

心肺運動負荷試験

A 準備

運動処方において、心肺運動負荷試験（cardiopulmonary exercise testing ; CPX）は欠かせない検査となっている。CPXは呼気ガス分析を併用して行う運動負荷試験で、活動筋での酸素利用および酸素輸送能（呼吸・循環・代謝）の総合的な評価が可能である。多くの情報が得られる検査であることから『難しい検査』と思われがちであるが、基本的な仕組みは意外に単純である。単純ではあるが正確かつ安定したデータを得るために、さらに得られたデータが適正であるかを見極めるためには測定機器の特徴および特性を理解することが重要である。何より被検者の快適性と安全を確保するために検査室の環境と設備、そして危機管理を充実させることが重要である。CPXを行う上で最低限必要な知識（表1-1）を示す。CPXの全容をイメージするために実際の手順（表1-2）を示し、詳細については後述する。

表 1-1 運動負荷試験担当者に必要な知識

- 運動負荷試験の適応と禁忌
- 運動負荷試験の中止基準
- 負荷試験の合併症
- 運動負荷試験プロトコール
- 運動生理学，運動負荷に対する生理的応答
- 不整脈と対処方法
- 心血管系に作用する薬物，運動負荷応答への関与
- 年齢，疾患が運動負荷におよぼす影響
- 心肺蘇生法

2 1. 心肺運動負荷試験

表 1-2 全体の流れ

①患者への説明（予約時）	検査目的・危険性（同意書） 検査日の注意事項
②測定機器の準備	流量計・ガス分析計の較正 点検項目のチェックと記録
③簡単な問診	最近の体調，運動習慣，服薬内容など
④検査の具体的な説明	被検者の理解度に合わせたより具体的な説明
⑤プロトコルの選択	負荷様式・負荷強度の選択
⑥装着・準備	ECG 電極・カフ・マスクの装着状態を確認
⑦負荷前の注意	安静時データの確認
⑧負荷中の注意	呼気ガスデータの確認 ECG, BP の確認 中止徴候出現の確認（常に緊急事態を想定）
⑨リカバリーの注意	ECG, BP の確認 被検者の状態を確認（常に緊急事態を想定）
⑩検査終了	

1 CPX の目的・適応

Exercise Lab キーワード

正確な運動処方 安全レベルの把握 運動耐容能 心不全重症度
症状の原因検索

CPX は運動処方の作成のほか，運動中の心機能の精査，息切れの精査など臨床現場では様々な目的で行われている（表 1-3）．CPX を行うことで日常生活のどの程度の活動レベルで危険な状態になるか把握でき，生活指導に役立つ．また，運動耐容能や心不全重症度，予後の指標にもなり，病態生理からみた症状の原因検索にも有用である．CPX は医師やスタッフの見守る中で症候限界まで負荷することで運動に対する不安感を払拭するといった効果もある．参考に米国胸部疾患学会/米国胸部内科学会から示された CPX の適応を示す（表 1-4）．

2 検査室の環境

Exercise Lab キーワード

快適性 リラックス 安心感

表 1-5 に運動負荷検査室の環境についてまとめた．運動負荷検査室は，採光が十分で清潔かつ換気がよく，温度と湿度がコントロールされていなければならない．温度，湿度は運動負荷試験の結果に影響を与え，15℃以下の低温になると不整脈の出現が増加する．心拍数，血圧，酸素摂

表 1-3 CPX の目的

目的	測定項目
運動処方作成	嫌気性代謝閾値 (AT) 虚血閾値 不整脈閾値
運動耐容能評価	心不全重症度
心機能精査	拡張機能障害 僧帽弁逆流増悪 負荷による二次孔・卵円孔開存
息切れ精査	換気モード (TV/RR スローブ) 呼吸予備能 (MVV-peak \dot{V}_E , IC-peak TV) \dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2} peak Ti/Ttot

表 1-4 CPX の適応 (米国胸部疾患学会 / 米国胸部内科学会)

<ul style="list-style-type: none"> ● 運動耐容能の評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ 機能障害の判定 (酸素摂取量) ・ 運動制限因子と病態生理学的メカニズム ● 運動制限のある患者の鑑別診断 <ul style="list-style-type: none"> ・ 心疾患と肺疾患の共存する例での主たる制限因子の決定 ・ 安静時の検査所見と運動時の症状が一致しない場合 ・ 初回の肺運動負荷試験で確定診断できなかった例が呼吸困難を訴えた場合 ● 心血管疾患の評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ 心機能分類と予後 ・ 心臓移植適応決定 ・ 運動処方と心臓リハビリテーションのために評価 ・ ペースメーカの評価 ● 呼吸器疾患患者の評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ 機能的障害の評価 ・ 慢性閉塞性肺疾患 ● 他の運動制限決定因子の評価 (潜在性心臓病など) <ul style="list-style-type: none"> ・ 低酸素血症の評価と酸素処方 	<ul style="list-style-type: none"> ● 標準的な肺機能検査で十分な治療効果が判定できない時の客観的評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ 間質性肺疾患 <ul style="list-style-type: none"> 初期のガス交換異常の所見 全体的ガス交換の評価とモニタリング 低酸素血症の評価と酸素処方 主たる運動制限因子の決定 薬物治療による副作用 ・ 肺血管疾患 ・ 嚢胞性線維症 ・ 運動誘発性気管支攣縮 ● 特定の臨床応用 <ul style="list-style-type: none"> ・ 手術前の評価 <ul style="list-style-type: none"> 肺切除手術 高齢者での開腹手術 肺気腫, 肺切除術 ・ 呼吸器リハビリのための運動の評価と処方 ・ 障害・損傷の評価 ・ 肺, 心肺移植のための評価
--	--

