

UNIVERSITE DE NANTES

FACULTE DE MEDECINE

Année : 2017

N° 104

THESE

pour le

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

par

Nicolas JACOB

né le 4 juin 1988 à Viriat (Ain)

Présentée et soutenue publiquement le 10 juillet 2017

INTERET D'UN NOUVEAU TEST D'EFFORT :
L'ECHOCARDIOGRAPHIE D'EFFORT METABOLIQUE

Président : Monsieur le Professeur Jean-Noël TROCHU

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Thierry LE TOURNEAU

Remerciements

Merci aux membres du Jury.

Au Professeur Trochu, pour me faire l'honneur de présider mon Jury de Thèse. Merci pour votre écoute et votre soutien durant tout mon internat.

Au Professeur Le Tourneau, pour avoir été mon directeur de Thèse. Merci pour votre apprentissage rigoureux de l'échocardiographie et votre encadrement pour ce travail.

Aux Docteurs Cueff et Chambellan, pour accepter de juger ma Thèse.

Merci aux patients rencontrés depuis le début de mon cursus, et dont l'histoire a marqué mon esprit et forgé le médecin que je suis devenu.

Merci à toutes les équipes rencontrées au cours de mon internat.

A l'équipe de pneumologie 3^{ème} Sud, qui a vécu mes débuts d'interne et de nantais. Merci Machaou et Cécile : la pneumo, ça crée des liens ! Merci Marc, tu as su me sensibiliser à la médecine sociale.

A l'équipe de Saint Nazaire, où j'ai enfin découvert la cardiologie, et les joies de la côte. Merci Doc D. pour m'avoir accompagné dans mes premiers pas d'écho, entre deux rugissements, et pour nos road-trips de folie vers la plage.

A la dream-team du 2^{ème} Est, qui a supporté le cru d'internes de l'hiver 2013. Votre bonne humeur et votre esprit d'équipe ont été d'un précieux soutien. Je suis content de vous retrouver quelques années après ! Merci Jean-Pierre pour m'avoir fait découvrir ta vision de la médecine. Merci Mickaël pour cette entraide dans l'adversité.

A la petite équipe des explorations fonctionnelles : aux 3 Myriam (la grande, la petite, et celle de l'Hôtel-Dieu), à Brigitte et à Gloria, pour avoir survécu à 6 mois un peu dissipés, toujours soutenantes ! Merci Caro pour ton écoute et tes conseils avisés.

Aux infirmières et aide-soignant(es) de l'USIC, qui ont su apprécier le calme et le professionnalisme de nos visites. Merci le bon Sass de ne pas avoir trop réprimandé nos séances de chant avec Jicé.

A l'équipe de la CTCV et à toute l'équipe de l'UTT, avec qui j'ai appris la culture bretonne, celle du « petit jus », et l'art de prendre en charge des patients lourds. Merci Sabine, Monsieur Petit et Mag pour votre accueil dans le microcosme des transplantateurs. Apprendre à vos côtés est un honneur, votre pratique humaine et rigoureuse de la médecine reste un modèle pour moi.

A l'équipe de l'institut du thorax à l'IRS, Nathalie, Virginie, Zeina, Guillaume puis JB. Malgré mon scepticisme dans mes manipes et leurs résultats, l'ambiance était au rendez-vous !

A l'équipe de transplantation cardiaque de la Pitié, Professeur Leprince, Shaida, Salima et Guillaume pour votre accueil bienveillant et la transmission de votre expérience.

Au Professeur Probst et à la fière équipe des cardiologues nantais.

Merci à mes cointernes ancestraux de la promo 2012, Jean-Chat, mon binôme de choc, Florio, Néné et Ange : notre cohésion a fait notre force ! J'ai un peu hâte de redevenir votre égal !

Merci à ma famille.

A mes parents pour m'avoir fourni les capacités d'accéder à la cardiologie nantaise. Vous pouvez être soulagés, vos trois enfants ont enfin fini leurs études.

A mes sœurs pour votre soutien durant ces longues périodes de révision, à mettre la table et à se priver de flûte traversière. Plus d'excuse ni de privilège familial, je suis grand maintenant...

A mes grands-parents maternels pour votre présence discrète, toujours bienveillante, et votre accueil inconditionnel.

A mes grands-parents paternels, pour tous ces repas et discussions à La Tronche pendant mon externat. J'aurais été fier de partager cet aboutissement avec vous.

A la famille Benhamida, pour votre gentillesse et pour m'avoir intégré parmi vous.

Merci à mes amis.

A mes amis de médecine de Grenoble.

Janus, merci pour tous ces voyages sur le Pandora, merci d'avoir tenté l'aventure nantaise avec nous, au point d'y trouver ta femme, merci pour ta profonde générosité et cette amitié sans faille.

Moune, merci pour ta persévérance dans la navigation, merci pour nos sessions tuning post-ECN à Pont de Claix, merci pour ton humour et cette amitié qui dure.

Sim, merci pour ces années d'élus étudiant où nous étions si complémentaires, merci pour ton grain de folie qui m'a poussé à bivouaquer sous l'orage, merci pour cette amitié à faire vivre.

Pap's et Hélène (grenobloise de cœur), Vachard et toute la clique de meufs, merci de m'avoir accepté parmi vous et pour tous ces bons moments ensemble.

Kathoune et Marie, merci pour ces souvenirs en Irlande, à St Trop ou à Quiberon.

A mes amis de médecine de Nantes, rassemblés au sein de l'indispensable corporation hétéroclite de la Foncky Family : Vaness, la fondatrice, merci pour ta généreuse et réconfortante amitié ; Guigui, Julie, merci d'avoir conquis le cœur de Janus, j'étais fier d'être à vos côtés à Belle-Ile ; Jean-Chat, Mamahude et Rémal, Dash, Numa, Jess et Erwan, Maëlle et Vincent, Jean-Karl. Ces week-ends restent des souvenirs inoubliables. Vivement les prochains ! <3

A mon quota de non médecine, déjà là avant ces longues études.

Larry, merci pour ton amitié indéfectible malgré la distance et nos vies si différentes.

Clém et Nono, merci pour votre soutien pendant toutes ces années grenobloises, pour les soirées de coinche et ces vacances à La Redonne.

Clém, Hervé, merci pour ces années d'entraînements d'aviron assidus qui ont aiguisé ma persévérance et créé des amitiés solides.

Steph, merci pour les années lycées, et pour tes appels réguliers.

Et surtout merci Myriam pour ton soutien pendant ce long chemin d'étudiant parcouru à deux, pour ton énergie d'anticipation qui a permis la découverte de mondes inconnus, et pour tout le reste, passé et à venir...

Table des abréviations

bpm : battement par minute
CMH : cardiomyopathie hypertrophique
CO₂ : dioxyde de carbone
DavO₂ : différence artério-veineuse en oxygène
DC : débit cardiaque
ECG : électrocardiogramme
ETT : échocardiographie trans-thoracique
FC : fréquence cardiaque
FEVG : fraction d'éjection ventriculaire gauche
FMT : fréquence cardiaque maximale théorique
HR : hazard ratio
HTP : hypertension pulmonaire
IA : insuffisance aortique
IM : insuffisance mitrale
IRM : imagerie par résonance magnétique
IC_{95%} : intervalle de confiance à 95%
IT : insuffisance tricuspide
ITV : intégrale temps-vitesse
NYHA : New York Heart Association
O₂ : oxygène
PAPs : pression artérielle pulmonaire systolique
PAS : pression artérielle systolique
PAD : pression artérielle diastolique
PetCO₂ : pression partielle en CO₂ en fin d'expiration
PetO₂ : pression partielle en O₂ en fin d'expiration
QR : quotient respiratoire
RAC : rétrécissement aortique calcifié
SV1 : premier seuil ventilatoire
TAPSE : tricuspid annular plane systolic excursion soit déplacement longitudinal de la partie latérale de l'anneau tricuspide
VE : débit de ventilation minute
VES : volume d'éjection systolique
VCO₂ : débit d'expiration de dioxyde de carbone
VO₂ : débit de consommation d'oxygène
VTDVG : volume télédiastolique du ventricule gauche
VTSVG : volume télésystolique du ventricule gauche

Table des matières

GENERALITES.....	1
Cardiomyopathies et symptômes	1
Les différents examens de stress.....	2
Les différentes indications	4
Insuffisance cardiaque non ischémique à FEVG préservée ou altérée	4
Cardiomyopathie valvulaire	5
Cardiomyopathie ischémique	5
Cardiomyopathie hypertrophique.....	6
Dyspnée d'effort inexpliquée	7
L'échocardiographie d'effort métabolique.....	8
INTRODUCTION.....	10
MATERIEL ET METHODES	11
Modèle de l'étude	11
Population d'étude	11
Réalisation de l'examen.....	11
Recueil des données	12
Objectif principal	13
Objectifs secondaires.....	13
Analyse statistique.....	14
RESULTATS.....	15
Description de la population.....	15
Effectifs	15
Données démographiques	16
L'échocardiographie d'effort métabolique.....	20
Les indications	20
Données d'épreuve d'effort simple	21
Données d'échocardiographie d'effort	22

Données d'épreuve d'effort métabolique	23
Critère de maximalité du test d'effort	26
Apport des différentes phases de l'examen	27
Analyse pronostique	28
Détermination du seuil pronostique du pic de VO ₂ dans la cohorte.....	29
Analyse de survie	29
Analyse pronostique uni et multivariée selon le modèle de Cox	32
Valeur pronostique additionnelle de chaque composante.....	34
DISCUSSION.....	35
Généralités	35
Validation de l'échocardiographie d'effort métabolique	36
Validation de l'épreuve d'effort métabolique semi-couchée et faisabilité.....	36
Maximalité de l'effort	36
Valeur diagnostique	37
Hétérogénéité de la population ciblée.....	37
Evaluation de la symptomatologie d'effort	37
Valeur pronostique.....	38
Valeur pronostique du pic de VO ₂ < 75% de la théorique	38
Valeur pronostique de l'examen	39
Limites	40
CONCLUSION	40
BIBLIOGRAPHIE.....	41
ANNEXES.....	46

