

第1章 CPXの目的

1

CPXで何がわかるか、誰にできるか

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。「運動負荷試験」により得られる知見と、「呼気ガス分析」により得られる知見を併せて評価することができる。さらに「ランプ負荷試験」を用いることで、運動強度別の生体応答を知ることができる。心臓のみ、肺のみ、血管のみを評価しているのではなく全身の総合的な機能を評価するので、ひとつの臓器の不具合がどの程度全身の機能に影響を及ぼしているのかを知ることができる。CPXの特徴は図1-1のごとくである。

呼気ガス分析により得られるものは図1-2¹⁾に示すごとく、骨格筋機能と代謝の状態、心機能、呼吸機能、末梢循環、肺循環、自律神経機能、酸素運搬に関わる血液成分の状況である。また、ガス分析の他に呼吸の速さや深さも測定しており、これは心不全の病態把握時に有用である。

ランプ負荷により得られるものは、どの程度の運動強度のときにどのように異常な病態が生ず

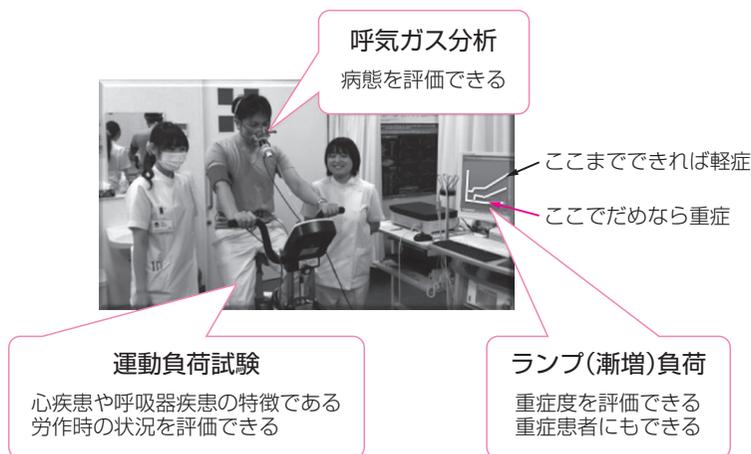


図1-1 CPXでできること

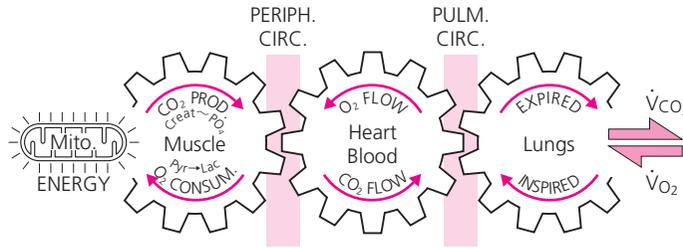


図 1-2 呼吸ガス分析で得られること

呼吸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

るかを評価できることである。すなわち、異常が出現するのが日常活動レベルであるのか、あまり必要とされないくらい高強度の活動レベルなのかを知ることができる。

運動負荷のメリットは、いうまでもなく安静では得られない情報が得られることである。心疾患の多くは労作時にさまざまな症状を訴える。

CPX と他の負荷試験との相違点は以下のとおりである。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がわかるのみで、どの程度の運動強度で虚血が生じるかを評価することはできない。すなわち、出現した虚血が重症であるの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) により治療したほうがよいのか、必ずしも必要のない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のであるから、PCI ではなくじっくりと心臓リハビリテーションで治療するべきである。

心エコーは安静臥位での心機能を詳細に評価できる検査であるが、運動中にどのように心機能に変化するのかを評価することはできない。坐位や立位での状況も知りえない。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、心エコーは全身状態を知ることはできないので、予後判定・重症度評価などには不向きである。

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、心疾患を全身の状態から評価することはできない。

CPX は安静でも症状のある NYHA IV の患者を除いて誰でも実施可能である。安静時から 0 ワット負荷の自転車漕ぎのときのパラメーターの変化から予後や治療効果を予測することもできる。0 ワット負荷に要する酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) は 2 メッツ程度であり、室内トイレル歩行と同レベルの運動強度である。すなわち、その程度の日常活動が許可されている患者であれば CPX にて病態を評価して適切な治療方針を決定できるのである。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」という少し恥ずかしい発言をすることはなくなる。
以上、CPX ができることを表 1-1 に示す。

表 1-1 CPX ができること

重症度診断
病態把握
治療方針の決定

2 CPX 中の測定項目

CPX 中に分析する呼気ガスは、通常、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) とよばれる。

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。次はミキシングチェンバーを用いたもので、呼気ガスを 10~15 L くらいの容量の箱に集め、30 秒や 1 分ごとに測定する方法である。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 $\dot{V}CO_2$ のほか、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 (VE, 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。心拍数と $\dot{V}O_2$ から酸素脈 ($\dot{V}O_2/HR$, O_2 pulse) を求める。

