程度に増加した。

$\dot{V}O_2$ max と術前総合呼吸機能検査の主なパラメーターとの相関をみると MVV は 0.67, FEV_{1.0} は 0.66, FVC は 0.59, DLco は 0.57 とよく相関しており $\dot{V}O_2$ max の特性が理解でき、総合的な内容をもつパラメーターと思われた。術前 FEV_{1.0} 値と $\dot{V}O_2$ max 値を用い合併症発生例と非発生例を図示する (図 6)。FEV_{1.0} 値 2.4 l 未満かつ $\dot{V}O_2$ max 値 1100 ml/min 未満における合併症発生率は、18 例中 8 例 (44%) であり、個々

のパラメーターを用いたときよりも発生率が高く、このように、 $\dot{V}O_2$ max と他のパラメーターとの組み合わせにより術後合併症の発生子測がより正確になり合併症対策に役立つ事が期待される。

術後の総合呼吸機能検査の結果では、被検者 12 例のすべてが肺切除後であり、%FVC, MVV, DLco の値が有意に低下した事は、肺容量減少の結果として容易に理解できる。

術後の運動負荷試験では、 $\dot{V}O_2$ max, $\dot{V}E$ max, H.R. max, $\dot{V}O_2$ max/H.R. max の値が有意に低下したことは、術後遠隔期における耐運動能と心機能の低下すなわち心肺予備能力の減少が示唆された。

結 論

1. 開胸手術患者 40 例に対し、術前に総合呼吸機能検査と自転車エルゴメーター法による運動負荷試験を行った。
2. 術後合併症の発生は、40 例中 10 例 (25%) にみられた。
3. 運動負荷試験の結果、合併症発生群と非

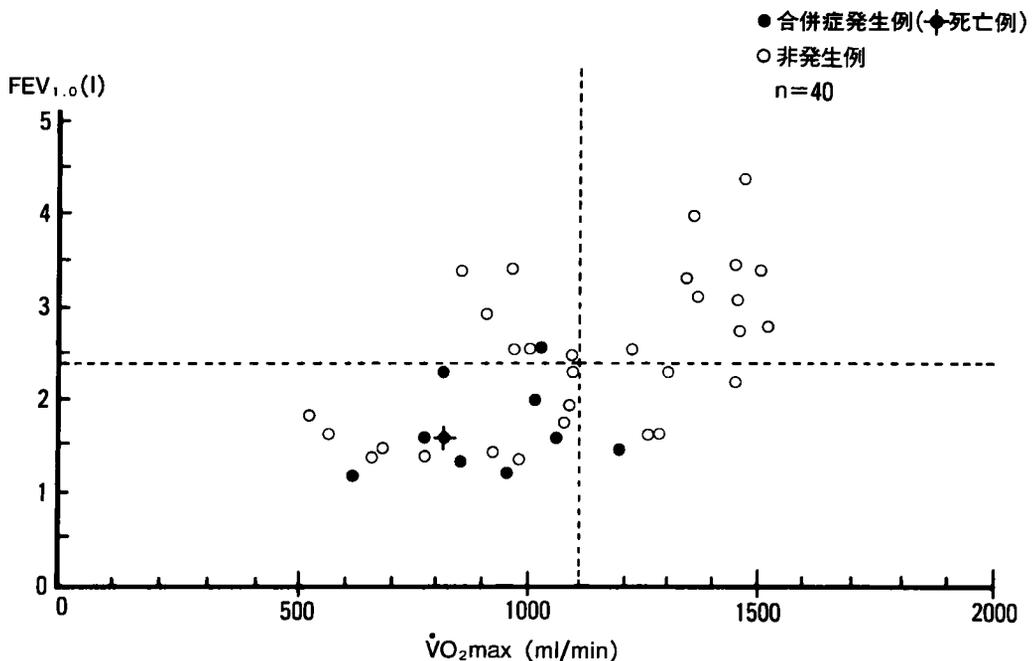


図 6 術後合併症と FEV_{1.0}, $\dot{V}O_2$ max との関係

発生群の間に $\dot{V}O_2\max$, $\dot{V}CO_2\max$, $PaO_2\max$ において有意差を認めた。

4. 術前の $\dot{V}O_2\max$ 値 $1100\text{ml}/\text{min}$ 未満, かつ $FEV_{1.0}$ 値 2.4 l 未満の例に術後合併症が多く発生した。