Table des figures et illustrations

Figure 1 : Diagramme de flux	15
Figure 2 : Distribution de la classe fonctionnelle NYHA	16
Figure 3 : Répartition des indications.....	20
Figure 4 : Comparaison du pic de VO_2 semi-couché / assis	23
Figure 5 : Corrélation du pic de VO_2 en fonction de la position et Bland-Altman plot	23
Figure 6 : Comparaison du pic de VO_2 en fonction de la classe NYHA.....	24
Figure 7 : Pourcentage de la FMT en fonction du QR au pic	26
Figure 8 : Survie sans événement en fonction du pourcentage de pic de VO_2	30
Figure 9 : Survie sans événement en fonction du QR au pic	30
Figure 10 : Survie sans événement en fonction de l'aspect de la pente VD/Vt	31
Figure 11 : Survie sans événement en fonction de la puissance circulatoire	31
Figure 12 : Modèle de Cox par bloc successif de la valeur pronostique de l'examen.....	34
Figure 13 : Survie en fonction du pourcentage de VO_2 au 1er seuil ventilatoire.....	46
Figure 14 : Survie en fonction du temps de demi-récupération de VO_2	46
Figure 15 : Survie en fonction de la $PetCO_2$ au pic	47
Figure 16 : Survie en fonction de la puissance ventilatoire	47
Tableau 1 : Caractéristiques de la population étudiée	17
Tableau 2 : Echocardiographie de repos	18
Tableau 3 : Protocoles d'épreuve d'effort	21
Tableau 4 : Epreuve d'effort simple	21
Tableau 5 : Echocardiographie d'effort	22
Tableau 6 : Epreuve d'effort métabolique	25
Tableau 7 : Apport des différentes composantes.....	27
Tableau 8 : Description des événements.....	28
Tableau 9 : Analyse pronostique uni et multivariée.....	33

GENERALITES

Cardiomyopathies et symptômes

Les cardiomyopathies d'évolution chronique, quelle que soit leur étiologie, présentent un tournant pronostique dès qu'apparaissent des symptômes à l'effort (1,2). Ces symptômes témoignent d'une altération des capacités fonctionnelles à l'effort, liée à un déséquilibre entre les apports et les besoins en oxygène : le cœur perd ses capacités d'augmentation du débit cardiaque par augmentation de la fréquence cardiaque (FC) et du volume d'éjection systolique (VES).

En effet, l'exercice physique nécessite le bon fonctionnement de plusieurs organes (figure ci-dessous) : une ventilation et une diffusion pulmonaire, un transport de l'oxygène (O_2) et du dioxyde de carbone (CO_2) via la circulation sanguine et le cœur, et une respiration interne avec diffusion des gaz aux muscles (3). A l'effort, l'augmentation de la consommation musculaire en O_2 est permise par l'augmentation de l'apport sanguin via l'augmentation du débit cardiaque (DC) ainsi que par l'augmentation de l'extraction sanguine en O_2 (se traduisant par une augmentation de la différence artério-veineuse en O_2 ou $DaVO_2$). L'intolérance à l'effort peut donc avoir des étiologies multiples.

La difficulté d'évaluation du retentissement des cardiomyopathies à l'effort réside dans le caractère peu spécifique des symptômes. S'y associent également des limitations extra-cardiaques. Ce constat est d'autant plus important que la précocité de la prise en charge est fondamentale. En effet, l'histoire naturelle de ces cardiomyopathies devenues symptomatiques se fait vers une dégradation irréversible de la fonction cardiaque, avec apparition de symptômes au repos et retentissement systémique, hépatique ou rénal. C'est la raison pour laquelle la capacité fonctionnelle à l'effort est un facteur pronostique de mortalité important, quelle que soit la population étudiée (4).

Une fois le diagnostic cardiologique posé grâce à l'examen habituel (examen physique, électrocardiogramme (ECG), échocardiographie transthoracique (ETT) de repos), l'interrogatoire s'attache donc à préciser la présence de symptôme : classification de la dyspnée selon la classe NYHA, présence de fatigabilité, d'angor, de palpitation ou de malaise. On s'intéressera à la chronologie des symptômes et aux comorbidités associées (antécédents pneumologiques, anémie, dénutrition...). Le praticien dispose ensuite de différents examens complémentaires visant à dépister d'éventuels symptômes et à en préciser leur étiologie.

Les différents examens de stress

Dans la pratique cardiologique courante, les examens de stress ont une place centrale dans la stratégie de prise en charge des patients. Ils sont utiles pour rechercher une étiologie à une dyspnée inexpliquée, confirmer le caractère asymptomatique d'une valvulopathie sévère ou observer le retentissement sur les capacités fonctionnelles d'une pathologie cardiaque à l'effort.

Plusieurs examens sont disponibles en pratique courante.

L'épreuve d'effort simple sur cyclo-ergomètre ou tapis roulant permet le monitoring de l'ECG, de la pression artérielle et de la charge développée.

L'ETT de stress, à l'effort sur cyclo-ergomètre en position semi-couchée, ou sous stress pharmacologique (inotrope et chronotrope de type DOBUTAMINE), apporte une analyse échocardiographique au cours de l'effort et en récupération. Cet examen est peu coûteux, non irradiant et facilement disponible (5).

La scintigraphie myocardique de stress, à l'effort ou sous stress pharmacologique (vasoconstricteur type DIPYRIDAMOLE), est un examen de médecine nucléaire utile pour l'exploration de l'ischémie myocardique en cas de faible échogénicité.

L'IRM cardiaque de stress, moins disponible, permet une analyse fine et dynamique des volumes ventriculaires et du myocarde à l'effort.

Le cathétérisme cardiaque droit d'effort, examen hyperspécialisé, apporte dans certaines situations cliniques précises des informations sur l'évolution des pressions pulmonaires à l'effort.

L'épreuve d'effort métabolique (ou Cardio-Pulmonary Exercise Test, CPET), enfin, est un examen moins couramment utilisé en pratique cardiologique. Elle permet l'évaluation indépendante et intégrée des réponses des systèmes cardiovasculaires et pulmonaires par l'enregistrement du débit de consommation d'O₂ (VO₂) et d'élimination du CO₂ (VCO₂). Elle est principalement dédiée en cardiologie à l'évaluation pronostique des patients en insuffisance cardiaque sévère en vue d'une transplantation cardiaque, ou dans le cadre de la réadaptation cardiovasculaire afin de définir des objectifs de réentraînement (3).

Le pic de VO₂ est le témoin de la capacité maximale d'un patient à l'effort. Il est déterminé par l'équation de Fick : pic de VO₂ = DC x DavO₂ soit VO₂ = VES x FC x DavO₂ (6).

Chaque paramètre dépend de nombreux facteurs : le VES dépend du volume télédiastolique du ventricule gauche, ou VTDVG (donc du retour veineux et de la compliance ventriculaire gauche) et du volume télésystolique, ou VTSVG (et donc de l'inotropie et de la postcharge) ; la FC dépend de l'âge et du système sympathique ; la DavO₂ dépend de la contenu artériel en O₂ (dépendant de la pression partielle artérielle en O₂, de l'hémoglobine et de la volémie) et du contenu veineux en O₂ (dépendant de l'extraction et de la masse musculaire).

Les principaux paramètres étudiés en cardiologie sont : le pic de VO₂ (exprimé en ml/kg/min ou en pourcentage de la valeur théorique prédite selon Wassermann), le rapport VE/VCO₂ avec VE correspondant à la ventilation minute, la puissance circulatoire (pression artérielle systolique (PAS) au pic multipliée par le pic de VO₂ en ml/kg/min), la puissance ventilatoire (PAS au pic divisée par le rapport VE/VCO₂), le pourcentage de la théorique du pic de VO₂ au premier seuil ventilatoire, orientant vers un déconditionnement périphérique en cas de seuil précoce, le pourcentage de la FC maximale théorique (FMT) au pic et le quotient respiratoire QR (VO₂/VCO₂), reflet de la maximalité de l'effort (7).

Cet examen permet une évaluation plus objective et plus globale des symptômes et de la capacité fonctionnelle à l'effort (8) : déconditionnement, participation pulmonaire, affranchissement de la variable motivationnelle.

L'épreuve d'effort métabolique a bénéficié récemment d'une mise à jour des recommandations (9), précisant les indications pour certaines populations : dyspnée inexpliquée, évaluation préopératoire d'une chirurgie non cardiaque (avec comme paramètres pronostiques la VO₂ au pic et au seuil anaérobie ainsi que la pente VE/VCO₂) et valvulopathies (hypertension pulmonaire (HTP) se traduisant par la pente VE/VCO₂ témoignant de l'efficacité pulmonaire, diminution du débit cardiaque via l'altération de la VO₂ témoignant de la capacité aérobie).

Les différentes indications

Les patients nécessitant la réalisation d'un examen de stress à visée cardiologique représentent un groupe hétérogène. Les recommandations des différentes sociétés savantes précisent les indications retenues pour les différentes pathologies.

Insuffisance cardiaque non ischémique à FEVG préservée ou altérée

L'insuffisance cardiaque est un syndrome clinique caractérisé par des symptômes (dyspnée, fatigue) secondaires à une anomalie cardiaque fonctionnelle ou structurelle induisant une diminution du débit cardiaque et/ou une élévation des pressions intracardiaques au repos ou à l'effort (2).

Le diagnostic d'insuffisance cardiaque à fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG) préservée est souvent difficile, avec des symptômes peu spécifiques. Le diagnostic est le fruit d'un faisceau d'argument, et l'ETT d'effort peut trouver sa place (10) chez des patients présentant une dyspnée d'effort avec une FEVG normale et des paramètres diastoliques indéfinis au repos (2,11) à la recherche d'une élévation des pressions de remplissage à l'effort (se traduisant par une élévation du rapport $E/E' > 13$) (12) ou d'une HTP (13).

