

## REVUES GÉNÉRALES

### Insuffisance cardiaque

# Mesures des échanges gazeux à l'effort dans l'insuffisance cardiaque : méthode et intérêts

**RÉSUMÉ :** L'exploration à l'exercice avec analyse des échanges gazeux permet d'évaluer non seulement la pompe cardiaque mais également l'appareil musculaire, pulmonaire, circulatoire de manière non invasive. Il s'agit donc de l'évaluation de la performance globale. Elle peut se faire sur cycloergomètre ou sur tapis roulant. Les principaux paramètres enregistrés sont le pic de  $VO_2$ , la pente  $VE/VCO_2$ , le seuil ventilatoire, la durée de l'exercice et la puissance en watt.

Les intérêts de cette technique sont nombreux. Les résultats sont essentiels dans la détermination du pronostic et particulièrement dans l'indication d'une transplantation cardiaque s'il n'y a pas de contre-indication. De même, ils sont importants pour classer les patients de manière plus objective que la classe NYHA et de pouvoir ainsi suivre leur évolution et la comparer à d'autres patients, pour distinguer dyspnée d'origine pulmonaire ou cardiaque, pour évaluer le débit cardiaque d'effort, pour suivre l'efficacité d'une thérapeutique médicamenteuse ou non et, enfin, pour faire le programme de la rééducation à l'effort.



→ P. GIBELIN  
CHU de Nice,  
NICE.

L'exploration à l'exercice avec analyse des échanges gazeux ou cardiorespiratoire permet une analyse intégrée des adaptations respiratoires, cardiovasculaires ou musculaires. Au cours de l'insuffisance cardiaque, le débit cardiaque ne peut subvenir en besoin périphérique en  $O_2$  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.

### Matériel – Méthode – Protocoles

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

#### 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.

## 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.

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 [1].

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 un 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 8 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.

## 3. Les contre-indications à l'épreuve d'effort cardiorespiratoire

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 intracavitaire volumineux, pédiculé, AVC récent, accident thromboembolique récent, HTAP de repos (> 60 mmHg), hypoxémie sévère de repos ( $SO_2 < 85\%$ ) en air ambiant, affection inflammatoire ou infectieuse évolutive, déficit mental limitant la réalisation de l'épreuve.

## Paramètres

### 1. Pour les paramètres ergométriques, nous retiendrons essentiellement :

- la durée de l'épreuve d'effort dépend du type de protocole ;
- de la charge maximale exprimée soit en watt sur vélo, soit en METS sur tapis roulant ;
- la fréquence cardiaque : plus la fréquence cardiaque maximale atteinte (FMT) est élevée et meilleur est le

pronostic avec, pour seule réserve, l'effet des bêtabloquants à l'effort. Il est très rare que la FMT 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  $VO_2$ .

- la 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 ;
- les anomalies de la repolarisation, les troubles du rythme, etc.

### 2. Paramètres spécifiques de l'épreuve d'effort métabolique

#### ● 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 (maigre 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  $\geq 25$  mL/kg/min ou > 80-84 % de la valeur théorique.

## REVUES GÉNÉRALES

### Insuffisance cardiaque

#### ● **Quotient respiratoire (QR) ou plus exactement rapport d'échange gazeux respiratoire (RER), c'est le rapport $VCO_2/VO_2$**

Au repos, il doit être proche de 0,8. Il ne doit pas être inférieur à 0,75 ; si c'est le cas, il s'agit d'un problème de calibration ou d'une anomalie des analyseurs. Il est inutile de faire l'examen si l'anomalie ne peut être corrigée. Le QR peut être supérieur à 0,95 au repos. Ceci est le plus souvent lié à l'hyperventilation du stress, disparaissant après quelques tours de pédale à vide ou en début de l'effort. Cependant, certains insuffisants très sévères ont un QR de base élevé, le moindre effort se faisant en anaérobie.

Au pic de l'effort, le QR donne une idée indirecte du caractère maximal de l'effort. Il doit être au-dessus de 1,1. En dessous, il peut s'agir soit d'une cause extracardiaque à l'origine de l'arrêt (respiratoire), soit d'un effort sous-maximal.

