CPX・運動療法ハンドブック 改訂5版

心臓リハビリテーションのリアルワールド

［編著］安達 仁
群馬県立心臓血管センター 心臓リハビリテーション部長/副院長

中外医学社

改訂５版の序

CPX・運動療法ハンドブック初版が2009年に出版され，すでに14年が経過しました．その間，学会や論文でCPX関連の報告を多数行い，CPX関連の講習会も何回も開催し，CPXの発展と普及に努めてまいりました．その結果，最近では，少なくともCPXという検査名を知らない医療者は減少し，だいぶ普及してきたと思っております．

心臓リハビリテーション学会のガイドラインでも，運動療法実施前にCPXを実施することが推奨されています．実際に，CPXを用いて運動処方を作成したり，高強度運動を実施する際や重症心不全に運動療法を実施する際に運動の安全性を確認したりする施設が増えております．また，CPXの結果を生活指導に活かしているという施設も増加しています．最近では，CPXは心臓リハビリテーションに欠かせないツールになったと思います．

しかし，CPXはパラメータが多く，また，データを理解するためには運動生理学や循環動態を理解している必要があります．そのため，CPXを勉強しようとすると，これらの理解を要求され，その時点で辟易してしまい頓挫してしまうこともあるようです．心機能そのものが複雑である上に，運動という要素がからみ，それにさらに薬剤が関与してくるため，運動に対する生体の応答性は人によりさまざまになり，CPXの解釈が一筋縄ではいかなくなってしまいます．しかし，それを理解すると，途端に目の前が開けた感じで，CPXがただ運動処方を作成するためのものではなくなり，患者の病態を理解して治療方針を決定するために変わります．是非，CPXを心疾患治療に活かせるよう，理解を深めて頂きたいと思っています．

CPXは機器の校正から実施・解釈まで，様々な注意を要する検査です．しかし，CPXのデータをうまく読み解くと，すべてではありませんがかなりの数の心疾患の適切な治療方針を自信をもって決められるようになります．本書が，CPX理解の助けになればと祈っております．

最後に，CPXの祖とも言えるカールマン・ワッサーマン先生が2020年6月22日に93歳で亡くなられました．心からご冥福をお祈りします．みんなでCPXを盛り上げましょう．

2023年8月

群馬県立心臓血管センター　安達　仁

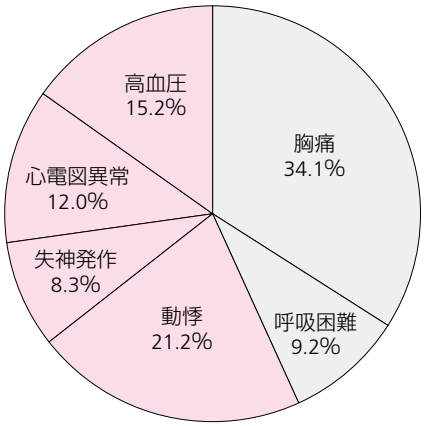


図 1-2　循環器外来の主訴
灰色部分が労作時に関係する主訴．半分弱が労作時に関係している．
（伊賀幹二，他．医学教育．1998；29：21-5）[1]

表 1-1　CCS 分類

クラス	状況
クラスⅠ	日常の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．

（Campean L. Circulation 1976；54：522-3）

表 1-2　NYHA 心機能分類

分類	状況
Ⅰ	心疾患はあるが身体活動に制限はない．日常的な身体活動では著しい疲労，動悸，呼吸困難あるいは狭心痛を生じない．
Ⅱ	軽度ないし中等度の身体活動の制限がある．安静時には無症状．日常的な身体活動で疲労，動悸，呼吸困難あるいは狭心痛を生じる．
Ⅲ	高度な身体活動の制限がある．安静時には無症状．日常的な身体活動以下の労作で疲労，動悸，呼吸困難あるいは狭心痛を生じる．
Ⅳ	心疾患のためいかなる身体活動も制限される．心不全症状や狭心痛が安静時にも存在する．わずかな労作でこれらの症状は増悪する．

（Criteria Committee of the New York Heart Association. Disease of the Heart and Blood Vessels：Nomenclature and Criteria for diagnosis, 6th edition. Little, Brown and Co., 1964：112-3）