取量 (\dot{V}_{O_2}) なども温度により異なった反応を示す¹⁾。また、湿度が60%を越えると心血管系の反応も変化しやすくなり、高温多湿になると最大運動能力が低下する²⁾。よって検査室の温度は20~25℃、湿度は40~60%くらいに設定するのが望ましい。

4 1. 心肺運動負荷試験

表 1-5 検査室の環境

十分な採光および換気
室内温度：20～25℃
室内湿度：40～60%
救急機器，薬剤，対応マニュアル
救急処置が行える十分なスペース（搬送経路）

表 1-6 救急機器

除細動器（携帯型）
酸素ボンベ（できれば搬送のため携帯型）
鼻カニューラ，ベンチマスク，非再呼吸式マスク，酸素マスク
エアウェイ（口咽頭）
Ambu bag [®]
注射器と針
点滴チューブ類，輸液スタンド
接着テープ
吸引装置および用品

表 1-7 救急薬剤および輸液

必要な薬剤	
アトロピン	エピネフリン
イソプロテノール	プロカインアミド
リドカイン	ベラパミル
アデノシン	ドーパミン
舌下ニトログリセリン	ドブタミン
静注液	
生理食塩水	5%糖液
任意品目（各施設による）	
硫酸モルヒネ	炭酸水素ナトリウム

運動負荷試験における危険のリスクは患者の背景によって異なるが，日本心電学会小委員会のまとめでは，運動負荷試験中の死亡事故は1/264,000，除細動器使用は1/57,000，心筋梗塞発症などによる緊急入院は1/43,000にのぼるとされている³⁾。

緊急時に備え，検査室のレイアウトはスタッフの動線や患者の搬送を考慮し，負荷装置の周辺には救急処置のできる十分なスペースを確保する。また，救急機器（表1-6），緊急事態に使われる薬剤（表1-7）を常備し，定期点検を怠らない。スタッフには緊急時の対処方法を周知し，定期的にトレーニングを実施する。また，遭遇したときに慌てないよう対処の手順書（表1-8）を掲示しておくとうい。

表 1-8 事故が起きたときの対応マニュアル

- 担当者は落ち着いて周りの人に応援を求める
- 応援者は近くの医師の応援を頼む（適切な担当医師の連絡先を把握）
- 応援者は救急カートを準備する
- 応援者は主治医に連絡する
- 担当者は検査記録中であれば患者の様子を観察しながら検査記録をとる
- 患者の処置を行った場合には記録に残しておく
- 事故が起こったことを組織の上司にレポート報告して記録に残す

3 呼気ガス分析装置の原理

Exercise Lab キーワード

測定原理 breath-by-breath 流量計 酸素分析計 二酸化炭素分析計

◇ 自施設で使用している測定機器の種類を確認すること、その特徴を理解することが重要。

一般に心肺運動負荷試験を行うときには、連続呼気ガス分析装置を使用する。ガス分析装置の測定モードには、breath-by-breath 法と mixing chamber 法があり、各々の特徴がある（表 1-9）。mixing chamber 法は、ある容量の chamber に呼気ガスを採取して十分に混合し、ガス分析を行う方法で、chamber 容量に対応する呼吸数の平均ガス濃度が測定されることになる^{4,5)}。steady state を前提とすれば mixing chamber 法が価格や安定性の面で適しているが、steady でない状態では誤差が大きくなり、測定値の信頼性はきわめて低くなる。mixing chamber 法は体力測定や運動処方において、一定時間内の \dot{V}_{O_2} 、 \dot{V}_{CO_2} を知るうえでは有用であるが、AT や換気応答を見る場合には breath-by-breath 法が必須となる。現在、運動処方（AT 処方）を目的とする心肺運動負荷試験のほとんどは breath-by-breath 法が用いられている。

a) 呼吸流量計

流量計には幾つかの原理が用いられており、表 1-10 に各々の長所と短所を示す。国内メーカーでおもに採用されているのは差圧流量計（ニューモタコメータ）と熱線流量計である。前者

表 1-9 breath by breath 法と mixing chamber 法の比較

	breath by breath 法	mixing chamber 法
長所	<ul style="list-style-type: none"> ● 負荷量の変化に速やかに応答 ● 蛇管、バルブが不要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 安価 ● 技術的に最も容易 ● 測定値が安定
短所	<ul style="list-style-type: none"> ● 高速センサーが必要 ● 時間ズレの正確な補正が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 速い変化は検出不能 ● \dot{V}_{O_2}、\dot{V}_{CO_2} の時間遅れ ● 蛇管、バルブが必要