#### ● **Seuil ventilatoire**

Pour une charge faible, le métabolisme aérobie suffit à la production d'énergie, et le recours au métabolisme anaérobie est faible. Pendant l'augmentation de l'exercice, il arrive un moment où la circulation sanguine ne parvient pas à délivrer suffisamment d' $O_2$  pour l'exercice musculaire et le métabolisme anaérobie suppléé à l'augmentation d'ATP. À ce moment-là, les lactates ainsi fabriqués sont en général tamponnés par les bicarbonates dans le sang. Ces bicarbonates sont convertis en eau et en  $CO_2$  qui vont s'ajouter au  $CO_2$  de la respiration pour maintenir le pH sanguin. Ceci entraîne une augmentation non linéaire de  $VCO_2$  par rapport à la  $VO_2$ .

Le seuil ventilatoire, ou seuil anaérobie, est parfois difficile à déterminer. La méthode la plus classique est la méthode graphique visuelle basée sur l'évaluation des courbes VE,  $VO_2$ ,  $VCO_2$  ou des équivalents respiratoires.

Il existe deux seuils ventilatoires. Leurs déterminations reposent sur la détection de deux ruptures dans l'analyse de la cinétique de la ventilation. Pour les faibles intensités, VE et  $VO_2$  évoluent parallèlement. Au-delà d'une certaine intensité d'effort, la VE augmente plus vite que la  $VO_2$ . Cette progression définit SV1 (lactate); au-delà, la cinétique de VE et de  $VCO_2$  reste parallèle jusqu'à SV2 à partir duquel VE augmente plus vite que  $VCO_2$  (acidose).

En général, on ne mesure que le SV1. La méthode la plus classique pour évaluer le SV1 est l'analyse des courbes de  $VO_2$  et de  $VCO_2$ . Le SV1 correspond à la zone où la  $VCO_2$  augmente plus vite que la  $VO_2$  (avec croisement des courbes ; *V-slope method*). Cette détermination est arbitraire car l'augmentation de la production  $VCO_2$  est progressive.

Il y a une bonne corrélation entre SA (ou SV) et pic  $VO_2$ , faisant du SA un paramètre sous-maximal utile indépendant de la motivation. Toutefois, l'intérêt principal de la détermination du SA est d'apprécier le caractère maximal de l'épreuve d'effort. Chez le sujet normal, la SA apparaît entre 60 et 70 % du pic  $VO_2$ . Chez l'insuffisant cardiaque, la SA est franchie quelques minutes avant le pic  $VO_2$ . Plus celui-ci est précoce, plus l'insuffisance cardiaque est sévère. Les équivalents respiratoires (rapport  $VE/VCO_2$  et  $VE/VO_2$ ) peuvent être utilisés pour sa détermination.

#### ● **Les équivalents respiratoires**

En  $O_2$  :  $VE/VO_2$  et en  $CO_2$  :  $VE/VCO_2$  correspondent au nombre de litre en air ventilé pour respectivement apporter 1 litre d' $O_2$  à l'organisme et extraire 1 litre de  $CO_2$  produit. Il s'agit donc d'indice d'efficacité respiratoire utilisé surtout pour peaufiner la détermination des seuils ventilatoires.

#### ● **Pente $VE/VCO_2$**

La pente  $VE/VCO_2$  reflète l'efficacité ventilatoire. La ventilation minute est

essentiellement déterminée par la production de  $CO_2$  puisque c'est le  $CO_2$  sanguin qui constitue, au niveau des chémorécepteurs aortiques et sino-carotidiens, le principal stimulant de la ventilation jusqu'au SV2 où les bicarbonates n'arrivent plus à tamponner le pH (la pente  $VE/VCO_2$  est ainsi linéaire jusqu'au SV2).

La pente représente le nombre de litre d'air que le patient doit ventiler par minute pour rejeter 1 litre de  $CO_2$  ramené par la circulation. Il existe essentiellement deux déterminants de cette pente : l'espace mort ventilatoire et la pression artérielle en  $CO_2$ . La valeur normale de la pente est de l'ordre de 20 à 25. Elle est plus élevée dans l'insuffisance cardiaque, pouvant aller jusqu'à 70.

