

# 第1章 CPXの目的

1

## CPXで何がわかるか、誰にできるか

### A CPXの特徴

CPX（Cardiopulmonary Exercise Training：心肺運動負荷試験）は呼気ガス分析を併用して行う運動負荷試験である。循環器臨床の現場ではランプ負荷プロトコルを用いるため、「ランプ負荷」、「運動負荷試験」そして「呼気ガス分析」の3つの特徴を有している（図1-1）。

「ランプ負荷」は徐々に負荷量が増加するため、安静時、軽労作、中等度の労作、重労働のときに血行動態や心臓の状態がどのように変わっているのかを評価することができる。

「運動負荷」は、心疾患に多い「労作時…」という活動中の症状・所見の変化を再現することができる。そのため、安静時の検査では知り得ない情報が得られる。

「呼気ガス分析」の結果には、酸素摂取に関連する呼吸機能、心機能、骨格筋機能、血

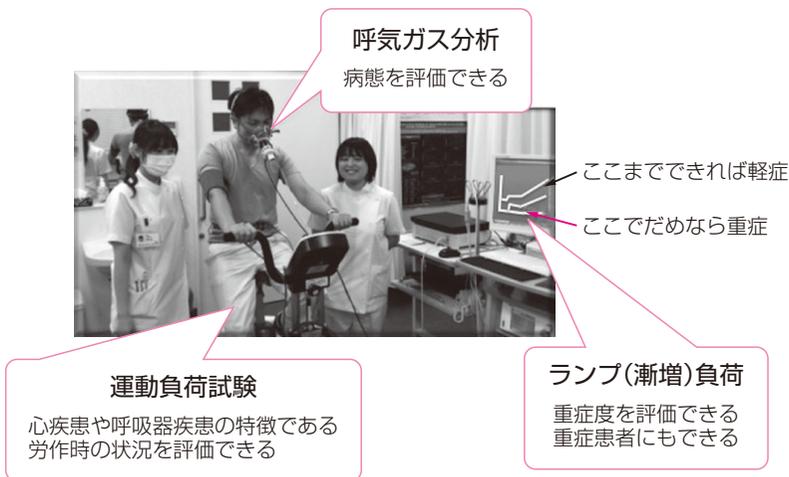


図1-1 CPXでできること

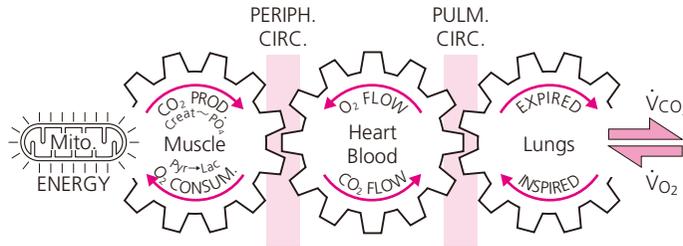


図 1-2 呼気ガス分析で得られること

呼気ガス分析ではワッサーマンの歯車で示されるごとく、呼吸機能、心機能、骨格筋機能、肺循環、体循環、血管内皮細胞機能、自律神経活性を評価することができる。  
 PULM. CIRC.: 肺循環、PERIPH. CIRC.: 末梢循環、  
 Mito.: ミトコンドリア

管内皮細胞機能、自律神経応答、赤血球機能などが関与している (図 1-2)<sup>1)</sup>。そのため、運動耐容能が評価できるのみならず、心エコーや呼吸機能検査、採血結果などと併せて解釈することで、心臓・肺・骨格筋・血管・自律神経のどこのパーツが異常なのかを考えることができる。すなわち、病態把握に有用で、治療のターゲットを絞り込むことが可能になる。

