

L'épreuve d'effort cardiorespiratoire *en poche*

Pr Pierre Gibelin
Coordinateur de l'ouvrage

Pr François Carré
Dr Didier Scarlatti



INDISPENSABLE POUR LE CARDIOLOGUE,
LE PNEUMOLOGUE, LE MÉDECIN DU SPORT ...

MED-LINE
Editions



L'épreuve d'effort cardiorespiratoire en poche

Pr Pierre Gibelin
Coordinateur de l'ouvrage
Pr François Carré
Dr Didier Scarlatti



Prévention + Recherche
Association reconnue d'utilité publique

MED-LINE
Editions 

Éditions Med-Line
74 Boulevard de l'hôpital
75013 Paris
Tél. : 09 70 77 11 48
www.med-line.fr

Achévé d'imprimer par GPS - Janvier 2019

*L'ÉPREUVE D'EFFORT CARDIORESPIRATOIRE
EN POCHE*

© 2019 MED-LINE

ISBN 978-2-84678-231-9

Couverture et mise en pages : Meriem Rezgui

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement des auteurs, ou de leurs ayants droit ou ayants cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

Sommaire

Introduction	5
Abréviations	7

Chapitre 1

Test d'exercice métabolique ou test d'exercice avec mesure des échanges gazeux dans l'insuffisance cardiaque chronique	9
<i>Pr Pierre Gibelin</i>	

Chapitre 2

Insuffisance cardiaque et pratique sportive, apport du test d'effort	75
<i>Pr François Carré</i>	

Chapitre 3

Épreuve d'effort avec mesure des échanges gazeux chez le sportif	103
<i>Dr Didier Scarlatti</i>	

Les cas cliniques

Pr Pierre Gibelin

Cas clinique 1	123
Cas clinique 2	131

Cas clinique 3.....	137
Cas clinique 4.....	143
Cas clinique 5.....	151

Introduction

Le test d'effort cardio-pulmonaire encore appelé test d'effort avec mesures des échanges gazeux ou épreuve d'effort métabolique (EFX) permet d'évaluer la capacité fonctionnelle d'un individu en général et d'un patient en particulier. Cette évaluation est plus objective que l'interrogatoire, aussi minutieux soit-il, (permettant aux médecins de classer le malade : classification NYHA, Canadienne, échelle d'activité spécifique, questionnaire de qualité de vie) ou le test de marche de 6 minutes.

En effet, c'est au cours de l'exercice qu'apparaissent les symptômes lors de la phase initiale de la maladie. Il est donc logique de l'évaluer à l'effort. La mesure des échanges gazeux permettant d'affiner celle-ci.

Cet examen permet l'étude du parcours de l'oxygène de son inspiration à sa consommation musculaire (VO_2) à l'effort. Il permet ainsi d'évaluer non seulement la pompe cardiaque mais également l'appareil musculaire, respiratoire, circulatoire de manière non invasive. Il s'agit donc d'une évaluation de la performance globale. Il permet ainsi d'identifier une dysfonction des organes qui participent à ce transport et à la consommation d' O_2 . Il est essentiellement utilisé dans le cadre de l'exploration d'une dyspnée, d'une intolérance à l'effort ou pour statuer sur une aptitude à l'effort.

Il peut se faire sur cycloergomètre ou sur tapis roulant. Les principaux paramètres enregistrés sont la durée de l'exercice, la puissance en watt, la consommation maximale d'oxygène (VO_2 max pour les sujets normaux ou sportifs, pic de VO_2 [ou VO_2 limitée par les symptômes]) pour les patients insuffisants cardiaques, l'efficacité ventilatoire (pente VE/VCO_2) et le seuil ventilatoire (ou seuil anaérobie indirect). De nombreux autres paramètres peuvent être étudiés.

Les intérêts de cette technique sont nombreux. Les résultats sont essentiels aussi bien pour les sportifs (entraînement) que pour les patients en particulier dans la détermination du pronostic.

Les résultats permettent en outre de classer les patients, de pouvoir suivre leur évolution et la comparer à d'autres malades, de distinguer entre dyspnée d'origine cardiaque ou pulmonaire, d'évaluer le débit cardiaque à l'effort de manière non invasive, de suivre l'efficacité d'une thérapeutique médicamenteuse ou non et enfin, de faire un programme de rééducation.