Outre son apport diagnostique, l'ETT de stress apporte une valeur pronostique par l'étude de paramètres associés au pronostic, comme la vitesse maximale de l'insuffisance tricuspide (IT) au pic de l'effort (14). Elle permet également l'étude des paramètres associés aux capacités fonctionnelles à l'effort (pic de VO_2), également reconnu comme un facteur pronostique (15), comme le strain de l'oreillette gauche (16,17), ainsi que la dysfonction ventriculaire gauche diastolique (E/E') ou systolique (strain global longitudinal) et l'insuffisance chronotrope (18).

Dans l'insuffisance cardiaque à FEVG altérée, l'épreuve d'effort métabolique est un examen clé dans la stratification du risque de décès (19,20), grâce à la valeur pronostique du pic de VO_2 (principalement $< 50\%$ de la théorique) et de la pente de la courbe $VE/VCO_2 > 34$ (21–25), permettant de retenir ou non l'indication à une transplantation cardiaque.

Cardiomyopathie valvulaire

Dans les cardiomyopathies valvulaires, l'altération des capacités fonctionnelles est liée à une baisse du débit cardiaque antérograde (par augmentation de la post-charge ventriculaire gauche dans le RAC ou par régurgitation dans l'oreillette gauche en diastole pour l'IM).

L'ETT de stress trouve sa place dans l'évaluation de la sévérité des valvulopathies (5,26,27), dans des situations de symptomatologie douteuse (valvulopathie modérée symptomatique) ou dans la situation de RAC serré « bas débit – bas gradient » (2). Cet examen permet de mieux évaluer la valvulopathie et ses conséquences hémodynamiques, de relier les symptômes à une origine cardiaque, de stratifier le pronostic de certaines valvulopathies sévères et de démasquer des symptômes (1).

Dans le RAC serré asymptomatique, l'élévation du gradient moyen trans-aortique de plus de 20 mmHg est associée à un moins bon pronostic (1,28).

Dans l'IM sévère asymptomatique, l'échocardiographie d'effort cherche une élévation de la pression artérielle pulmonaire systolique (PAPs) ou une mauvaise adaptation ventriculaire gauche par surcharge volumétrique (29,30).

L'épreuve d'effort métabolique apporte une évaluation objective des capacités fonctionnelles à l'effort, et pointe les patients faussement asymptomatiques nécessitant une prise en charge spécifique.

Cardiomyopathie ischémique

L'ETT de stress, à la recherche de troubles de cinétique segmentaire à l'effort, est un excellent examen pour la stratification du risque de cardiomyopathie ischémique et pour l'évaluation pronostique de viabilité myocardique (5). En revanche, l'épreuve d'effort métabolique n'est pas classiquement recommandée dans ces situations cliniques, même si certaines études montrent un intérêt potentiel du pouls d'O₂ et de la pente VO₂/charge pour refléter la dysfonction ventriculaire gauche secondaire à l'ischémie myocardique d'effort (41).

Cardiomyopathie hypertrophique

Dans la CMH, l'intolérance à l'effort est due à une obstruction intra-ventriculaire gauche, à l'apparition d'une IM et d'une dysfonction ventriculaire gauche systolique ou diastolique.

L'épreuve d'effort simple cherche une réponse tensionnelle anormale et des troubles du rythme ventriculaire (31).

L'ETT de stress est recommandée chez les patients symptomatiques (angor, dyspnée, syncope) avec un gradient d'obstruction sous-aortique < 50 mmHg au repos (32), afin de rechercher une obstruction à l'effort nécessitant un traitement spécifique. En effet, il a été montré que deux tiers des patients ayant une CMH non obstructive présentent une obstruction intra-ventriculaire gauche latente (33).

Cette étude (33) a également montré, comme d'autres études (34,35), que le pic de VO_2 est altéré chez la plupart des patients, même ceux considérés comme asymptomatiques. Les recommandations retiennent un pic de $VO_2 < 75\%$ de la théorique comme marqueur d'une cardiopathie plus sévère (19). D'autres études ont montré l'intérêt pronostique du pourcentage de la théorique du pic de VO_2 dans la prédiction d'événement cardiovasculaire en analyse multivariée (35–37).

En revanche, l'ETT de stress n'a pas de place bien définie chez les patients asymptomatiques : elle pourrait être utile dans les situations où la présence d'une obstruction intra-ventriculaire gauche aurait un impact sur le mode de vie ou les thérapeutiques (32). L'apparition précoce d'une obstruction sous-aortique (gradient maximal > 30 mmHg) chez des patients asymptomatiques est associée à des capacités fonctionnelles à l'effort réduite et à un plus mauvais pronostic (38,39), tout comme l'apparition d'une IM à l'effort (40).

L'épreuve d'effort métabolique permet, dans le cadre d'un bilan d'hypertrophie ventriculaire gauche, de différencier une hypertrophie ventriculaire gauche pathologique d'une hypertrophie adaptative chez l'athlète en particulier : les paramètres ventilatoires sont normaux dans ce dernier cas (19).

Dyspnée d'effort inexpliquée

Chez des patients se plaignant d'une dyspnée à l'effort, sans anomalie à l'ETT de repos (ou simple hypertrophie ventriculaire gauche) ni pathologie pulmonaire, le recours à un test d'effort est rapide.

L'ETT de stress est indiquée dans l'évaluation d'une éventuelle étiologie cardiaque d'une dyspnée inexpliquée (5) : mise en évidence d'une HTP à l'effort (42), visualisation de troubles de cinétique segmentaire évocateurs de coronaropathie, apparition d'une dysfonction diastolique orientant vers le diagnostic d'insuffisance cardiaque à FEVG préservée...

L'épreuve d'effort métabolique est également efficace pour le diagnostic et la stratification pronostique de l'hypertension artérielle pulmonaire d'effort (19,43), grâce aux paramètres VE/VCO_2 et premier seuil ventilatoire. Elle permet d'explorer également la présence éventuelle d'une limitation musculaire périphérique par déconditionnement (44) ou respiratoire.

Enfin, dans l'hypertension artérielle pulmonaire idiopathique, l'association d'une l'altération de la fonction ventriculaire droite à l'effort et d'une baisse du pouls d' O_2 est corrélée à un moins bon pronostic (45).

L'échocardiographie d'effort métabolique

L'ETT d'effort et l'épreuve d'effort métabolique apportent des informations complémentaires dans l'évaluation des capacités fonctionnelles à l'effort.

Depuis mars 2012, parallèlement à quelques laboratoires d'échocardiographie dans le monde, nous avons développé un nouvel examen d'effort : l'échocardiographie d'effort métabolique, qui regroupe dans un même examen une échocardiographie d'effort et une épreuve d'effort métabolique.

Patient en cours d'échocardiographie d'effort métabolique



Des données préliminaires issues de cet examen ont été publiées dans des populations ciblées ne dépassant pas 140 patients.

L'équipe de Bandera et al. (46) a montré, chez des patients adressés pour dyspnée, le lien entre l'aplatissement de la courbe VO_2 /charge à l'effort et le défaut de couplage ventricule droit – artère pulmonaire (évalué par les PAPs et le TAPSE à l'effort).

Borghi-Silva et al. (47) ont mis en évidence chez des patients présentant une insuffisance cardiaque à FEVG altérée, qu'une puissance ventilatoire ($PAS / VE/VCO_2$) < 3.5 mmHg est

associée à une altération de l'hémodynamique cardio-pulmonaire à l'effort (reflétée par des paramètres échocardiographiques et métaboliques). Une autre étude (48) a montré que, chez des patients présentant un cœur normal, avec insuffisance cardiaque à FEVG conservée ou altérée, et consultant pour dyspnée, les prédicteurs du pic de VO_2 étaient la DavO_2 (témoignant d'une atteinte périphérique), et la FC (reflet de la réponse chronotrope).

Plusieurs cas cliniques ont également rapporté le bénéfice de l'échocardiographie d'effort métabolique dans l'aide à la décision thérapeutique dans la CMH avant et après myomectomie (49) ou le RAC serré bas gradient avant et après remplacement valvulaire (50). On constate la présence d'une relation entre le phénotype fonctionnel à l'épreuve d'effort métabolique et l'anomalie échocardiographique.

Cependant, l'impact pronostique additionnel de cet examen couplé dans la prise en charge du patient, par rapport à l'échocardiographie d'effort, n'a jamais été évalué.

Nous avons donc réalisé une étude pilote visant à évaluer l'efficacité diagnostique et la valeur pronostique de l'échocardiographie d'effort métabolique effectuée en routine au CHU de Nantes depuis 2012 dans la prise en charge des patients.

Nous avons également voulu valider, pour notre population hétérogène des patients, différents paramètres de l'épreuve d'effort métabolique habituellement utilisés dans des pathologies précises comme l'insuffisance cardiaque, en essayant de définir des seuils pronostiques.

Enfin, nous vérifierons la validité des paramètres ventilatoires dans la position d'effort semi-couchée. En effet, sur le plan physiologique, le retour veineux est plus élevé par rapport à la position verticale, ayant des conséquences sur la précharge et donc sur l'hémodynamique cardiaque.

INTRODUCTION

Les explorations fonctionnelles à l'effort présentent une place stratégique dans la prise en charge des pathologies cardiovasculaires chroniques comme les valvulopathies (1) ou l'insuffisance cardiaque (2). L'échocardiographie d'effort est un examen de routine en cardiologie. Elle présente une valeur diagnostique en cas de discordance entre les symptômes et la sévérité de la valvulopathie (27) ou dans l'exploration d'une dyspnée (5). Cet examen a également une valeur pronostique dans les valvulopathies (HTP d'effort, mauvaise adaptation ventriculaire gauche systolique ou diastolique). L'épreuve d'effort métabolique (3), consistant en l'analyse des gaz expirés à l'effort, a une place plus limitée en cardiologie. Elle est principalement utilisée pour l'évaluation pronostique des patients présentant une insuffisance cardiaque à FEVG altérée (19), avec de nombreux paramètres décrits, principalement le pic de VO_2 (20,51). Elle permet également de rechercher une limitation fonctionnelle d'origine extra-cardiaque, respiratoire ou musculaire périphérique (44).