状が出現するのかを知ることができる．すなわち疾患の重症度を評価することができる．図 1-3 に NYHA 分類と peak $\dot{V}O_2$ の関連[2] を示す．予後が悪いとされる CCS 分類 3 の虚血閾値はおよそ 4 メッツである．

「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

JCOPY 498-06746

踵をペダルの中央に置き，股関節がまっすぐ伸びるようにサドル高を調節

足の母指球をペダルの軸の直上にあわせる

次回検査時のために，サドルの高さを記録する

図 2-23　サドルの調整

上体は起こして腕を伸ばし，検査中は体勢を大きく変えないように説明する

次回検査時のために，ハンドルの高さを記録する

図 2-24　検査時の姿勢（サイクルエルゴメータ）

常者にて低強度の一定量負荷で 50，60，70 rpm で比較した場合，70 rpm が有意に高かった 図 2-25．また，AT 1 分前の負荷量で 30 rpm，60 rpm，80 rpm で比較したところ，1 例検討ではあるが，極端に遅すぎても，速すぎても VO_2 は明らかに高値を示した．30 rpm ではトルクが大きいため上半身にも力が入り酸素摂取量が増加し，80 rpm では運動筋受容反射により交感神経活動が亢進し，酸素摂取量に加え HR も上昇した可能性が示唆された 図 2-26．また，30，60，90 rpm で 20 w-RAMP 負荷を実施したところ AT までの到達時間は回転数が低いほど早く，AT 値に有意差はなかったが AT 時点での心拍数および息切れ（Borg）は回転数が高いほど大きかったとの報告もある[5]．

負荷試験中は回転数を一定に保つように説明するが，厳格すぎると回転数表示レ

JCOPY 498-06746

C AT（anaerobic threshold：嫌気性代謝閾値）

1 定義

ATは「好気的代謝に無気的代謝が加わる直前の酸素摂取量」のことである．したがって，ATは酸素摂取量のことで，AT（$\dot{V}O_2$）という表記は誤りである．

図5-1に示したごとく，中等度運動レベルまで，血液中のグルコースは有酸素的な代謝が優先される．しかし，運動によるATP必要量が有酸素的供給能力を上回ると嫌気的ATP産生が加わり始める．

嫌気的ATP産生ではピルビン酸から乳酸が産生されるが，乳酸による産生を緩衝するために腎臓からH_2CO_3が分泌される．その結果CO_2が産生されて呼気として排出される．すなわち，有酸素運動で1 molのグルコースと6 molの酸素から6 molの二酸化炭素が産生され，$\dot{V}O_2$と$\dot{V}CO_2$が1対1であったのに対して，嫌気的代謝が加わると$\dot{V}O_2$対$\dot{V}CO_2$が1対1以上になる．この現象をCPXのいろいろなパラメータで評価してATを決定する．

2 AT決定法

ATの決定法は以下のごとくである 表5-2．

①$\dot{V}O_2$，$\dot{V}CO_2$，$\dot{V}E$のトレンドグラフで，$\dot{V}CO_2$と$\dot{V}E$の傾きが急峻になり始める点 図5-11．

②$\dot{V}O_2$と$\dot{V}CO_2$の関係図（V-slope法，図5-12で，$\dot{V}O_2$に対して$\dot{V}CO_2$が増加し始め，45度のラインよりも急峻になり始める点．

AT以下のslopeをslope1（S 1），AT以後をslope 2（S 2）とよぶ．乳酸産生量が多いとsloe 2の角度は急峻となる．

表5-2　AT決定法

1　$\dot{V}CO_2$，$\dot{V}E$が$\dot{V}O_2$から乖離して上昇を開始する点
2　V-slope法にてslopeが45度以上になり始める点
3　$\dot{V}E/\dot{V}O_2$の上昇開始点
4　R上昇開始点
5　$P_{ET}O_2$上昇開始点
参考にするポイント
・peak $\dot{V}O_2$の60%位（peak R＞1.10の場合）
・V-slopeでドットが疎になる点
・呼吸数が増加を開始する点（RR threshold）