Chez les sportifs, ce test permet d'établir des programmes d'entraînement adapté à chacun et de suivre les progrès de celui-ci par l'amélioration de la VO max (souvent modeste) mais surtout par l'augmentation du seuil ventilatoire pour une même performance.

Enfin, certains cadres réglementaires imposent cet examen : salariés travaillant en milieu hyperbare, salariés portant des appareils respiratoires isolants par exemple.

Sa réalisation impose un matériel homologué et calibré à chaque examen. Les conditions atmosphériques dans lesquelles elle se réalise doivent être constants après calibration des différents appareils de mesures car elles influencent les mesures des gaz respiratoires.

L'ouvrage comprendra une première partie consacrée à l'intérêt du test d'exercice avec mesure des échanges gazeux dans l'insuffisance cardiaque avec un rappel physiopathologique, le matériel nécessaire à sa réalisation, les méthodes et les résultats avec les nombreuses applications cliniques dans cette pathologie. La deuxième partie est consacrée à l'intérêt de ce test dans les cardiopathies congénitales de l'adulte et dans l'HTAP, enfin une dernière partie consacrée aux sportifs.

Abréviations

TECP : Test d'exercice cardiopulmonaire

IC : Insuffisance cardiaque

CMH : Cardiomyopathie hypertrophique

HTAP : Hypertension artérielle pulmonaire

ICFEA : Insuffisance cardiaque à fraction d'éjection altérée

ATP : Adénosine triphosphate

RER : Respiratory exchange ration

QR : Quotient respiratoire

AVC : Accident vasculaire cérébral

SCA : Syndrome coronarien aiguë

EP : Embolie pulmonaire

FMA : Fréquence cardiaque maximale atteinte

FMT : Fréquence cardiaque maximale théorique

PETCO₂ : Partial pressure of exhaled carbon dioxide (Pression partielle alvéolaire de fin d'expiration en CO₂)

PETO₂ : Partial pressure of exhaled oxygen (Pression partielle alvéolaire de fin d'expiration en O₂)

OUES : Oxygene uptake efficiency slope

HRR : Heart rate recovery

EFR : Epreuve fonctionnelle respiratoire

PAS : Pression artérielle systolique

ICC : Insuffisance cardiaque chronique

IEC : Inhibiteur de l'enzyme de conversion

ICFEP : Insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée

VE : Ventilation minute

Test d'exercice métabolique ou test d'exercice avec mesure des échanges gazeux dans l'insuffisance cardiaque chronique

PR PIERRE GIBELIN, CHU DE NICE, UNIVERSITÉ NICE SOPHIA ANTIPOLIS

1. Introduction

- **L'insuffisance cardiaque chronique** se caractérise par une intolérance à l'exercice en rapport avec une dyspnée ou une fatigue en présence d'une dysfonction cardiaque.
- **Un test d'exercice standardisé** est important pour mesurer objectivement la nature des symptômes et confirmer si possible leur étiologie. La capacité d'exercice est un puissant prédicteur de mortalité et est utilisé comme marqueur de la nécessité d'une transplantation cardiaque.
- La performance à l'effort représente la résultante du fonctionnement harmonieux de 4 grands appareils : musculaire, cardiovasculaire, pulmonaire et sanguin.

Au cours de l'insuffisance cardiaque, le débit cardiaque ne peut subvenir en besoin périphérique O₂ de l'organisme. Au début de la maladie ce n'est qu'à l'effort que l'augmentation du débit cardiaque est insuffisante pour assurer l'oxygénation musculaire, alors que le débit cardiaque est largement suffisant au repos.

- **Il est donc essentiel de tester les patients à l'effort.** Il s'agit d'une évaluation de la performance globale. Cet examen a une valeur

diagnostique, étiologique, pronostique et constitue un guide pour la thérapeutique ainsi que le réentraînement individualisé.

- **Sur le plan historique** l'idée de l'application en cardiologie du test d'exercice cardiopulmonaire (TECP) a été introduite dans le début des années 1980 par **Weber** et la mise au point de sa classification (voir plus bas).

Quelques années plus tard **Mancini** dans un article de 1991 démontre que la mesure du pic de VO_2 stratifie le risque de décès cardiovasculaire à 1 an chez les patients ambulatoires. Ces résultats remarquables ont été reproduits par plusieurs laboratoires.

Dans les 15 dernières années l'intérêt du TECP est allé croissant. Dans l'Insuffisance cardiaque (IC) la combinaison de plusieurs paramètres a permis d'élaborer des algorithmes et des scores de risque. Le rôle de l'TECP a été étendu par la suite à des patients suspects d'ischémie, d'atteintes congénitales, valvulaires, porteur de CMH, HTAP.