En pratique, la pente peut être mesurée dans sa première partie linéaire avant l'inflexion. Il semble toutefois préférable de la mesurer sur l'ensemble de la courbe. Certains la mesurent dans sa partie toute initiale (3 premières minutes).

Le pic  $VO_2$  et la pente  $VE/VCO_2$  peuvent être combinés pour évaluer le pronostic. La pente  $VE/VCO_2$  fournit des renseignements complémentaires à la  $VO_2$  particulièrement dans les zones grises, à savoir entre 10-12 ml/kg et 18 mL/kg (voire plus bas) [1, 2, 3]. La **figure 1** montre un exemple de courbe  $VO_2$ ,  $CO_2$  et VE chez un patient insuffisant cardiaque.

### 3. Les autres paramètres

#### ● **Pouls d' $O_2$**

Il s'agit de la  $VO_2$  divisée par la fréquence cardiaque. Les pouls d' $O_2$  reflètent en théorie le volume d'éjection systolique. Une chute en fin d'effort doit faire évoquer une ischémie myocardique responsable d'une baisse aiguë de la fraction d'éjection.

#### ● **Oscillation respiratoire**

La présence d'oscillations respiratoires signe une insuffisance car-

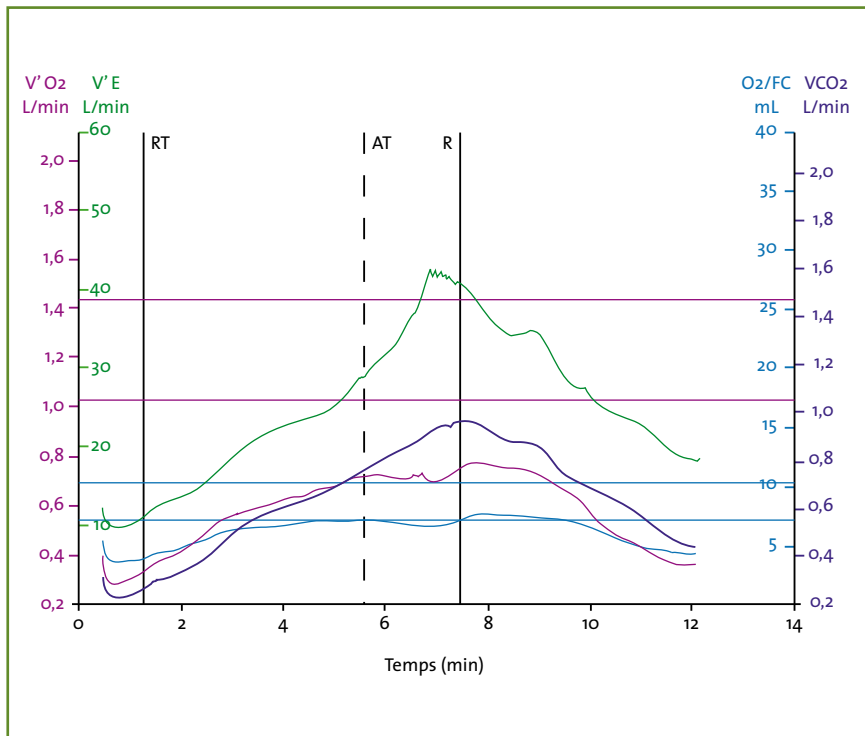


FIG. 1 : Exemple de courbe VE,  $VO_2$ ,  $VCO_2$  chez un insuffisant cardiaque.

diacque évoluée. Il faut rechercher cette anomalie pendant une période suffisamment longue (2 à 3 minutes) pour constater la respiration périodique. Elles disparaissent souvent pendant l'effort.