その他、必要に応じて SpO_2 測定、心拍出量・血管抵抗測定、心エコーを運動中に実施することもある。また、同時期に行われた呼吸機能検査や安静時心エコー、冠動脈造影検査なども参考にする。

3 CPX の目的

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。心疾患は労作時に症状が出現することが多いため、運動耐容能の評価は循環器疾患を管理するうえで重要な検査である。CPX では運動耐容能の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。

酸素摂取量の観点からは、peak $\dot{V}O_2$ が最も卓越した運動耐容能の指標である。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_2 低下などさまざまであるが、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稀であるが、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。最高値は誰がみても 1 カ所しかないため peak $\dot{V}O_2$ 決定に関して問題が生じることはない。

一方、「実施が可能か否か」という観点ではなく、 $\dot{V}O_2$ 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とよび、これも運動耐容能の指標である。最大負荷を要さないため危険性はほとんどない。しかし、AT と考えられる点は何カ所も出現して決定が困難なことがあり、AT の問題点である。

最近では $\dot{V}E$ と $\dot{V}CO_2$ の関係性を表した $\dot{V}E$ vs. $\dot{V}CO_2$ slope を運動耐容能の指標とすることもあるが、換気血流不均衡分布の影響が主で骨格筋の影響が少ないため、運動耐容能と表現するには問題があると思われる。

運動耐容能の指標を表 1-2 に示す。

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²⁾。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 分類よりも客観的に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)³⁾。心機能という体のパーツのひとつの因子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、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 1-3) 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)⁴⁾。心機能が低下しても骨格筋機能を改善させれば予後は良好である。そのため、心機能の指標である左室駆出率 (EF) は心移植の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のである⁵⁾。

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⁶⁾。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 分間歩行負荷試験でも事足りるが、AT や $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ などの他の重要な指標を評価することはできず病態を評価することはできない。

表 1-2 運動耐容能の指標

peak $\dot{V}O_2$
anaerobic threshold
minimum $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$
 $\dot{V}E$ vs. $\dot{V}CO_2$ slope
peak work rate

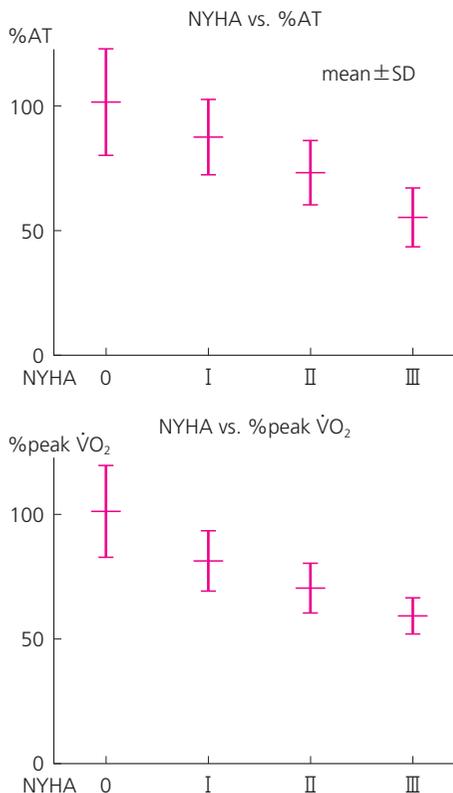


図 1-3 AT, peak $\dot{V}O_2$ と NYHA との関係

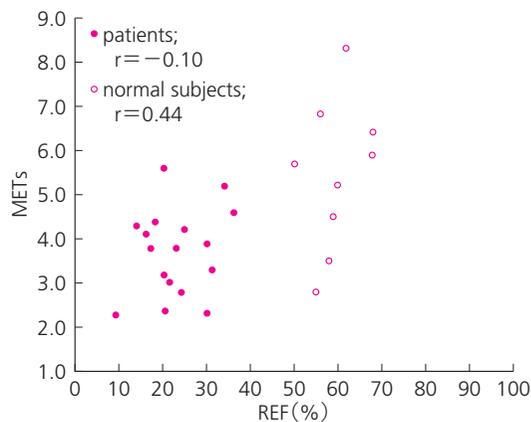


図 1-4 peak $\dot{V}O_2$ (METs) と EF との関係

表 1-3 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、急が、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。

B 運動処方作成・日常活動指導

運動療法は心臓リハビリテーションの柱のひとつである。運動療法を安全に実施し、かつ有効なものにするために、運動処方の作成は重要である。

おもな運動療法として有酸素運動と抵抗運動がある。有酸素運動の運動処方作製法はいくつかあるが、最も正確に決定できるのは CPX である。CPX を用いて AT を求め、その時点で SpO_2 低下、血圧過上昇、心筋虚血、危険な不整脈などが無いことを確認後、AT