2. Physiopathologie

- L'apport de l' O_2 aux mitochondries est essentiel pour une bonne performance aérobie. La délivrance optimale d' O_2 dépend de la chaîne de transport de celui-ci avec une bonne oxygénation au niveau pulmonaire (diffusion alvéolaire), un bon transport de l' O_2 par le sang (débit cardiaque adéquat), une bonne distribution aux muscles et un bon relargage de l' O_2 avec diffusion du capillaire à la cellule (extraction cellulaire).

Un sujet normal adulte peut multiplier par 6 sa VO_2 de base pendant l'exercice. Le pic de VO_2 diminue dans l'IC selon le principe de Fick. **Landmark** a montré que dans l'Insuffisance cardiaque à fraction d'éjection altérée (ICFEA), un pic de VO_2 bas est en rapport avec une limitation de l'augmentation du débit cardiaque à l'effort, alors que l'utilisation périphérique

de l'O₂ est préservée. Ainsi les muscles et les mitochondries participent peu à la limitation de la VO₂. En effet, même chez les patients les plus sévères la différence artério-veineuse est maintenue.

Il faut ajouter en outre que beaucoup de patients ont une anémie qui va jouer un rôle. Enfin le déficit en fer sans anémie est également responsable de mauvaises performances. L'activité du muscle squelettique demande de l'énergie stockée dans les myocytes sous forme de créatine, phosphate et glycogène. La créatine Kinase est rapidement accessible, mais le stock n'est suffisant que pour quelques secondes de travail. L'énergie est formée par l'ATP nécessaire à la liaison et le relâchement de l'actine myosine.

2.1. Métabolisme aérobie

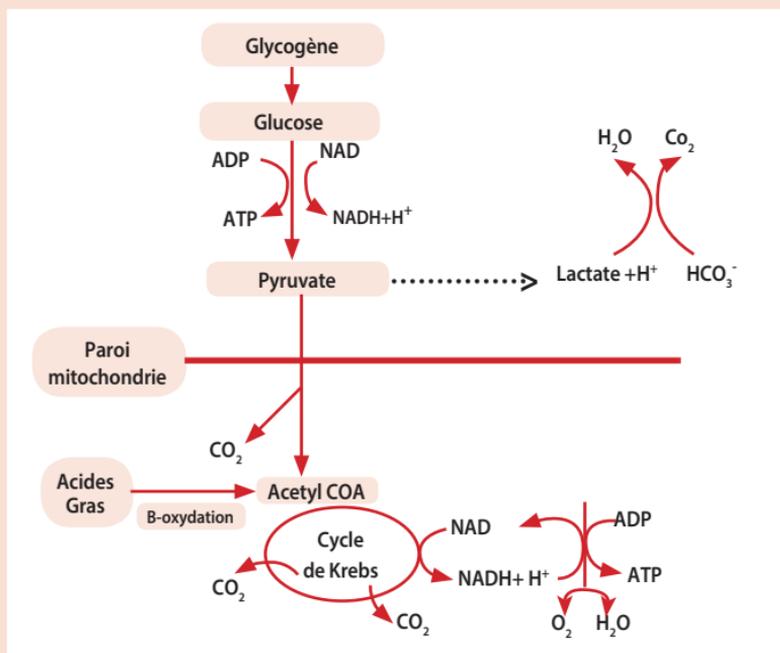
- La production d'ATP, qui doit être continuellement régénéré pour permettre aux cellules de poursuivre leur travail, dépend de l'oxydation dans les mitochondries des hydrates de carbone, des acides gras et dans certaines circonstances extrêmes des protéines. Les hydrates de carbone (tel que le Glycogène) sont transformé en pyruvates et peuvent entrer dans le cycle de Krebs (ou tricarboxylic acid cycle) comme Acetyl coenzyme A.
- Les acides gras vont être β oxydés et peuvent aussi rentrer dans le cycle de Krebs sous forme également d'Acetyl coA. Le cycle des Krebs va permettre la régénération d'ATP.