Un nouvel examen d'effort est développé depuis quelques années, au CHU de Nantes et dans de rares centres de par le monde, couplant l'échocardiographie d'effort à l'analyse des gaz expirés : l'échocardiographie d'effort métabolique, ou Cardio-Pulmonary Exercise Echocardiography Test (CPEET). Plusieurs équipes ont déjà publié des travaux préliminaires montrant un lien entre des paramètres échocardiographiques et de l'épreuve d'effort métabolique (CPET) (46,47).

L'objectif de notre travail était d'évaluer ce nouvel examen d'effort dans la pratique courante d'un laboratoire d'échocardiographie expert. A cet effet, nous avons 1) évalué la validité de la mesure des gaz expirés en position semi-couchée par rapport à un examen en position assise, 2) recherché l'apport diagnostique de l'épreuve d'effort métabolique en complément de l'échocardiographie d'effort, et enfin 3) évalué l'intérêt pronostique de ce nouvel examen dans une population hétérogène de patients adressés dans un centre tertiaire.

MATERIEL ET METHODES

Modèle de l'étude

Cette étude est une étude pilote observationnelle, rétrospective, monocentrique, sur des patients consécutifs, non contrôlée, d'évaluation d'un nouvel examen d'effort.

Population d'étude

Tous les patients adultes qui ont bénéficié d'une échocardiographie d'effort métabolique au CHU de Nantes entre mars 2012 (début de la réalisation de l'examen au CHU de Nantes) et juillet 2014 ont été inclus. Seuls les patients âgés de moins de 16 ans ou porteurs d'une assistance mono-ventriculaire gauche étaient exclus.

Réalisation de l'examen

Tous les examens ont été réalisés sur le même matériel comprenant un module d'épreuve d'effort Marquette CASE (GE Healthcare, Waukesha, USA), un module d'ergospirométrie PowerCube GE (Ganshorn Medizin, GE Healthcare, Finlande) avec analyse sur logiciel fourni LF8, un cyclo-ergomètre semi-couché Ergoselect 1200 (Ergoline GmbH, Bitz, Allemagne) et un échographe Vivid E9 (GE Healthcare, Norvège). L'examen était réalisé par des opérateurs entraînés avec l'aide d'une infirmière.

L'ECG était enregistré en continu et la pression artérielle était mesurée à chaque palier au brassard huméral. Le contrôle de la charge était adapté au protocole sélectionné. Le capteur de gaz était étalonné avant chaque examen. Une spirométrie simple était réalisée au début de l'examen. La VO_2 , VCO_2 , la fréquence respiratoire (FR), la pression en fin d'expiration $PetO_2$ et $PetCO_2$ étaient enregistrées en continu. Le pic de VO_2 était la valeur de la VO_2 au pic de l'effort. Le 1^{er} seuil ventilatoire était déterminé automatiquement par le logiciel LF8 et réajusté si besoin, tout comme la pente de la courbe VE/VCO_2 ainsi que les valeurs théoriques calculées pour chaque patient.

L'échocardiographie transthoracique (ETT) de repos complète était réalisée en position allongée avec un échographe Vivid E9 (GE Healthcare, Norvège). Les vues standards para-sternale, apicale et sous-costale étaient enregistrées. L'échocardiographie d'effort était ensuite réalisée sur le cyclo-ergomètre semi-couché, avec acquisition des images pour un effort modéré, au pic et en

récupération. Au minimum, les coupes apicales 5, 4 et 2 cavités étaient enregistrées. Dans la mesure du possible, une mesure de l'ITV sous-aortique et du gradient maximal trans-tricuspidé était également obtenue. Le cas échéant, l'évaluation des valvulopathies à l'effort était réalisée.

L'examen était arrêté pour épuisement avec un quotient respiratoire (QR) maximal (supérieur ou égal à 1,1), ou en cas d'apparition de symptômes ou d'anomalies à l'ECG (tachycardie ventriculaire soutenue, douleur thoracique avec modification de la repolarisation...).

Recueil des données

Les données cliniques (principaux antécédents, facteurs de risque cardiovasculaire, traitement habituel) et biologiques (NT-pro-BNP, hémoglobinémie) ont été recueillies à partir des courriers médicaux présents dans le dossier papier et informatisé. Le suivi a été réalisé par appel téléphonique du patient ou consultation du dossier informatisé du patient du CHU de Nantes, entre janvier et octobre 2016.

Les données échocardiographiques au repos et à l'effort ont été recueillies a posteriori via le compte-rendu de l'examen et via relecture des images et des feuilles de calcul sur la station de travail EchoPAC (GE Healthcare, Norvège).

Les données de l'épreuve d'effort métabolique ont été recueillies sur le rapport établi automatiquement par le logiciel LF8 (GE Healthcare, Finlande).

Toutes les données ont été colligées sur un fichier codé Excel (Microsoft).

La recherche d'une autre épreuve d'effort métabolique réalisée sur cycle au sein du service des Explorations Fonctionnelles du CHU de Nantes, site Laënnec, a été effectuée sur le logiciel LF8 du Marquette CASE et les données ont été également recueillies le cas échéant. Ont été conservés pour l'analyse les examens sur cycle réalisés dans un délai de 5 mois autour de l'échocardiographie d'effort métabolique, si aucun événement interférant avec l'état clinique du patient n'était retrouvé dans l'intervalle.

Les patients étaient classés comme ayant une symptomatologie sévère ou non avant l'examen. Ce classement était défini en fonction de l'anamnèse de la pathologie (symptomatologie antérieure à type d'insuffisance cardiaque ou de trouble du rythme), de l'intensité des thérapeutiques nécessaires (principalement la posologie des diurétiques) et de la symptomatologie rapportée au moment de l'examen (basé sur le stade NYHA).

Pour l'analyse pronostique, lorsqu'un patient avait réalisé plusieurs échocardiographies d'effort métabolique, seule la plus ancienne était conservée.

Objectif principal

L'objectif principal de ce travail était d'évaluer l'intérêt pronostique de l'échocardiographie d'effort métabolique par rapport à l'échocardiographie d'effort simple.

Le critère de jugement principal était l'apparition d'un critère composite d'événement cardiovasculaire comprenant : la mortalité cardiovasculaire, l'apparition de signe d'insuffisance cardiaque (hospitalisation pour insuffisance ventriculaire, aggravation d'une dyspnée), de troubles du rythme atrial ou ventriculaire soutenu ou d'événement thrombo-embolique artériel.

L'apport de chaque partie de l'examen était analysé séparément, en se basant sur les recommandations. Chaque partie était considérée comme informative lorsque sa conclusion induisait d'emblée une modification diagnostique ou de la prise en charge.

L'ETT de repos était considérée comme informative si la prise en charge ne nécessitait pas les données d'un examen à l'effort : RAC serré symptomatique avec altération de la FEVG, cardiomyopathie dilatée sévère symptomatique, HTP au repos...

L'épreuve d'effort simple était considérée comme informative lorsqu'apparaissaient des anomalies permettant d'affirmer le caractère symptomatique de la pathologie cardiaque : troubles du rythme cardiaque soutenus, signes d'ischémie à l'ECG, profil tensionnel anormal ou symptôme faisant arrêter prématurément l'examen.

L'échocardiographie d'effort était considérée comme informative lorsqu'elle mettait en évidence des anomalies décrites dans les recommandations comme étant une preuve de sévérité de la pathologie sous-jacente : altération de la FEVG, apparition d'une HTP (PAPs ≥ 60 mmHg), obstruction intra-ventriculaire, valvulopathie sévère...

L'analyse des gaz expirés à l'effort était considérée comme informative en cas d'altération des paramètres classiques, ou au contraire en cas de normalité, permettant d'éliminer une origine cardiaque aux symptômes présentés par le patient.

Objectifs secondaires

Les objectifs secondaires de cette étude étaient d'évaluer la validité de l'épreuve d'effort métabolique semi-couchée par rapport à l'épreuve d'effort métabolique sur cycle, ainsi que d'évaluer l'intérêt diagnostique de l'examen.

Analyse statistique

Les statistiques descriptives des variables quantitatives ont été exprimées en moyenne et déviation standard et comparées par le test de Student, et en effectif et pourcentage pour les variables qualitatives, comparées par le test du Chi2 ou de Fisher selon les critères de validité.

La comparaison des valeurs de VO_2 en fonction de la position a été réalisée par le test de Wilcoxon apparié, et l'analyse de corrélation par test de Spearman.

La stratification des patients en 2 groupes a été réalisée en fonction de la capacité fonctionnelle : une valeur seuil de 75% de la théorique pour le pic de VO_2 a été choisi, en se basant sur les recommandations sur la CMH (19). La comparaison de groupes a été faite par le test de Fisher (variable non paramétrique).

L'analyse de survie a été réalisée par une courbe de Kaplan-Meier avec test de Log-Rank et modèle de Cox univarié. Les résultats ont été présentés en hazard ratio (HR) et intervalle de confiance à 95% (IC_{95%}).

Un modèle de Cox multivarié étape par étape a permis l'analyse des déterminants du pronostic pour le critère composite.

L'analyse de l'intérêt pronostique de chaque composante de l'examen a été faite par modèle de Cox par blocs successifs permettant d'évaluer la valeur ajoutée de chaque composante de l'examen par rapport à la composante précédente.

Une valeur de $p \leq 0,05$ bilatérale était considérée comme significative.

Les graphiques et l'analyse de survie ont été réalisés sur le logiciel GraphPad 5 (Prism) ; l'analyse statistique uni et multivariée a été réalisée sur le logiciel SPSS (IBM).