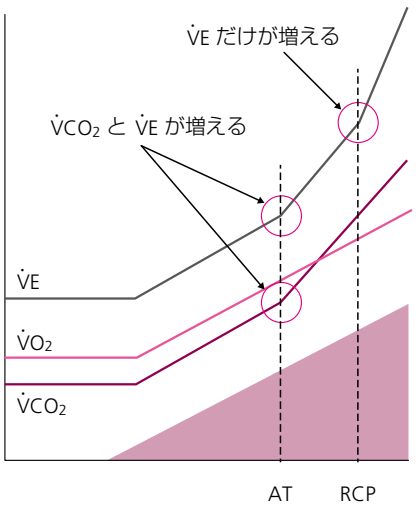


図5-11　$\dot{V}O_2$，$\dot{V}CO_2$，$\dot{V}E$のランプ負荷中の変化

JCOPY 498-06746

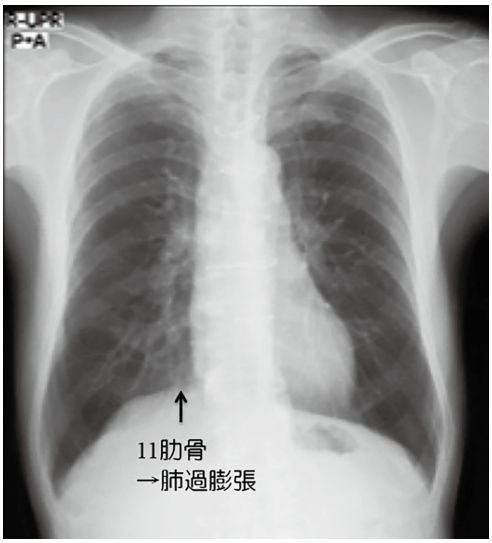


図 9-22 胸部 X 線
第 11 肋骨が横隔膜上に観察され，肺の過膨張が示唆される．

表 9-7 呼吸機能検査

項目		実測値	予測値
% VC	(%)	102	
TV	(L)	1.25	
ERV	(L)	0.82	1.26
IRV	(L)	1.26	
IC	(L)	2.51	
FVC	(L)	3.15	3.25
$FEV_{1.0G\ (\%)}$	(%)	78.4	
$FEV_{1.0T\ (\%)}$	(%)	74.2	
MVV		90.9	87.6

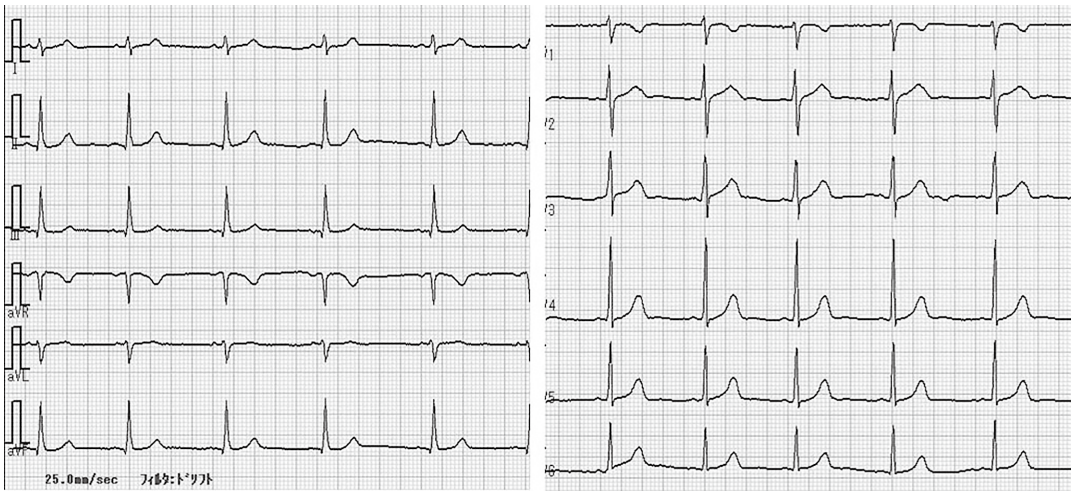


図 9-23 心電図
心拍数は正常範囲内．軸は 90 度．洞調律．I 誘導の voltage が小さく，aV_L の T 波が陰転していれば 6 時 30 分 30 秒症候群である．II 誘導の P 波高は正常範囲内．