2.2. Métabolisme anaérobie

- En l'absence suffisante d'O₂ les pyruvates ne peuvent entrer dans le cycle de Krebs et sont ainsi converti en lactate. C'est le métabolisme anaérobie qui conduit à une production d'ATP plus faible pour chaque molécule de substrat utilisé que le processus aérobie. Quand l'O₂ redevient disponible les lactates peuvent se convertir à nouveau en pyruvates. Ainsi le métabolisme cellulaire peut continuer malgré un déficit relatif en O₂ mais de manière moins rentable.

- Dans la plupart des circonstances le métabolisme aérobie et anaérobie agissent simultanément dans les cellules mais dans les cellules musculaires particulièrement dans les travaux intenses le métabolisme anaérobie peut devenir prédominant (Figure 1).

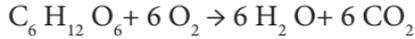
Figure 1. Métabolisme aérobie et anaérobie



2.3. Substrat énergétique

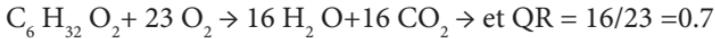
- Le rapport entre la quantité de CO₂ produit et expiré et la quantité d'O₂ consommé lors d'une respiration s'appelle le RER (*Respiratory Exchange Ratio*). Ainsi le RER qui représente le rapport VCO₂/VO₂ mesuré à la bouche n'est pas identique au Quotient Respiratoire (QR) qui est un marqueur du métabolisme tissulaire et dont la valeur reflète le pourcentage de lipides et de glucides utilisé par l'organe.

- Lors d'un effort sous maximal prolongé et stable le RER se stabilise et peut être assimilé au QR de l'organisme entier. Il reflète ainsi la consommation de substrat utilisés. Quand le glucose est utilisé chaque molécule d'O₂ conduit à la formation d'une molécule de CO₂.



Le QR est donc égal à 1.

- Les lipides sont beaucoup plus réduits que les hydrates de carbone ainsi quand les acides gras sont oxydés la production de CO₂ est plus basse (car plus coûteuse en O₂) que la consommation d'O₂ avec un QR aux environs de 0.7.

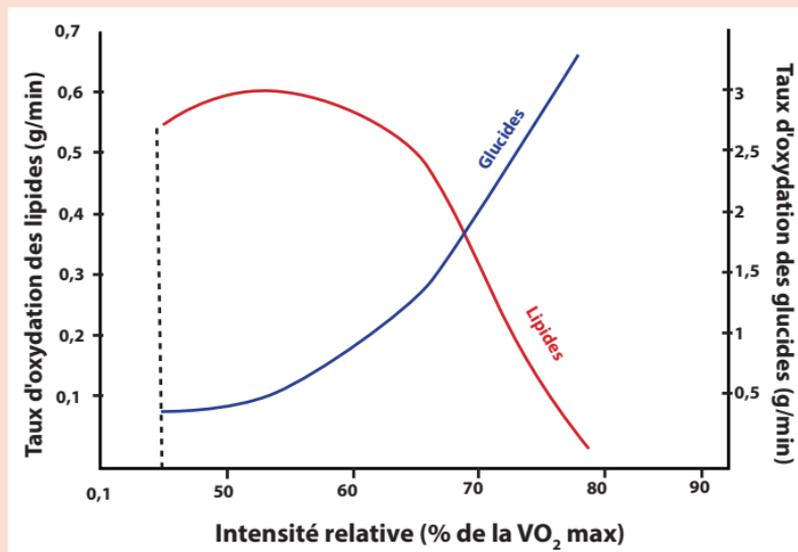


C₁₆H₃₂O₂ = acide palmitique le plus utilisé des Acides gras.

- Chez l'homme au repos il y a une prépondérance du métabolisme des acides gras ainsi la production de CO₂ est plus basse que la consommation d'O₂ et le QR est aux environs de 0.7. Plus importante est la proportion d'Hydrate de carbone utilisé plus grande sera la réponse ventilatoire pour éliminer le CO₂. Il est classique de dire qu'un QR = 0.85 correspond à un état métabolique pour lequel 50 % de l'énergie est fournie par les glucides et 50 % par les lipides (**Figure 2**).

Au repos le RER doit être aux environs de 0.70 – 0.80, il diminue au début de l'exercice puis le RER augmente progressivement avec l'intensité de l'effort avec persistance de son augmentation même après l'arrêt de l'effort pendant encore quelques secondes du fait du relargage du CO₂ stocké.

Figure 2. Utilisation des lipides et des glucides lors d'un exercice maximal progressivement croissant



Lors d'un exercice maximal progressivement croissant l'utilisation des lipides prédomine jusqu'à 40-60 % de la consommation maximale d'O₂. Au-delà l'utilisation des glucides devient prédominante puis quasi exclusive au-delà des 80 % de la consommation maximale d'oxygène.