RESULTATS

Description de la population

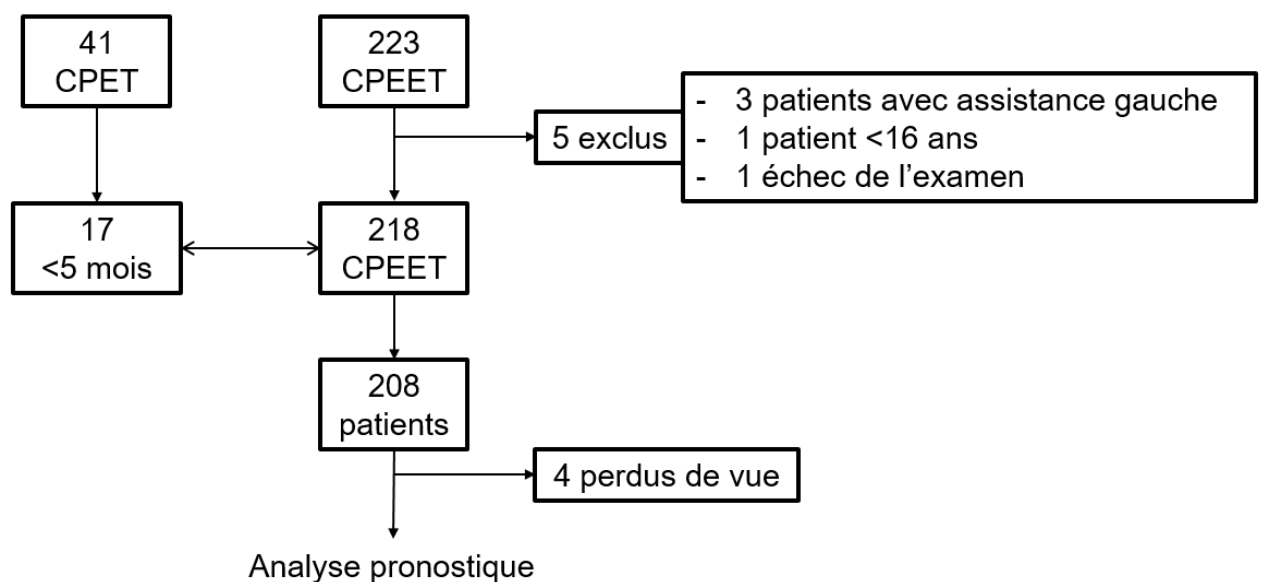
Effectifs

Entre mars 2012 et juillet 2014, 223 patients ont réalisé une échocardiographie d'effort métabolique (Figure 1). Cinq patients ont été secondairement exclus : 1 patient de moins de 16 ans, 3 patients porteurs d'une assistance mono-ventriculaire gauche à débit continu et 1 patiente de 87 ans n'ayant pas réussi à fournir un effort pour des problèmes orthopédiques.

Deux-cent-dix-huit examens ont donc été inclus, correspondant à 208 patients différents (1 patient avec 3 examens et 8 patients avec 2 examens).

Parmi les 208 patients, 41 ont réalisé en plus une épreuve d'effort métabolique (CPET) isolée, dont 17 dans un délai maximum de 5 mois avant ou après l'échocardiographie d'effort métabolique (CPEET), sans modification thérapeutique ou fonctionnelle dans l'intervalle.

Figure 1 : Diagramme de flux

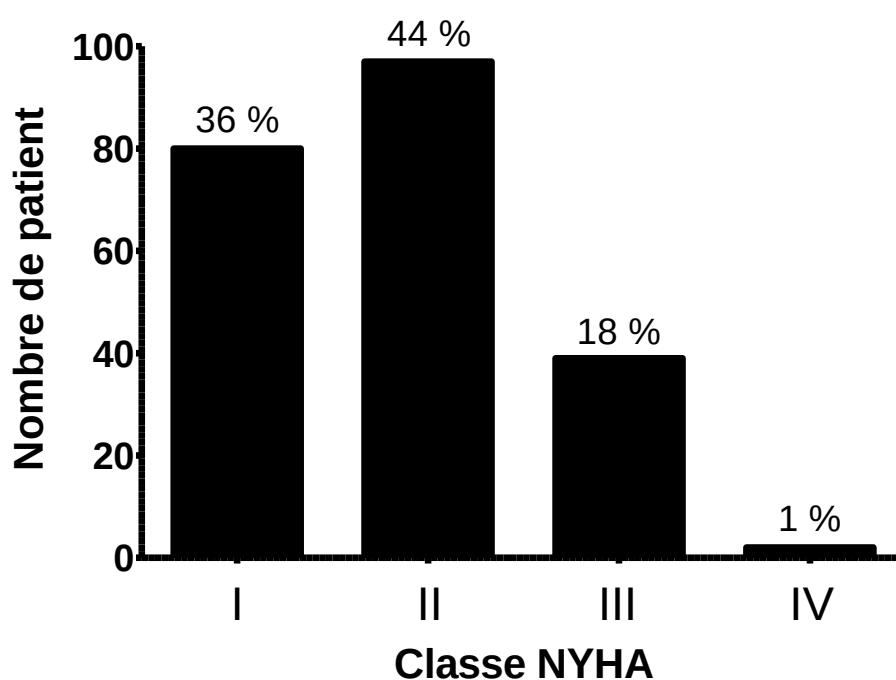


Données démographiques

La description de la population d'étude est décrite dans le Tableau 1. L'âge moyen est de 57 ans, il existe une discrète prédominance masculine (64% de la population). Dix-neuf pourcent des patients sont en statut fonctionnel NYHA III-IV.

La distribution du statut fonctionnel selon la classe NYHA est détaillée sur la Figure 2. Trente-six pourcent des patients sont asymptomatiques (NYHA I) avant l'examen.

Figure 2 : Distribution de la classe fonctionnelle NYHA



Les données de l'échocardiographie de repos sont détaillées dans le Tableau 2 : la FEVG moyenne est normale ($61 \pm 12\%$). La taille moyenne du ventricule gauche et le débit cardiaque moyen sont normaux. Vingt-trois pourcent des patients présentent un rapport $E/E' > 12$, en faveur de pressions de remplissage ventriculaire gauche élevées.

Tableau 1 : Caractéristiques de la population étudiée

<i>Moyenne ± écart-type ou effectif (pourcentage)</i>	Tous	Pic de VO₂ ≥ 75% théorique	Pic de VO₂ < 75% théorique	p
Données cliniques	(n=218)	(n=142)	(n=76)	
Sexe masculin, n (%)	140 (64)	86 (61)	54 (71)	0.12
Age, ans	57.2 ±15.6	58.6 ±15.5	54.5 ±15.5	0.07
Surface corporelle, m ²	1.86 ±0.22	1.85 ±0.22	1.87 ±0.21	0.38
Symptômes				
Classe NYHA III et IV, n (%)	41 (19)	12 (9)	29 (38)	<0.0001
Antécédent d'insuffisance cardiaque, n (%)	29 (13)	10 (7)	19 (25)	0.0002
Antécédent d'arythmie supraventriculaire, n (%)	35 (16)	20 (14)	15 (20)	0.045
Rythme sinusal lors de l'examen, n (%)	199 (91)	133 (94)	66 (87)	0.09
Facteurs de risque cardiovasculaire / comorbidités				
Coronaropathie, n (%)	30 (14)	11 (8)	19 (25)	0.0004
Tabagisme, n (%)	60 (28)	30 (21)	30 (40)	0.004
Hypertension artérielle, n (%)	86 (39)	51 (36)	35 (46)	0.14
Diabète, n (%)	16 (7)	5 (4)	11 (15)	0.003
Dyslipidémie, n (%)	67 (31)	42 (30)	25 (33)	0.61
Surpoids (IMC > 25 kg/m ²), n (%)	112 (5)	68 (48)	44 (58)	0.16
Pathologie pulmonaire chronique, n (%)	27 (12)	15 (11)	12 (16)	0.26
NTproBNP, ng/l	583 ±914	431 ±712	779 ±1010	0.07
Hémoglobinémie, g/dl	13.8 ±1.6	13.8 ±1.5	13.8 ±1.6	0.78
Traitement				
Traitement cardiotrope, n (%)	118 (54)	67 (47)	51 (67)	0.005
β-bloquant, n (%)	80 (37)	45 (32)	35 (46)	0.036
IEC ou ARA2, n (%)	54 (25)	31 (22)	23 (30)	0.17
Diurétique, n (%)	32 (15)	15 (11)	17 (22)	0.005
Pathologie cardiovasculaire				
Valvulopathies aortiques (RAC et IA) sévères, n (%)	33 (15)	24 (17)	9 (12)	0.32
Valvulopathies mitrales (IM et RM) sévères, n (%)	57 (26)	42 (30)	15 (20)	0.11
Valvulopathies non sévères, n (%)	27 (12)	16 (11)	6 (8)	0.43
Cardiomyopathies (hypertrophiques, dilatées), n (%)	35 (16)	21 (15)	19 (25)	0.06
Cardiopathies diverses (post-opératoire, congénital), n (%)	28 (13)	13 (9)	15 (20)	0.02
Dyspnée inexpliquée, n (%)	38 (18)	26 (18)	12 (15)	0.64