## B 他の負荷試験との相違点

運動負荷心筋シンチグラフィは心筋虚血診断率が 90%以上と虚血検出に優れた検査であるが、最大負荷をかけた場合の状況のみを評価できる。すなわち、虚血が日常活動を妨げるものであるかどうか、重症であるか否かを判断することはできない。一方、CPX をランプ負荷で行うと、心筋虚血がどの程度の日常活動レベルで発症するのかを知ることができ、その虚血を PCI (経皮的冠動脈形成術) や CABG (冠動脈バイパス術) により治療した方がよいのか、必ずしも必要ないのかを判断することができる。心筋虚血は心筋障害や不整脈発作の原因となるため治療する必要があるが、心筋虚血解除法は PCI のみではない。最大負荷をかけてやっと虚血が出現するような症例は日常生活では胸痛がでない。PCI を行ったために新たな病変を作ってしまうことが少なくないことを考えると、そのような症例では PCI は行うべきではなく、心臓リハビリテーションと薬物療法で治療することが望ましいと判断できる。

心エコーは心機能と心形態を詳細に評価できる検査である。しかし、安静臥床における検査なので、運動中にも同じ状況であるかどうかは保証されない。また、座位や立位での状況も知り得ない。心疾患は労作時の症状が主であるため、心エコーのみで病態を判断することはできない。また、心エコーは骨格筋や血管を含めた全身の状態を知ることはできないので、予後判定・重症度評価には不向きである。

この点については、心筋代謝や心筋交感神経活性を評価する BMIPP や MIBG などの心筋シンチグラフィも同様である。これらの検査では心臓の情報が得られるのみであるため全身の状態を評価することはできない。

## C どのような患者に実施できるか

CPXは心不全の重症度で考えると、NYHA IVの患者以外、すべての患者に実施可能である。やっとNYHA IVから脱したばかりで、室内トイレ歩行が許可された患者であっても0ワット負荷は実施できる。0ワット負荷に要する酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )は2~3メッツ程度であり、室内トイレ歩行と同レベルの運動強度である。安静状態から空漕ぎを始めた時点でのパラメータの変化をみれば僧帽弁形成術やクリッピングなどの治療効果を予測することが可能である。それ以上のNYHAの場合には、通常のランプ負荷試験を実施可能である。このことを理解していれば、「この患者はまだCPXができる状況ではないからやっていません」という恥ずかしい発言をすることはなくなる。

## 2 CPX 中の測定項目

CPX中に分析する呼気ガスは酸素と二酸化炭素である。吸気と呼気に含まれるガス濃度の差を、それぞれ酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ : oxygen uptake)と二酸化炭素排泄量( $\dot{V}CO_2$ : carbon dioxide output)とよぶ。

呼気ガスの収集方法には3通りある。最も古典的なものはダグラスバッグを用いた方法で、運動中の総酸素摂取量を測定できるが、それ以外の指標がないため臨床の現場で用いられることはない。次は収集した呼気ガスを10~15L位のミキシングチェンバーに入れて、30秒や1分ごとに分析する方法である。3番目は呼吸ごとにガス分析を行う方法である。breath-by-breath法とよばれる。臨床に用いる場合にはbreath-by-breath法が望ましい。リアルタイムにガス分析が行われるため、ランプ負荷と組み合わせれば、どのような運動強度でどの程度の $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ を示すのかを評価できる。

呼気ガス分析では $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ の他、1回換気量(TV: tidal volume)と呼吸数(RR: respiratory rate)を測定している。この4項目を用いて分時換気量( $\dot{V}E$ : minute ventilation)、 $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$  vs.  $\dot{V}CO_2$  slopeなどを計算する。

さらに心電図と血圧も同時に評価するとともに、必要に応じて $SpO_2$ 測定、心拍出量・血管抵抗測定、負荷中の心エコー評価を行うこともある。

## 3 CPX の臨床応用

### A 運動耐容能評価

体全体の総合的な機能を評価したものを運動耐容能という。「耐用能」や「耐応能」ではない。指標として最高酸素摂取量(peak  $\dot{V}O_2$ : peak oxygen uptake)と嫌気性代謝閾値

(AT: anaerobic threshold), 最大負荷量 (peak work rate) を求めることができる. peak  $\dot{V}O_2$  は心疾患患者の予後の指標である<sup>2)</sup> とともに, 心臓移植の適応を決定するための必須項目である<sup>3)</sup>.