3. Matériel, protocole, méthode, contre-indications

- Il peut être réalisé soit sur bicyclette ergométrique, soit sur tapis roulant.

3.1. Bicyclette ergométrique

- **Il s'agit de l'appareil le plus utilisé en Europe.** Les efforts sur vélo sont plus reproductibles que sur tapis roulant. Il est indispensable de calibrer régulièrement la bicyclette et de demander au patient un rythme de pédalage constant et régulier.
- **L'un des principaux inconvénients** est que l'effort est moins physiologique que le tapis roulant et que certaines personnes ne savent pas pédaler.

- **La durée optimale de l'effort** pour un sujet sain est comprise entre 8 et 15 minutes au-delà, la VO_2 est sous-estimée. Il est vrai que l'insuffisant cardiaque réalise en général un effort inférieur à 15 minutes ; cependant, si tel n'est pas le cas, la sous-estimation de sa VO_2 n'est pas un problème car généralement le pronostic est bon.
- **Actuellement, il est proposé de réaliser des épreuves triangulaires de type 10 W par minute** avec ou sans période d'échauffement (de 1 à 2 minutes). Il est souhaitable de réaliser le même protocole pour pouvoir comparer l'ensemble des paramètres dont la durée de l'effort et la charge maximale.

3.2. Tapis roulant

- **Ce matériel est le plus utilisé dans les pays anglo-saxons.**
Le principal inconvénient de la mesure de la VO_2 sur tapis roulant est l'impossibilité de quantifier précisément le travail réalisé par le patient. En effet, l'effort est variable et dépend de plusieurs facteurs comme le poids, la manière de se déplacer et la force mise en jeu pour se tenir aux barres. L'augmentation de la VO_2 est moins linéaire que pour un effort sur bicyclette. En revanche, ce type d'effort est plus physiologique. En général, la VO_2 obtenue sur tapis roulant est plus élevée d'environ 10 % par rapport à celle obtenue avec un effort sur bicyclette (1).
- **On peut utiliser le protocole de Bruce, mais il est trop intense pour la majorité des insuffisants cardiaques. Généralement, on préfère utiliser le protocole de Naughton modifié,** mais celui-ci risque d'être trop long pour beaucoup de patient.

3.3. Méthode

- **Une information précise sur le déroulement du test doit être fournie au patient, et son consentement doit être obtenu.** Lors de l'exercice, le patient doit éviter de parler ; un mode de communication par geste doit donc être défini. Le recueil

des gaz inspirés et expirés peut se faire avec un embout buccal et une pince nasale ou masque facial. Le masque est mieux supporté mais son étanchéité doit être vérifiée pour éviter les fuites qui peuvent survenir, en particulier en fin d'effort.

- Un enregistrement d'au moins 2 minutes doit être réalisé au repos chez le sujet équipé sur l'ergomètre. Les valeurs de repos stable et acceptable avant de commencer sont un VE entre 7 et 12 L/min, une VO_2 inférieure à 5 mL/kg/min et un rapport d'échange respiratoire (RER ou QR) inférieur à 0.85. Si ce rapport est plus élevé, en particulier s'il est supérieur à 1, il s'agit souvent du stress (sauf chez les patients très sévères). En général, il suffit de faire faire aux patients quelques tours de pédale dans le vide pour ramener le QR au niveau de 0.80. (Tableau I).

Tableau I - Condition de bonne réalisation du test (Cohen Solal)	
VE	7 – 12 l/min
VO_2	< 5 ml/kg/min
QR	< 0,85

3.4. Les contre-indications à l'épreuve d'effort cardiorespiratoires

- Les contre-indications absolues sont représentées par :
 - syndrome coronarien aigu de moins de 5 jours,
 - patients en décompensation cardiaque,
 - syncope,
 - valvulopathie sténosante sévère et/ou symptomatique,
 - CMH sévère,
 - endocardite,
 - myocardite,
 - péricardite aiguë,
 - suspicion de dissection aortique,
 - thrombus intra cavitaire volumineux, pédiculé,

- AVC récent,
- accident thromboembolique récent,
- HTAP de repos ($\text{SaO}_2 < 85\%$) en air ambiant,
- affection inflammatoire ou infectieuse évolutive,
- déficit mental limitant la réalisation de l'épreuve. (Tableau II).