5. 術後遠隔期に12例の患者に運動負荷試験を行った結果, 耐運動能が低下しており心肺予備能力の減少が示唆された。

稿を終わるに臨み, ご指導, 御校閲を賜った, 寺本 滋教授に厚く御礼申し上げるとともに, 直接御指導, 御助言を頂いた, 清水信義助教授に深謝いたします。

本論文の要旨は, 1985年8月第4回国際肺癌学会(トロント), 同年10月第38回日本胸部外科学会総会(福岡)で発表した。

文 献

- 1) 山村秀夫, 仲田 祐: 術前術後の合併症マニュアル; 第5巻 肺・気管支・縦隔, 日本メディカルセンター, 東京 (1983) pp 40—43.
- 2) Ali MK, Mountain CF, Ewer MS, Johnston D and Haynie TP: Predicting loss of pulmonary function after pulmonary resection for bronchogenic carcinoma. *Chest* (1980) **77**, 337—342.
- 3) 小西 洋: 肺癌患者における定量的肺シンチグラフィによる術後呼吸機能の予測. *日胸外会誌* (1982) **30**, 1784—1794.
- 4) 金田政徳, 竹内義広, 坂井 隆, 並河尚二, 湯浅 浩, 草川 実: 肺癌における手術による肺機能損失の術前予測についての検討. *日胸外会誌* (1984) **22**, 468—473.
- 5) Olsen GN: The evolving role of exercise testing prior to lung resection. *Chest* (1989) **95**, 218—225.
- 6) Becharad D and Westein L: Assessment of exercise oxygen consumption as preoperative criterion for lung resection. *Ann Thorac Surg* (1987) **44**, 344—349.
- 7) Olsen GN, Weiman DS, Bolton JWR, Gass GD, Mclain WC, Schoonover GA and Hornung CA: Submaximal invasive exercise testing and quantitative lung scanning in the evaluation for tolerance of lung resection. *Chest* (1989) **95**, 267—273.
- 8) Smith TP, Kinasewitz GT, Toker WY, Spillers WP and George RB: Exercise capacity as a predictor of postthoracotomy morbidity. *Am Rev Respir Dis* (1984) **129**, 730—734.
- 9) 春美健一: 循環器負荷テストの歴史; 循環器負荷試験法, 水野 康, 福田市蔵編, 診断と治療社, 東京 (1981) pp 1—23.
- 10) 戸嶋裕徳, 板家研一: Rehabilitation と循環器負荷試験; 循環器負荷試験法, 水野 康, 福田市蔵編, 診断と治療社, 東京 (1981) pp 522—552.
- 11) 飛田 渉, 滝島 任: 運動負荷試験の基礎; 循環器負荷試験法, 水野 康, 福田市蔵編, 診断と治療社, 東京 (1981) pp 150—171.
- 12) Reichel J: Assessment of operative risk of pneumoectomy. *Chest* (1972) **62**, 570—575.
- 13) Block AJ and Olsen GN: Preoperative pulmonary function testing. *JAMA* (1976) **235**, 257—258.
- 14) 原 信之, 太田満夫, 古川次男, 吉田猛朗, 井口 潔: 肺癌手術症例の術後呼吸困難に及ぼす術前, 術後因子の検討. *肺癌* (1982) **22**, 441—448.
- 15) Mitchell JH and Blomquist G: Maximal oxygen uptake. *N Engl J Med* (1971) **284**, 1018—1022.
- 16) Wasserman K and Whipp BJ: Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Resp Dis* (1975) **112**, 219—249.
- 17) 松井秀治: 運動負荷試験の基礎; 循環器負荷試験法, 水野 康, 福田市蔵編, 診断と治療社, 東京 (1981) pp 24—48.

**Evaluation of pre-and postthoracotomy exercise
tolerance test with a bicycle ergometer**

Satoru KANETO

**Second Department of Surgery,
Okayama University Medical School,
Okayama 700, Japan
(Director : Prof. S. Teramoto)**

Forty patients were subjected to multi - stage exercise tolerance tests using a bicycle ergometer prior to thoracotomy. During the test, expiratory gases were analyzed, and the arterial blood gas level and lactic acid level were studied. Postoperative complications were found in 10 of 40 cases (25%). Significant differences between patients with and patients without postoperative complications were recognized in $\dot{V}O_2\text{max}$, $\dot{V}CO_2\text{max}$ and $PaO_2\text{max}$.

Patients with a $\dot{V}O_2\text{max}$ value less than 1100 ml/min after the exercise test with a bicycle ergometer had a high risk of developing postoperative complications.

Twelve postthoracotomy patients underwent the same test. All of their $\dot{V}O_2\text{max}$ values were significantly lower than the corresponding preoperative values.