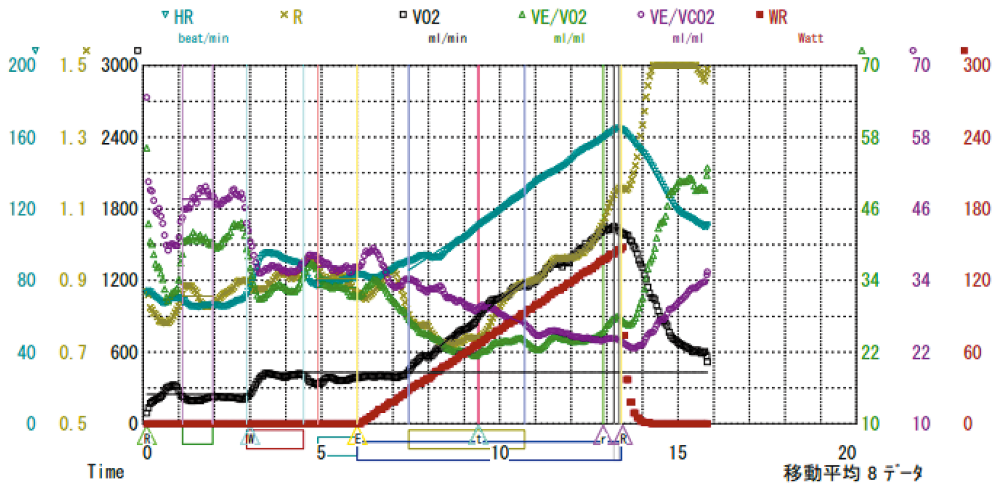
いるが，3 枝全体に 50％前後の動脈硬化病変があり，バイパス吻合部の細い枝にも有意狭窄が認められた．心エコーでは EF は 50％，後壁の一部に asynergy があり，軽度の MR を有している 図 9-29．β 遮断薬は服用していない．

息切れを生じる可能性のある病態として狭心症，肺気腫，僧帽弁閉鎖不全症がありそうである．順番に何が原因か見てみよう．

CASE 1 ▶低体重健常者：20 歳代女性　150 cm，45 kg 図 11-1，図 11-2

特記事項なし．学生．

[解釈] 運動耐容能は peak $\dot{V}O_2$ 36.3 mL/分/kg，同性同年比 123％と良好な値を示している．体重が低く mL/分/kg 換算ではやや大きめの値をとるが，体重補正を行っても peak $\dot{V}O_2$ は良好である（体重補正 peak $\dot{V}O_2$ 112％）．運動中の O_2 pulse は panel 2 の通り AT 以降にやや増大不良となるが，漸増負荷試験中増大は継続している．心拍応答も良好である．換気効率もまた良好である．Peak $ETCO_2$ 7.41％，peak WR 145 watts（予測 WR の 137％）と良好な下肢筋力の値も認めており低体重の若年健常者と考えられる．



	Rest	WU	AT	RCP	Peak
HR/分	66	80	110	160	164
$\dot{V}O_2$, mL/kg/分（%）			20.0（116）	36.4	36.3（123）
Load, watt	0	0	66	138	145
Minimum $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$	23.8		$\dot{V}E$ vs $\dot{V}CO_2$ slope		21.0
Peak $\dot{V}O_2$/HR（%）	9.9（120）		$\Delta\dot{V}O_2/\Delta WR$		10.6
			Peak R		1.15

図 11-1　CASE 1：低体重健常者

図 13-1-2　ウォーミングアップ

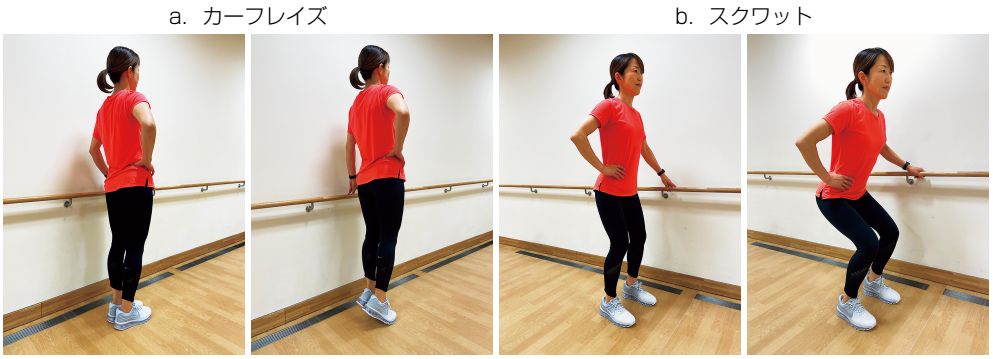


図 13-1-3　ウォーミングアップ（バランス機能が悪い場合）

JCOPY 498-06746