Tableau II - Contre-indications absolues à l'épreuve d'effort cardiorespiratoire

SCA < 5 j
 IVG
 Syncope
 Valvulopathie sténosante sévère
 CMH
 Endocardite
 Myocardite
 Péricardite aiguë
 Suspicion intracavitaire
 AVC récent
 EP récente
 HTAP sévère
 Affection inflammatoire évolutive
 Déficit mental limitant la réalisation

4. Paramètres

4.1. Paramètres ergométriques

- Nous retiendrons essentiellement :
 - durée de l'épreuve d'effort : dépend du type de protocole ;
 - charge maximale : on l'exprime soit en watt sur vélo, soit en METS sur tapis roulant ;
 - fréquence cardiaque : fréquence cardiaque maximale atteinte (FMA). Plus elle est élevée et meilleur est le pronostic avec pour seule réserve l'effet des Béta-bloquants à l'effort. Il est très rare que la fréquence maximale théorique ($\text{FMT} = 220 - \text{âge}$) soit atteinte.

La réserve chronotrope doit être analysée (différence entre fréquence cardiaque maximale et au repos) pour interpréter les résultats de la VO_2 . Il existe une relation entre le pic VO_2 et la réserve chronotrope. Plus la réserve est faible et plus basse sera la VO_2 .

- Pression artérielle systolique au pic de l'effort apporte une information pronostique importante.

Il faut analyser l'évolution de la PA pendant l'effort. Toute chute significative en fin d'effort est de mauvais pronostic.

- Anomalies de la repolarisation, troubles du rythme...

4.2. Paramètres spécifiques de l'épreuve d'effort métabolique

4.2.1. Consommation maximale d' O_2 ou pic VO_2

- **Le pic VO_2 est le paramètre le plus important de l'épreuve d'effort métabolique.** Il est l'un des paramètres le plus reproductible et reste l'un des plus puissants paramètres de pronostic.
- Il est indispensable de s'assurer du caractère maximal de l'examen et toujours utiliser les mêmes définitions (soit la valeur instantanée la plus élevée pendant l'examen, soit la moyenne des dernières secondes de l'examen (de 10 – 60 secondes). Le pic de VO_2 peut être exprimé soit normalisé au poids en ml/kg/min, soit rapporté à une valeur théorique. Les valeurs théoriques les plus souvent utilisées sont celles de Wasserman.
- **Il est en fait utile d'utiliser les deux informations.**
- La valeur théorique de Wasserman est correcte pour les hommes de poids moyen. Chez la femme et en cas de poids extrême (maigreur ou obésité) la théorique est probablement fautive et il est préférable d'utiliser le pic de VO_2 rapporté au poids du patient.
- Le pic de VO_2 peut être normalisé au poids maigre du patient.
- La valeur normale est \geq à 25 ml/kg/min ou $> 80 - 84$ % de la valeur théorique. (**Figure 3**).

- Quel est l'apport de l'utilisation des tests d'exercice avec la mesure conjointe des gaz respiratoires à la compréhension de la physiopathologie et de la symptomatologie de l'insuffisance cardiaque ? Quelle est son utilité pour une meilleure approche diagnostique et pronostique de la maladie ? Cet ouvrage fait le point.
- Ce livre expose également les principaux protocoles thérapeutiques, leurs applications cliniques avec l'évaluation des traitements.
- Il guide le clinicien dans le choix et les précautions à prendre pour la pratique de l'exercice chez les patients insuffisants cardiaques, largement préconisé par les praticiens (sport sur ordonnance) mais pouvant être à risque.
- Il aborde également l'application de cette technique chez les patients sportifs.
- Enfin, de nombreux cas cliniques illustrent cet ouvrage.
- **Ce livre s'adresse aux cardiologues, pneumologues, médecins du sport, médecins des centres de réadaptation, physiologistes, internistes, internes, soignants hospitaliers.**

Le coordinateur de cet ouvrage, le professeur Pierre Gibelin est cardiologue. Il a mis en place de longue date un centre d'éducation thérapeutique couplé à la rééducation ambulatoire des insuffisants cardiaques.

Il est président de la Fédération Française de cardiologie région Côte d'azur. Il fut l'un des tout premiers en France à appliquer cette méthode aux patients en insuffisance cardiaque.

27,00 € TTC

ISBN : 978-2-84678-231-9



www.med-line.fr

MED-LINE
Editions