#### ● Cinétique d'adaptation de la consommation d' $O_2$

De nombreux paramètres nous renseignent sur cette cinétique qui permet de quantifier la capacité d'adaptation de l'organisme à répondre à la contrainte qu'impose un travail. Citons notamment la pente initiale de la relation  $VO_2$  et puissance (temps de  $VO_2$  on), la vitesse de récupération de la  $VO_2$  (temps de  $VO_2$  off) et la pente d'efficacité de prélèvement d' $O_2$  (oxygen uptake efficiency slope [OUES]) qui correspond à l'expression semi-logarithmique de la relation  $VO_2/VE$ . Plus cette pente est marquée et meilleure est l'efficacité ventilatoire [4].

#### ● Récupération

L'étude de la récupération peut fournir des renseignements précieux. Citons essentiellement l'analyse de la fréquence cardiaque à la récupération (*Heart Rate Recovery* [HRR]), en particulier la diminution de la fréquence cardiaque entre la fréquence cardiaque maximale et la FC à 1 minute de récupération active (pédalage dans le vide). Citons aussi le temps de demi-décroissance de la  $VO_2$ ; ces paramètres de récupération sont surtout utiles pour le pronostic [5].

#### ● Paramètres de repos

La pression partielle du  $CO_2$  en fin d'expiration au repos ( $PETCO_2$ ). Le  $PETCO_2$  est le reflet de la performance cardiaque (débit cardiaque). Le paramètre est surtout utile pour l'évaluation du pronostic. Le  $PETCO_2$  de repos sera particulièrement utile chez les personnes âgées ou incapables de faire un effort.

#### En pratique [1]

- avant l'épreuve d'effort : calibration de la bicyclette, des analyseurs;
- au repos :
  - réalisation si possible des EFR pour le calcul de la réserve ventilatoire,
  - rechercher l'absence de fuite,
  - QR proche de 0,8,
  - valeur de  $VO_2$  concordante au morphotype du patient;
- début de l'effort :
  - augmentation immédiate de la  $VO_2$ , de la  $VCO_2$  et VE : (stimulation des ergorécepteurs). L'absence d'augmentation de ces paramètres doit faire rechercher une fuite;
  - stimuler le patient pour atteindre sa capacité maximale (QR > 1,1).

L'effort est considéré comme maximal et interprétable :

- réserve ventilatoire atteinte;
- seuil ventilatoire ou SA franchit ( $VO_2$ ) (SA à environ 60 % du pic  $VO_2$ );
- QR supérieur à 1,15;
- hyperventilation finale;
- vrai plateau de  $VO_2$  (jamais réalisé chez l'insuffisant cardiaque).

## Applications cliniques dans l'insuffisance cardiaque

### 1. Évaluation pronostique

C'est la principale application clinique de la mesure des échanges gazeux à l'effort.

#### ● Pic de $VO_2$

La valeur du pic de  $VO_2$  intègre tous les éléments de l'adaptation cardiaque et circulatoire. Le pic de consommation d' $O_2$  est réduit dans l'insuffisance cardiaque chronique. De très nombreux travaux ont confirmé que le pic de  $VO_2$  est le facteur pronostic essentiel avec les résultats bien connus suivants [6] :

- une valeur du pic  $VO_2$  supérieure à 18 mL/kg/min est de bon pronostic quelle que soit la FE, ou les autres

## REVUES GÉNÉRALES

### Insuffisance cardiaque

paramètres pronostics (risque de mortalité à 1 an inférieur à 5 %);

- une valeur du pic de  $VO_2$  inférieure à 14 mL/kg/min est de mauvais pronostic (avec une survie à 1 an inférieure à 75 %). Ce chiffre est généralement retenu pour la transplantation cardiaque.

Toutefois, deux problèmes peuvent être soulevés:

**>>> Le problème des valeurs seuils:** le groupe européen de réhabilitation cardiovasculaire a proposé récemment l'attitude suivante:

- un pic de  $VO_2 < 10$  mL/kg/min avec atteinte du SA est toujours associé à un mauvais pronostic, et le patient doit être mis sur liste de transplantation cardiaque (pour OPASICH, cela reste vrai même si le SA n'est pas franchi);
- un pic de  $VO_2 > 18$  mL/kg/min est généralement associé à un bon pronostic à 1 an, et la survie est meilleure que la transplantation;
- une zone floue autour de 14 mL/kg/min où il faut utiliser d'autres paramètres issus soit du test d'exercice (pente  $VE/VCO_2$ ), soit d'autres paramètres (FE, BNP...).