Tableau 2 : Echocardiographie de repos

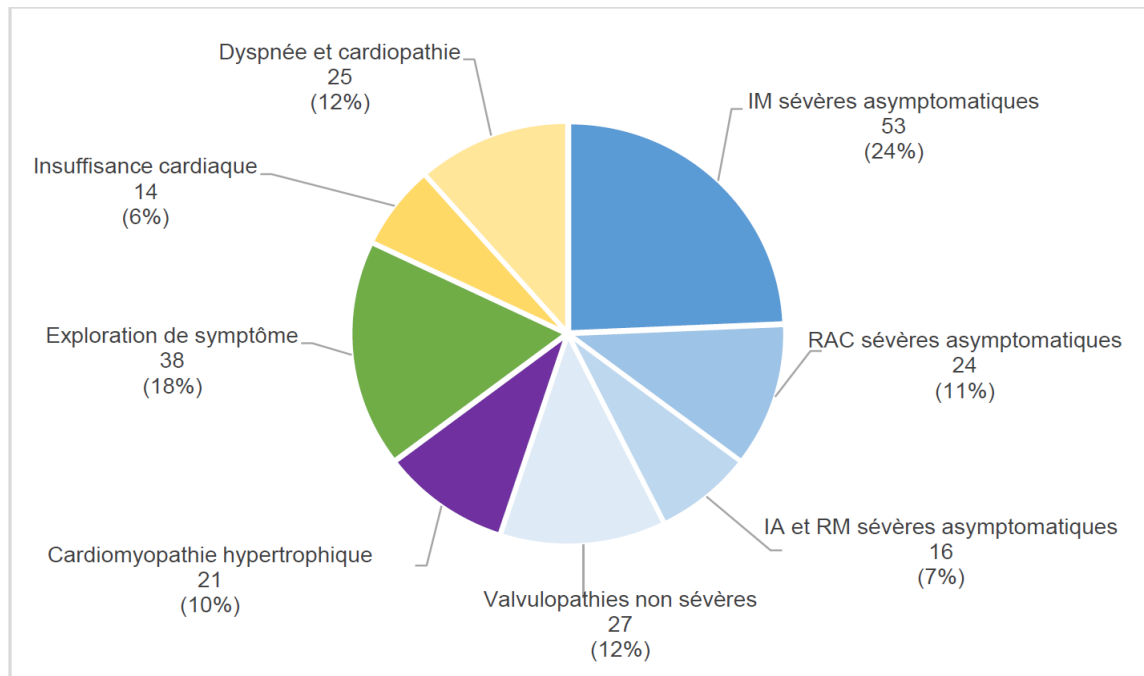
1/2 Moyenne $\pm$ écart-type ou effectif (pourcentage)	Tous	Pic de VO₂	Pic de VO₂	p
Morphologie / fonction systolique	(n=218)	$\geq 75\%$ théorique (n=142)	$< 75\%$ théorique (n=76)	
Fréquence cardiaque, bpm	73 $\pm$ 14	72 $\pm$ 13	75 $\pm$ 16	0.06
DTDVG, mm	54 $\pm$ 9	53 $\pm$ 8	54 $\pm$ 11	0.68
DTSVG, mm	36 $\pm$ 9	35 $\pm$ 8	37 $\pm$ 12	0.22
SIVd, mm	10 $\pm$ 4	10 $\pm$ 4	11 $\pm$ 5	0.80
PPd, mm	9 $\pm$ 2	9 $\pm$ 2	9 $\pm$ 2	0.97
Fraction de raccourcissement, %	34 $\pm$ 10	35 $\pm$ 9	33 $\pm$ 11	0.20
Masse VG (ASE), g	212 $\pm$ 93	209 $\pm$ 85	219 $\pm$ 109	0.44
VTDVG biplan Simpson, ml	123 $\pm$ 59	121 $\pm$ 52	127 $\pm$ 70	0.49
VTSVG biplan Simpson, ml	51 $\pm$ 38	47 $\pm$ 26	58 $\pm$ 54	0.046
FEVG biplan Simpson, %	61 $\pm$ 12	62 $\pm$ 10	58 $\pm$ 14	0.18
VES, ml	77 $\pm$ 26	80 $\pm$ 24	72 $\pm$ 29	0.04
Débit cardiaque, l/min	5.6 $\pm$ 1.8	5.4 $\pm$ 1.6	5.3 $\pm$ 2.0	0.17
Index cardiaque, l/min/m ²	3.0 $\pm$ 0.9	3,1 $\pm$ 0.8	2.9 $\pm$ 1.1	0.11
Fonction diastolique et ventriculaire droite				
E, cm/s	0.9 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.3	0.14
A, cm/s	0.7 $\pm$ 0.3	0.7 $\pm$ 0.3	0.7 $\pm$ 0.3	0.60
E/A	1.3 $\pm$ 0.7	1.2 $\pm$ 0.5	1.5 $\pm$ 0.9	0.003
TDE, ms	207 $\pm$ 76	216 $\pm$ 78	188 $\pm$ 69	0.017
Sa mitrale, cm/s	0.09 $\pm$ 0.06	0.09 $\pm$ 0.06	0.10 $\pm$ 0.07	0.52
E/E'	11 $\pm$ 6	10 $\pm$ 5	12 $\pm$ 7	0.11
E/E' < 8, n (%)	59 (27)	42 (30)	17 (22)	0.25
E/E' > 12, n (%)	49 (23)	30 (21)	19 (25)	0.52
Volume OG indexé, ml/m ²	51 $\pm$ 27	50 $\pm$ 23	52 $\pm$ 34	0.72
Surface OG, cm ²	24 $\pm$ 9	24 $\pm$ 8	24 $\pm$ 10	0.49
PAPs, mmHg	33 $\pm$ 11	33 $\pm$ 10	34 $\pm$ 13	0.54
Temps d'accélération pulmonaire, ms	121 $\pm$ 28	124 $\pm$ 27	114 $\pm$ 31	0.06
Encoche sous-pulmonaire, n (%)	13 (6)	7 (5)	6 (8)	0.38
Surface OD, cm ²	18 $\pm$ 6	18 $\pm$ 5	18 $\pm$ 7	0.36
Sa tricuspide, cm/s	0.23 $\pm$ 1.05	0.14 $\pm$ 0.03	0.40 $\pm$ 1.86	0.16
TAPSE, mm	22 $\pm$ 5	23 $\pm$ 5	21 $\pm$ 6	0.002
VCI compliante, n (%)	210 (96)	140 (99)	70 (92)	0.023

2/2 <i>Moyenne ± écart-type ou effectif (pourcentage)</i>	Tous	Pic de VO₂ ≥ 75% théorique	Pic de VO₂ < 75% théorique	p
Données valvulaires	(n=218)	(n=142)	(n=76)	
Vitesse maximale trans-aortique, m/s	2.1 ±1.3	2.2 ±1.3	2.1 ±1.2	0.66
Gradient moyen trans-aortique, mmHg	16 ±20	16 ±21	14 ±17	0.59
IA ≥ grade 3, n (%)	14 (6)	10 (7)	4 (5)	0.61
IM ≥ grade 3, n (%)	69 (32)	43 (30)	26 (34)	0.55
IT ≥ grade 2, n (%)	12 (5)	4 (3)	8 (10)	0.027

L'échocardiographie d'effort métabolique

Les indications

Figure 3 : Répartition des indications



On constate sur la Figure 3 que plus de la moitié de la population des patients adressés pour une échocardiographie d'effort métabolique présente une valvulopathie (120 patients soit 54%). Presque un cinquième de la population est adressée pour l'exploration de symptômes sans anomalie évidente lors du bilan initial de dyspnée.

Les patients du groupe dyspnée et cardiopathie regroupent les greffés cardiaque, les patients porteurs de prothèses valvulaires ou de cardiopathies congénitales opérées, les suivis d'hypertension artérielle pulmonaire primitive. L'objectif de l'examen dans ce groupe de patient est de tenter d'imputer ou non le symptôme à la pathologie cardiaque connue, ou de rechercher des signes de mauvaise tolérance à l'effort.

Données d'épreuve d'effort simple

Plusieurs protocoles d'incrémentation de la puissance ont été réalisés (Tableau 3), adaptés à la capacité théorique du patient. Soixante-seize pourcent des examens ont été réalisés avec des paliers de 10W ou 20W toutes les 1 à 2 minutes.

Tableau 3 : Protocoles d'épreuve d'effort

	n (%)
20W / 1' / 10W ou 20W	130 (59)
30W / 1 ou 2' / 10W ou 20W	38 (17)
25W / 2' / 25W	10 (5)
40W / 1' / 20W	19 (9)
50W ou 60W / 2' / 30W	19 (9)
Données manquantes	2 (1)

Les différents paramètres de l'épreuve d'effort simple sont détaillés dans le Tableau 4. La FMT est $\geq 85\%$ de la théorique dans 56% des examens, la durée moyenne de l'examen était de 9,6 minutes. L'effort a été réalisé jusqu'à épuisement ou survenue d'un événement dans tous les cas, avec survenue d'un symptôme limitant l'effort dans 54% des cas (dyspnée principalement).

Tableau 4 : Epreuve d'effort simple

Moyenne $\pm$ écart-type ou effectif (pourcentage)	Tous (n=218)	Pic de VO ₂ $\geq 75\%$ théorique (n=142)	Pic de VO ₂ < 75% théorique (n=76)	p
Fréquence cardiaque, bpm	142 $\pm$ 28	148 $\pm$ 25	129 $\pm$ 29	<0.0001
Fréquence cardiaque, % théorique	87 $\pm$ 16	92 $\pm$ 14	78 $\pm$ 18	<0.0001
FMT $\geq 85\%$ théorique, n (%)	122 (56)	99 (70)	23 (30)	<0.0001
Puissance, watts	126 $\pm$ 52	139 $\pm$ 53	102 $\pm$ 40	<0.0001
Puissance, % théorique	78 $\pm$ 22	88 $\pm$ 19	59 $\pm$ 14	<0.0001
Pression artérielle systolique, mmHg	193 $\pm$ 36	202 $\pm$ 32	175 $\pm$ 36	<0.0001
Pression artérielle diastolique, mmHg	97 $\pm$ 16	100 $\pm$ 16	92 $\pm$ 17	0.001
Durée effort, min	9.6 $\pm$ 3.8	10.5 $\pm$ 3.8	7.8 $\pm$ 3.1	<0.0001
Arrêt pour symptôme, n (%)	118 (54)	77 (54)	41 (54)	0.97
Arythmie ventriculaire/supraventriculaire, n (%)	22 (10)	16 (11)	7 (9)	0.64
Signes ECG d'ischémie, n (%)	11 (5)	9 (6)	2 (3)	0.34

Données d'échocardiographie d'effort

Au pic de l'effort (Tableau 5), la FEVG est en moyenne de 61% avec un DC moyen au pic de 9.8 l/min. Dans 45% des examens on retrouve une HTP d'effort (PAPs $\geq$ 60 mmHg). La veine cave inférieure reste compliante dans 78% des cas.