運動継続が困難になる原因には, 下肢疲労, 息切れ, 胸痛, 不整脈, 下肢痛, 血圧過上昇, SpO<sub>2</sub> 低下など様々なものがあるが, どの理由であれ実施可能であった  $\dot{V}O_2$  の最高値が peak  $\dot{V}O_2$  である. 循環器の現場ではきわめてまれであるが, 生体固有の  $\dot{V}O_2$  の最高値が示される場合がある. 生体の機能を総動員してもそれ以上  $\dot{V}O_2$  を増加させることができない状況で, この場合には最大酸素摂取量 (max  $\dot{V}O_2$ ) という. 最高値は誰が見ても 1 カ所しかないため peak  $\dot{V}O_2$  決定に関して議論が生じることはない.

一方,  $\dot{V}O_2$  と  $\dot{V}CO_2$  の平衡関係が保たれる最大の酸素摂取量を嫌気性代謝閾値 (AT) とよび, これも運動耐容能の指標である. この指標は, 被験者の意思でコントロールすることはできない. しかし, AT と考えられる点は何カ所も出現することがあり, 決定が困難なことはある. 通常, peak  $\dot{V}CO_2$  と AT は良好な相関関係を示す.

peak  $\dot{V}O_2$  と NYHA 心機能分類との間には図 1-3 に示すような関係がある<sup>4)</sup>. NYHA 心機能分類は患者がどの程度動けるかという観点に注目しているため, CPX から得られる

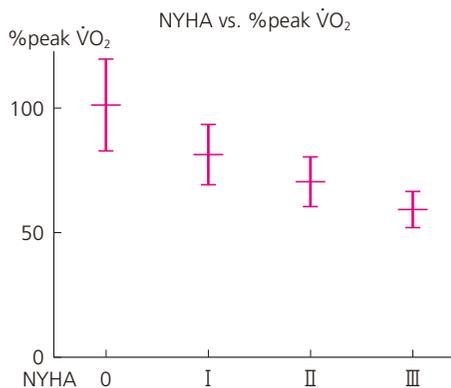
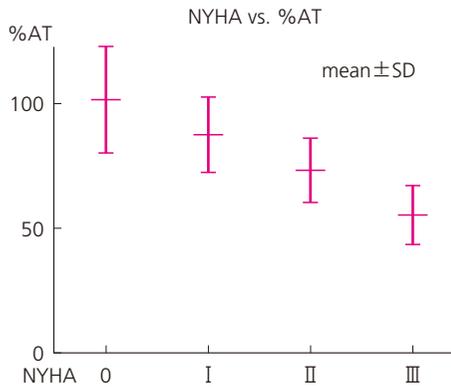