Le problème des valeurs seuils se pose également pour les patients sous bêta-bloquants: la majorité des patients sont actuellement sous bêta-bloquants; chez ces patients, le seuil inférieur peut être abaissé d'au moins 2 mL/kg/min. Le seuil défavorable semble être aux alentours de 11 ou 12 plutôt que 14 mL/kg/min. Il est probable qu'il en soit de même pour la valeur seuil supérieure de bon pronostic que l'on situerait aux alentours de 16 mL/kg/min.

**>>> Le problème de l'indexation:** L'indexation du pic de  $VO_2$  au poids sous-estime le pronostic chez les sujets obèses. De plus, cette indexation ne tient pas compte du sexe, de l'âge, ni du degré d'entraînement. Ainsi, il existe d'autres modes d'indexation du pic de  $VO_2$  en fonction de tables (qui peuvent elles aussi

être discutables) de valeur théorique. La principale est la table de Wasserman et Jones. On considère généralement qu'un pic de  $VO_2$  inférieur à 35-40 % des valeurs théoriques doit faire indiquer une transplantation cardiaque. On peut utiliser également la notion de poids maigre.

#### ● La pente $VE/VCO_2$

Ce paramètre semble avoir remplacé le pic de  $VO_2$  comme *gold standard* de l'évaluation pronostique des épreuves cardiorespiratoires. Il semblerait en effet, d'après des travaux récents, que ce paramètre a une valeur pronostique supérieure au pic  $VO_2$ . Ainsi, une pente  $VE/VCO_2$  inférieure ou égale à 29 est de bon pronostic, et ce quel que soit le pic de  $VO_2$  et/ou la FE (avec l'apparition de complication inférieure à 5 % à 2 ans) et une pente  $VE/VCO_2$  supérieure à 45 est de mauvais pronostic avec indication de la transplantation cardiaque (risque de complication supérieur à 50 % sur 2 ans) [2, 7].

Les raisons évoquées pour expliquer la supériorité de ce paramètre par rapport au pic de  $VO_2$  sont les suivantes:

- la pente  $VE/VCO_2$  est indépendante de l'effort, elle peut être interprétée en sous-maximal et donc indépendante de la motivation;
- elle est modifiée dans l'insuffisance cardiaque diastolique;
- enfin, elle est modifiée pour les patients sous bêta-bloquants (alors que les bêta-bloquants modifient peu le pic de  $VO_2$ ).

#### ● Autres paramètres

Les oscillations respiratoires: la présence d'oscillation respiratoire est un puissant facteur prédictif de mortalité [8].

La fréquence cardiaque de récupération: la valeur pronostique de la fréquence cardiaque après une minute de récupération a été clairement démontrée [5]. Une diminution de la fréquence cardiaque entre la fréquence

cardiaque maximale et la fréquence cardiaque à 1 minute de récupération active supérieure ou inférieure à 16 est un puissant facteur pronostic.

La pente d'efficacité de prélèvement d' $O_2$  est également un puissant facteur pronostic difficile à évaluer en pratique courante (programmation spéciale). Il peut être évalué en sous-maximal.

On peut citer encore le seuil ventilatoire (SA), le pouls d' $O_2$ , la puissance circulatoire, la cinétique de récupération d' $O_2$ .

Enfin, un paramètre de repos, la  $PETCO_2$ : sa valeur pronostique a bien été montrée par l'équipe d'Arena avec une valeur seuil de 33 mmHg. Il s'agit d'un facteur pronostic indépendant dans l'insuffisance cardiaque; il complète les informations obtenues par la pente  $VE/VCO_2$  et le pic  $VO_2$ . Il sera particulièrement utile chez les patients âgés ou incapables de faire un effort [9].

Au total, il a été établi des scores tenant compte de plusieurs paramètres pour l'évaluation du pronostic. Nous retiendrons essentiellement le score Myers *et al.* intégrant le pic  $VO_2$ , la pente  $VE/VCO_2$ , OUES,  $PETCO_2$  et HRR [10].