Tableau 5 : Echocardiographie d'effort

Moyenne $\pm$ écart-type ou effectif (pourcentage)	Tous (n=218)	Pic de VO ₂ $\geq$ 75% théorique (n=142)	Pic de VO ₂ < 75% théorique (n=76)	p
VTDBG Simpson biplan, ml	118 $\pm$ 53	114 $\pm$ 43	126 $\pm$ 69	0.13
VTSVG Simpson biplan, ml	49 $\pm$ 37	44 $\pm$ 24	59 $\pm$ 53	0.005
FEVG Simpson biplan, %	61 $\pm$ 12	63 $\pm$ 11	57 $\pm$ 14	0.003
Dysfonction ventriculaire gauche	37 (17)	21 (15)	17 (22)	0.16
VES, ml	72 $\pm$ 26	74 $\pm$ 25	68 $\pm$ 26	0.14
Débit cardiaque, l/min	9.8 $\pm$ 4.1	10,3 $\pm$ 4.1	8,7 $\pm$ 3.9	0.008
PAPs, mmHg	62 $\pm$ 16	61 $\pm$ 14	64 $\pm$ 18	0.32
PAPs $\geq$ 60 mmHg, n (%)	98 (45)	60 (42)	37 (49)	0.36
Valvulopathie sévère	37(17)	16 (11)	20 (26)	0.004
Veine cave inférieure compliante, n (%)	170 (78)	116 (82)	54 (71)	0.07

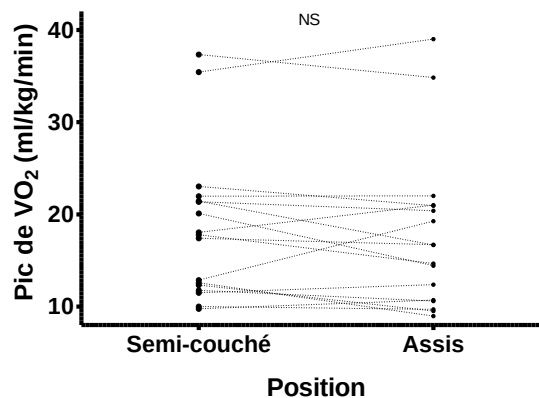
Données d'épreuve d'effort métabolique

Comparaison de l'épreuve sur cycle debout ou semi-couché

Dix-sept patients ont eu une épreuve d'effort métabolique sur cycle dans un délai de 5 mois autour de l'échocardiographie d'effort métabolique et sans modification thérapeutique. Le délai moyen entre les 2 examens était de 72 ± 57 jours.

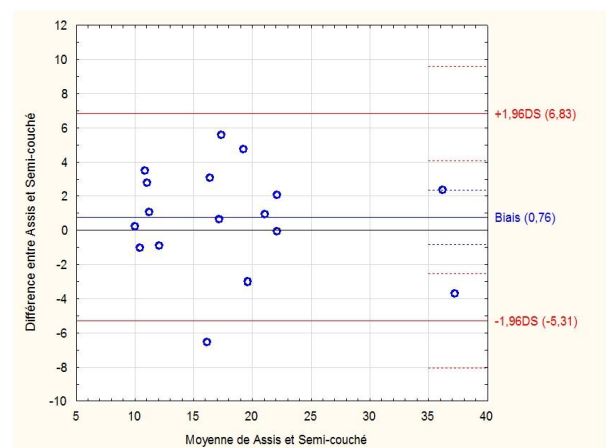
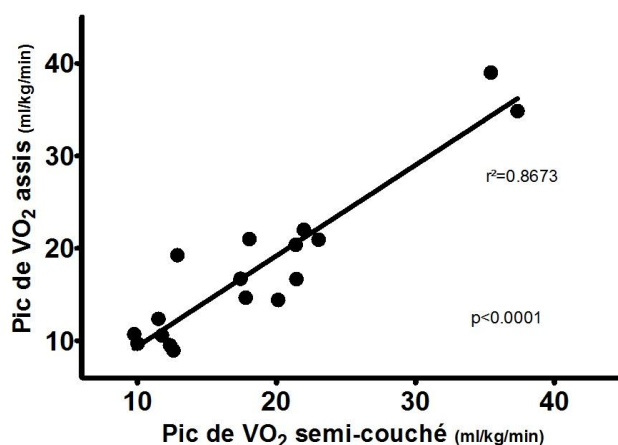
L'analyse appariée (test de Wilcoxon apparié) ne met pas en évidence de différence significative ($p=0.32$) entre les 2 examens en termes de pic de VO_2 (Figure 4), puissance et QR au pic de l'effort.

Figure 4 : Comparaison du pic de VO_2 semi-couché / assis



La Figure 5 montre une excellente reproductibilité en terme de pic de VO_2 (coefficient de régression linéaire $r^2=0.87$, $p<0.0001$). Par analyse de Bland-Altman, on constate que la position semi-couchée sous-estime en moyenne de 0.76 ± 3.1 ml/kg/min (soit une différence de $-5.5 \pm 18.9\%$) le pic de VO_2 par rapport à la position assise.

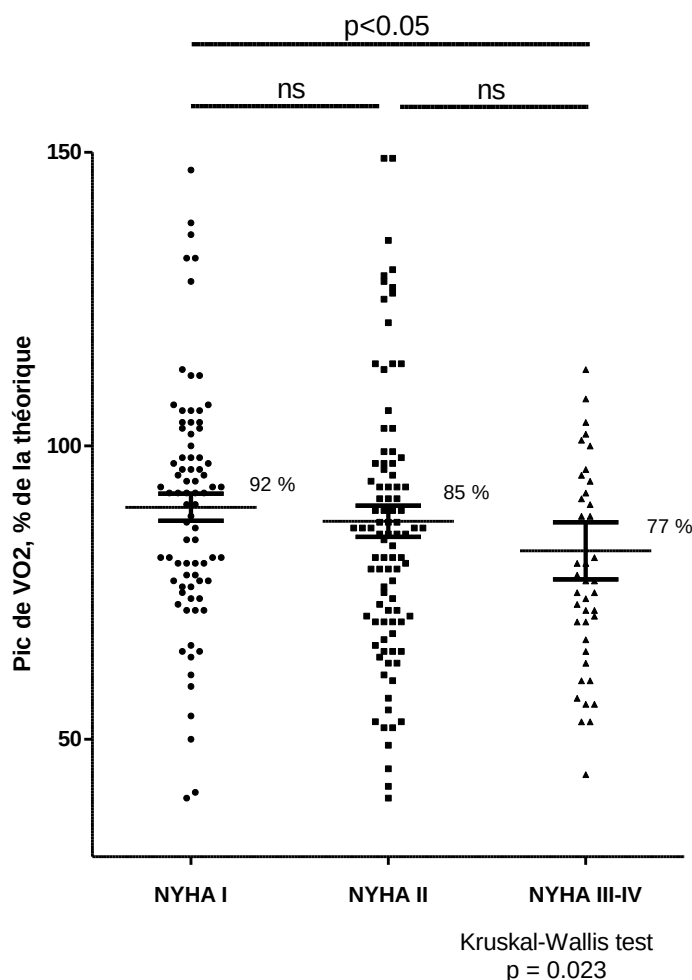
Figure 5 : Corrélation du pic de VO_2 en fonction de la position et Bland-Altman plot



Données d'épreuve d'effort métabolique

La Figure 6 présente la comparaison du pourcentage de pic de VO_2 en fonction de la classe NYHA. La médiane du pic de VO_2 en pourcentage de la théorique est de 92% (77-102) dans le groupe NYHA I, 85% (70-97) dans le groupe NYHA II et 77% (66-93) dans le groupe NYHA 3-4. Il n'existe de différence significative qu'entre le groupe NYHA I et NYHA III-IV.

Figure 6 : Comparaison du pic de VO_2 en fonction de la classe NYHA



Le Tableau 6 présente les données de l'épreuve d'effort métabolique. Il existe dans 12% des cas un déconditionnement périphérique (VO_2 au seuil < 40% du pic de VO_2 théorique). Pour l'analyse du pouls d' O_2 (VO_2/FC), reflet du VES selon la loi de Fick et donc de la capacité du cœur à éjecter en antérograde, celui-ci est altéré (VO_2/FC < 85% de la théorique) dans la moitié des examens. Vingt pourcent des patients ont un temps de demi-récupération du pic de VO_2 pathologique supérieur à 3 minutes.