図 1-3 AT, peak  $\dot{V}O_2$  と NYHA との関係

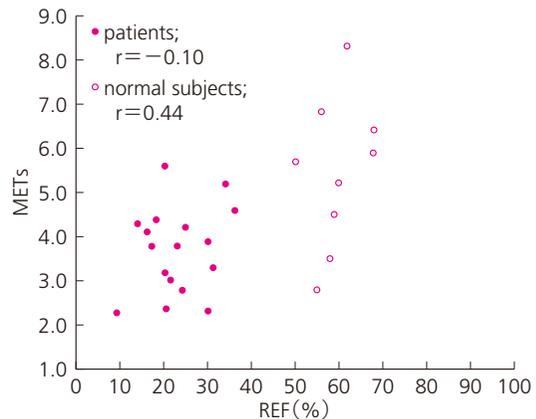


図 1-4 peak  $\dot{V}O_2$  (METs) と EF との関係

表 1-1 CCS 分類

クラス	状況
クラス I	日常生活では制限されない。通常の歩行や階段上昇では狭心発作を起こさない。仕事やレクリエーションで、活動が激しいか、急か、または長引いたときには狭心発作を生じる。
クラス II	日常の身体活動はわずかながら制限される。急ぎ足の歩行または階段や坂道、あるいは食事や寒冷、強風下、精神緊張下または起床後 2 時間以内の歩行または階段上昇により発作が起こる。または 2 ブロック (200 m) を超える平地歩行あるいは 1 階分以上の階段上昇によっても狭心発作を生じる。
クラス III	日常活動は著しく制限される。普通の速さでの 1~2 ブロック (100~200 m) の平地歩行や 1 階分の階段上昇により狭心発作を起こす。
クラス IV	いかなる動作も症状なしにはできない。安静時にも狭心症状をみることがある。

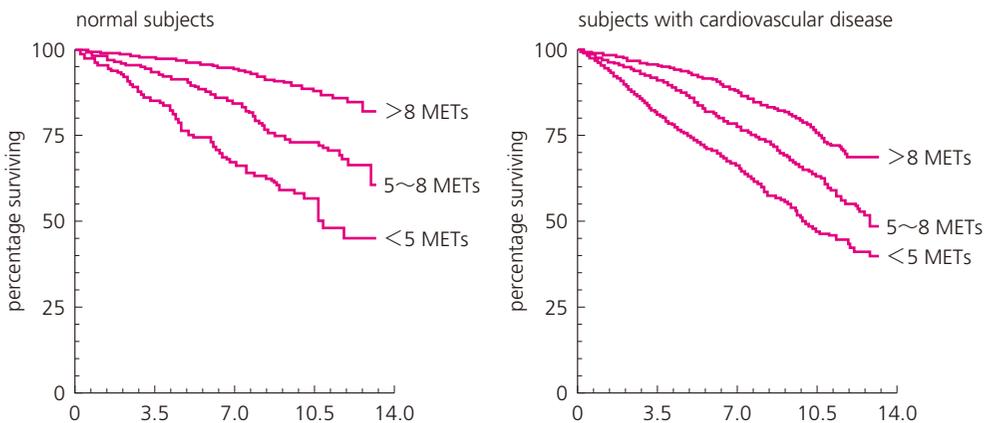


図 1-5 運動耐容能と予後  
1 メッツ増加すると死亡率は 14%低下する

運動耐容能の指標と関係するのは当然であるが、CPX では NYHA 分類よりも客観的である点と数値化できる点が優れている。

一方、心機能の指標である LVEF は運動耐容能と相関を示さない (図 1-4)<sup>5)</sup>。心機能という体のパーツの 1 つの機能が低下しても体全体の機能には影響を及ぼさないことが多いからである。その意味では、運動耐容能は心臓交感神経活性の指標である MIBG とも相関せず、また胸痛の起こりやすさの指標である CCS 分類 (表 1-1) とも相関関係は示さない。胸痛は必ずしも心ポンプ機能と関連せず、さらに、関連したとしても運動耐容能と関連しないことが多いからである。

運動耐容能は寿命に大きな影響を及ぼす (図 1-5)<sup>6)</sup>。心機能が低下しても骨格筋機能を改善させれば予後は改善する。そのため、心機能の指標である左室駆出率 (EF) は心移植適応の根拠にはならず peak  $\dot{V}O_2$  が判定基準に含まれている<sup>3)</sup>。

6 分間歩行距離と peak  $\dot{V}O_2$  との関連は図 1-6 に示すごとくである<sup>7)</sup>。6 分間歩行負荷試験は、可能な限り速く歩くことが原則であるため最大負荷に近い亜最大運動負荷試験である。したがって、単純に最大運動能力の観点から運動耐容能を評価するのであれば 6