## 2. Classification de la gravité de l'insuffisance cardiaque

Les symptômes représentent la méthode de base pour évaluer la gravité fonctionnelle de la maladie. La classification NYHA est la plus utilisée, mais celle-ci est subjective. Ainsi, Weber et Jenicki ont montré que l'évaluation basée sur le pic de  $VO_2$  et le SA était plus objective et plus reproductible que la classe NYHA. Cette classification se fait en 4 classes basées sur le pic de  $VO_2$  (classe A > 20, classe B entre 16 et 20, classe C entre 10 et 15 et classe D < 10). Cette classification ne tient compte ni de l'âge ni du sexe. Stelken propose la même classification à partir d'une  $VO_2$  indexée à une valeur théorique.

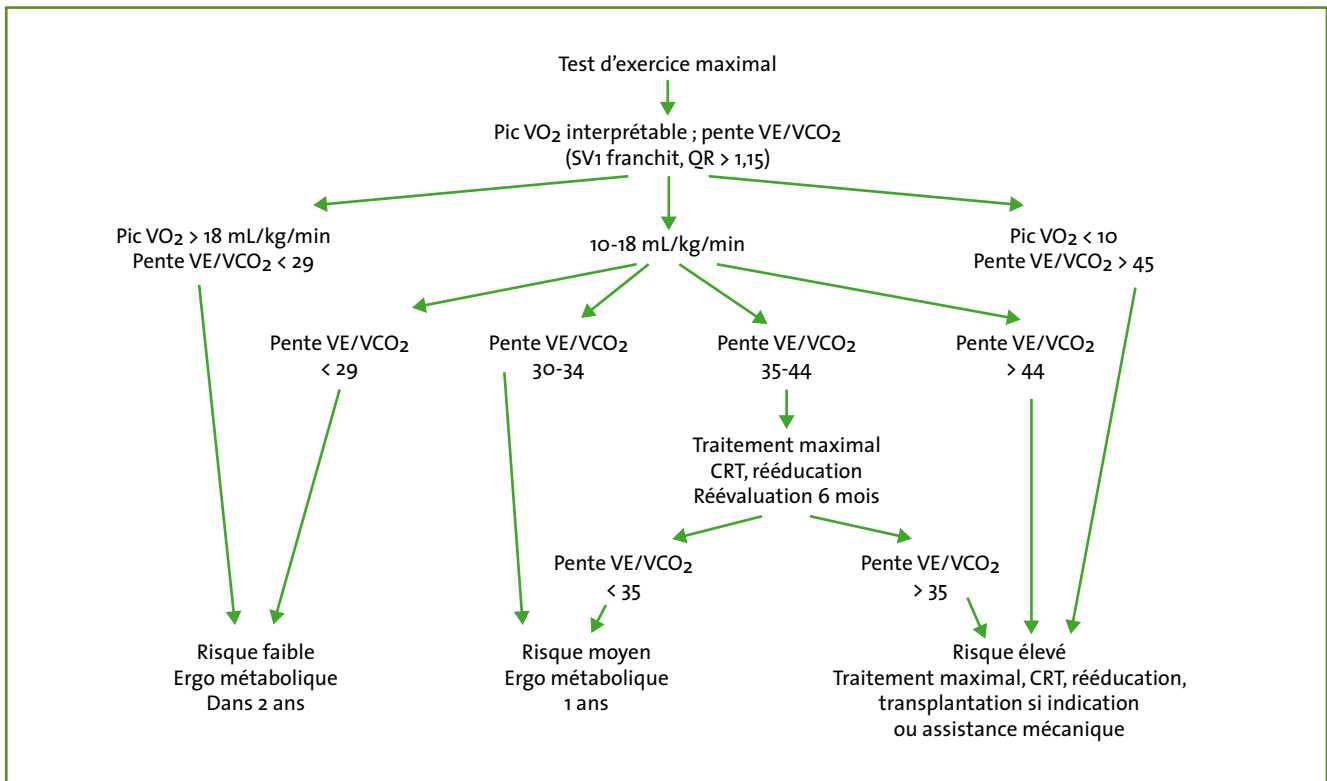


FIG. 2 : Proposition d'algorithme d'interprétation d'un test métabolique.

Plus récemment, l'équipe d'Arena [7] propose une classification basée sur la pente VE/VCO<sub>2</sub> (classe 1 ≤ 29, classe 2 entre 30 et 35,9, classe 3 entre 36 et 44,9, classe 4 ≥ 45) et l'ont comparé à la classification de Weber. Le test Z trouve une supériorité de la classification basée sur la pente VE/VCO<sub>2</sub> (score 2,34; p < 0,01) par rapport à celle de Weber.

### 3. Estimation du pic de débit cardiaque à l'exercice à partir du pic de VO<sub>2</sub>

Le principe de Fick indique que la VO<sub>2</sub> est égale au produit du débit cardiaque par la différence artério-veineuse (DAV). Ainsi, si l'on connaît l'évolution de la DAV à l'effort, on peut estimer le débit cardiaque sur la VO<sub>2</sub> seule. Les variations de la DAV à l'effort sont faibles si l'hémoglobine est normale, mais la valeur absolue peut varier avec des facteurs qui touchent le contenu en oxyhémoglobine du sang artériel et

veineux. Ainsi, Wasserman propose des abaques pour avoir la valeur de la DAV en fonction du taux d'hémoglobine et évaluer, de ce fait, la valeur d'éjection systolique à l'effort [11].

### 4. Évaluation de l'efficacité thérapeutique

Le pic de VO<sub>2</sub> a été utilisé pour mesurer l'efficacité d'un traitement aussi bien de type qualité de vie que médicament ou chirurgie. Cette évaluation peut se faire dans le cadre d'un essai clinique. Il faut d'abord s'assurer que la variation de la capacité fonctionnelle à l'effort sous l'effet d'une intervention thérapeutique ne soit pas liée à d'autres facteurs intercurrents. En premier lieu, il faut faire cette évaluation pendant une période stable de la maladie au cours de laquelle le patient conserve le traitement de base maintenu à une posologie constante.

La VO<sub>2</sub> est considérée habituellement comme reproductible. Les coefficients de variation pour des périodes relativement réduites (2 à 4 semaines) se situent entre 4,1 et 6 %. Enfin, les variations du pic VO<sub>2</sub> doivent être exprimées en pourcentage de changement par rapport aux chiffres de base et non en valeur absolue.

### 5. Intérêt dans le diagnostic différentiel entre une dyspnée d'origine pulmonaire et une dyspnée d'origine cardiaque

La mesure des échanges gazeux à l'effort permet dans certains cas d'apporter des arguments en faveur d'une origine pulmonaire, cardiaque ou mixte.

### 6. Intérêt dans le diagnostic de l'insuffisance cardiaque diastolique

Le diagnostic d'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection préservée (ICFEP)

## REVUES GÉNÉRALES

### Insuffisance cardiaque

ou insuffisance cardiaque diastolique est difficile. Il repose essentiellement sur les signes cliniques, en particulier la réduction de la capacité fonctionnelle à l'effort ou crise de dyspnée aiguë (OAP), une FE conservée et des signes échocardiographiques de l'atteinte diastolique du VG ou des troubles de remplissage.

Le diagnostic, en dehors des épisodes aigus, repose donc essentiellement sur l'évaluation des signes fonctionnels à l'effort (par l'interrogatoire pouvant être très subjectif chez ces patients souvent âgés). Ainsi, il est logique de proposer une épreuve d'effort métabolique qui permet une mesure objective de cette atteinte nécessaire pour établir le diagnostic. Les patients ayant un ICFEP ont une baisse du pic de  $VO_2$  et une augmentation de la pente  $VE/VCO_2$  intermédiaire entre le sujet sain et les patients ayant une insuffisance cardiaque à fraction d'éjection atteinte, comme l'ont clairement démontré Farr *et al.* [12]. Cet examen s'avère donc fort utile pour le diagnostic de cette pathologie.

#### 7. Intérêt pour le réentraînement à l'effort des insuffisants cardiaques

Le programme sur cycloergomètre est utilisé dans la majorité des programmes et entraînements. L'intensité de l'effort peut être modulée facilement pour les patients plus faibles. L'intensité de l'effort sera évaluée à partir d'une épreuve d'effort métabolique. Celle-ci est calculée par rapport au pic de  $VO_2$ . Selon les groupes, on débutera l'effort par une intensité en watts correspondant à 50-70 % du pic de  $VO_2$ , ou en se basant sur la SA ou la fréquence cardiaque.

L'effort sera soutenu en épreuve d'effort rectangulaire pendant une durée variable de 20 min à 45 min selon l'état du patient. Là encore, cet effort sera maintenu pendant toute la durée de la réadaptation en augmentant progressivement selon les échelles.

#### Conclusion

L'épreuve d'effort avec mesure des échanges gazeux ou épreuve d'effort métabolique dans l'insuffisance cardiaque permet une évaluation de la performance globale. Les deux paramètres principaux sont le pic de  $VO_2$  et la pente  $VE/VCO_2$ .

L'intérêt essentiel est l'évaluation pronostique de la maladie souvent nécessaire à la prise de décision thérapeutique (augmentation de la thérapeutique, rééducation, transplantation, etc.). Les deux paramètres se complètent pour cette évaluation. La pente  $VE/VCO_2$  prend tout son intérêt dans la zone grise du pic de  $VO_2$ . Nous pouvons proposer l'algorithme décisionnel de la **figure 2**.

#### Bibliographie

1. GIBELIN P. Mesure des échanges gazeux à l'effort. Application à l'insuffisance cardiaque et respiratoire. Éd.: Flammarion Paris. 2009 ; 128 pages.
2. GUAZZI M, MYERS J, ABELLA J *et al.* The added prognostic value of ventilatory efficiency to the Weber classification system in patients with heart failure. *Int J Cardiol*, 2008;129:86-92.
3. RITT LE, OLIVEIRA RB, MYERS J *et al.* Patients with heart failure in the "intermediate range" of peak oxygen uptake:

- additive value of heart rate recovery and the minute ventilation/carbon dioxide output slope in predicting mortality. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2012;141-146.
4. DAVIES LC, WENSEL R, GEORGIADOU P *et al.* Enhanced prognostic value from cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure by non-linear analysis: oxygen uptake efficiency slope. *Eur Heart J*, 2006;27:684-690.
  5. GUAZZI M, MYERS J, PEBERDY MA *et al.* Heart rate recovery predicts sudden cardiac death in heart failure. *Int J Cardiol*, 2009.
  6. MANCINI D, EISEN H, KUSSMAUL W *et al.* Value of peak exercise oxygen consumption for optimal timing of cardiac transplantation of ambulatory patient, with heart failure. *Circulation*, 1991;83:778-786.
  7. ARENA R, MYERS J, ABELLA J *et al.* Development of a Ventilatory Classification System in Patients With Heart Failure. *Circulation*, 2007;115:2410-2417.
  8. GUAZZI M, ARENA R, ASCIONE A *et al.* Exercise oscillatory breathing and increased ventilation to carbon dioxide production slope in heart failure: an unfavourable combination with high prognostic value. *Am Heart J*, 2007;153:859-867.
  9. ARENA R, MYERS J, ABELLA J *et al.* The partial pressure of resting end-tidal carbon dioxide predicts major cardiac events in patients with systolic heart failure. *Am Heart J*, 2008;156:982-988.
  10. MYERS J, ARENA R, DEWEY F *et al.* A cardiopulmonary exercise testing score for predicting outcomes in patients with heart failure. *Am Heart J*, 2008;156:1177-1183.
  11. WASSERMAN K, HANSEN JE, SUE DY *et al.* Principles of exercise testing and interpretation including physiopathology and clinical applications, 4rd ed. Philadelphia, Lippincott, Williams & Wilkins. 585 pages.
  12. FARR MJ, LANG CC, LAMANCA JJ *et al.* Cardiopulmonary exercise variables in diastolic versus systolic heart failure. *Am J Cardiol*, 2008;102:203-206.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.