Tableau 6 : Epreuve d'effort métabolique

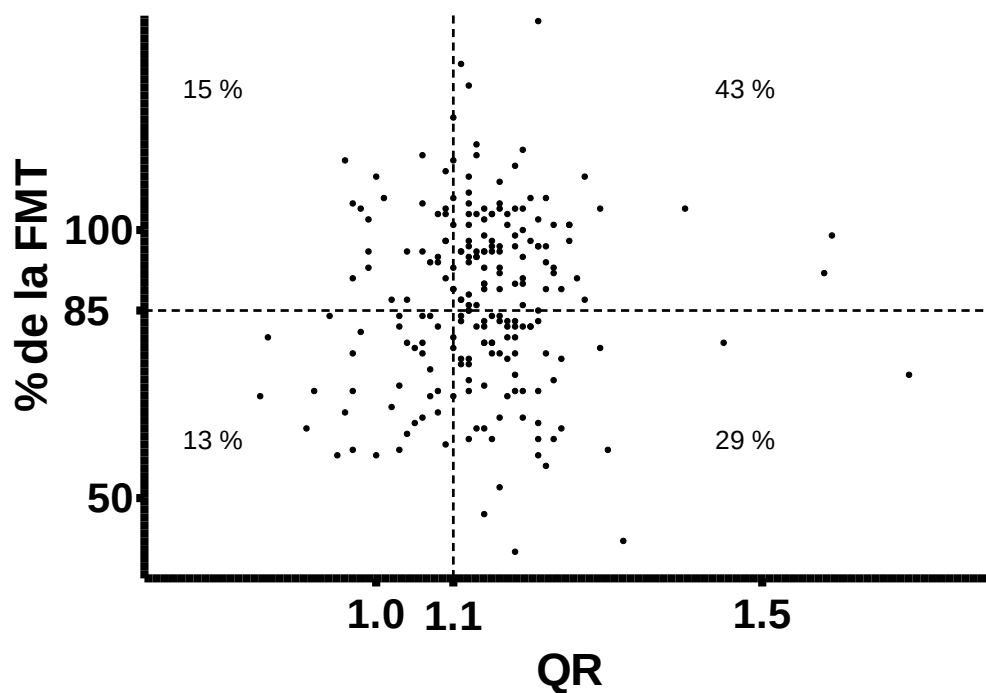
<i>Moyenne ± écart-type ou effectif (pourcentage)</i>	Tous	Pic de VO₂ ≥ 75% théorique	Pic de VO₂ < 75% théorique	p
Spirométrie	(n=218)	(n=142)	(n=76)	
VEMS, l	2.48 ±0.92	2.65 ±0.90	2.16 ±0.89	0.00013
VEMS,% théorique	82 ±20	89 ±16	68 ±19	<0.0001
CVF, l	2.82 ±0.90	3.01 ±0.89	2.46 ±0.81	<0.0001
CVF,% théorique	73 ±16	79 ±13	62 ±14	<0.0001
Rapport de Tiffeneau (VEMS/CVF)	88 ±17	89 ±16	87 ±19	0.45
Données au 1^{er} seuil ventilatoire				
Puissance, watts	75 ±28	80 ±30	66 ±23	0.0006
VO ₂ , ml/kg/min	14 ±4	16 ±4	12 ±4	<0.0001
VO ₂ < 40% du pic de VO ₂ théorique, n (%)	26 (12)	1 (1)	24 (32)	<0.0001
Données au pic de l'effort				
VO ₂ , ml/kg/min	22 ±7	24 ±7	17 ±6	<0.0001
VO ₂ ,% théorique	83 ±21	94 ±15	62 ±11	<0.0001
QR	1.13 ±0.13	1.13 ±0.14	1.13 ±0.13	0.91
PetO ₂ , mmHg	115 ±5	115 ±5	115 ±6	0.86
PetCO ₂ , mmHg	38 ±6	39 ±6	38 ±6	0.23
VE, l/min	61 ±20	67 ±20	50 ±16	<0.0001
VD/Vt	0.30 ±0.08	0.30 ±0.08	0.31 ±0.08	0.13
Fréquence respiratoire au pic, /min	37 ±10	38 ±11	36 ±7	0.11
Réserve ventilatoire,% théorique	26 ±21	24 ±17	29 ±26	0.10
VO ₂ /FC au pic,% théorique	87 ±25	94 ±21	74 ±26	<0.0001
VE/VCO ₂	30 ±7	29 ±6	31 ±7	0.017
Temps ½ récupération de VO ₂ , min	2.45 ±1.11	2.27 ±0.99	2.79 ±1.24	0.0008
Paramètres étudiés au pic				
QR ≥ 1,10	159 (73)	111 (78)	49 (65)	0.040
VO ₂ < 85% théorique, n (%)	122 (56)	45 (32)	76 (100)	0.001
Puissance circulatoire, mmHg.ml/kg/min	4274 ±1909	4953 ±1838	2987 ±1277	<0.0001
Pente VD/Vt non descendante, n (%)	63 (29)	27 (19)	36 (47)	<0.0001
VO ₂ /FC < 85% théorique, n (%)	106 (49)	46 (32)	60 (79)	<0.0001
VE/VCO ₂ ≥ 34, n (%)	50 (23)	28 (20)	21 (28)	0.18
Temps ½ récupération de VO ₂ > 3 min, n (%)	43 (20)	18 (13)	25 (33)	0.0003

Critère de maximalité du test d'effort

On peut constater que seulement 56% des examens ont atteint le seuil de 85% de la FMT, considéré comme un examen maximal en l'absence de traitement. Dans le groupe « pic de VO_2 < 75% de la théorique », seulement 30% des patients ont atteint ce seuil de maximalité.

En revanche, le $\text{QR} \geq 1.10$, témoignant d'un effort maximal en épreuve d'effort métabolique, est atteint chez 72% des patients. Le nuage de point (Figure 7) montre que 43% des patients ont un $\text{QR} \geq 1.10$ et une FMT $\geq 85\%$, et que dans 29% des cas, le seuil de FMT n'est pas atteint alors que le QR est ≥ 1.10 . Le QR semble donc être un critère plus pertinent de maximalité, moins pris en défaut chez ces patients porteurs de cardiopathie et souvent traités par β -bloquants.

Figure 7 : Pourcentage de la FMT en fonction du QR au pic



Apport des différentes phases de l'examen

L'opérateur a considéré que le patient présentait une symptomatologie réellement sévère en pré-test dans 9% des cas, même si 19% des patients sont classés en classe NYHA III-IV (Figure 2).

L'échocardiographie de repos modifie la prise en charge dans 6% des cas, l'épreuve d'effort simple dans 7% des cas, l'échocardiographie d'effort dans 36% des cas et l'épreuve d'effort métabolique dans 50% des cas (Tableau 7).

Le diagnostic du patient a été modifié dans 35% des examens : une pathologie considérée comme non sévère devient sévère, soit sur le plan symptomatique (lors de l'épreuve d'effort métabolique), soit sur le plan de l'adaptation cardiaque à l'effort (valvulopathie sévère, dysfonction ventriculaire gauche, HTP...).

Enfin, 23% des examens apportent une réponse étiologique à une situation clinique, le plus souvent une dyspnée d'effort inexpliquée. Les étiologies principalement mises en évidence sont le déconditionnement périphérique, l'HTP d'effort, l'insuffisance chronotrope spontanée ou d'origine médicamenteuse, ou la dysfonction diastolique.

Tableau 7 : Apport des différentes composantes

	n (%)
Symptomatologie sévère en pré-test	20 (9)
Pathologie sévère en post-test	92 (42)
Apport étiologique de l'examen	50 (23)
Changement de diagnostic	76 (35)
Apport de l'ETT de repos	13 (6)
Apport de l'épreuve d'effort simple	15 (7)
Apport de l'ETT d'effort	78 (36)
Apport de l'épreuve d'effort métabolique	109 (50)

Analyse pronostique

Deux cent huit patients ont été inclus dans l'analyse de survie (Figure 1). A noter 4 perdus de vue (2%) dont le suivi n'a pas été possible. Ont été recensé sur un suivi moyen de 29.8 ± 9.5 mois, 53 événements dont 3 décès. Les différents événements sont décrits dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Description des événements

	n (%)
Mortalité cardio-vasculaire	3 (6)
Insuffisance cardiaque / majoration de dyspnée	39 (74)
Trouble du rythme atrial ou ventriculaire soutenu	9 (17)
Événement thrombo-embolique artériel	2 (3)

Les 3 décès sont dus à une défaillance cardiaque chez un patient présentant une cardiomyopathie à coronaires saines, dans un contexte de dermo-hypodermite, à une maladie coronaire du greffon chez un transplanté cardiaque et à une défaillance cardiaque dans les suites d'un double remplacement valvulaire aortique et mitral redux. Les 2 embolies artérielles sont constituées par une AVC ischémique chez un patient porteur d'une prothèse mécanique mitrale et un syndrome coronaire aigu ayant nécessité une angioplastie coronaire.

Soixante-neuf patients sur les 120 patients valvulaires de la cohorte, soit 57% ont été pris en charge chirurgicalement dans un délai de $22 \text{ mois} \pm 14 \text{ mois}$.

Détermination du seuil pronostique du pic de VO_2 dans la cohorte

Le pic de VO_2 est associé de manière statistiquement significative à la survenue d'événements cardiovasculaires en analyse univariée (modèle de Cox avec hazard ratio (HR) à 0.97 [0.95-0.99]). Nous avons confirmé par courbe ROC le seuil de 75% de la théorique du pic de VO_2 comme valeur seuil ayant le plus fort pouvoir discriminant dans notre population étudiée (meilleures valeurs de sensibilité et spécificité). Cette valeur est basse mais correspond à la valeur proposée pour certaines cardiopathies (19).

Nous avons donc stratifié la population de l'étude en fonction de cette valeur. On constate que les 2 populations ne présentent pas de différence significative en termes d'âge, de sexe, d'IMC. En revanche, les patients ayant un pic de $\text{VO}_2 < 75\%$ de la théorique ont significativement plus de facteurs de risque cardiovasculaire (coronaropathie, tabagisme, dyslipidémie), sont plus symptomatiques (NYHA III-IV, antécédent d'insuffisance cardiaque), ont plus fréquemment un traitement à visée cardiologique (β -bloquant, diurétiques). Sur le plan de l'échocardiographie, la FEVG au repos et à l'effort est discrètement inférieure, de manière significative ; les volumes ventriculaires gauches sont également plus élevés dans le groupe avec un pic de $\text{VO}_2 < 75\%$ de la théorique. Le VES est plus bas au repos comme à l'effort, et le TAPSE au repos est de manière intéressante plus bas.

Analyse de survie

Les courbes de survie de Kaplan-Meier ci-dessous présentent la survie sans événement en fonction de l'altération des capacités fonctionnelles à l'effort (Figure 8), de la présence d'un effort maximal (Figure 9), du caractère normal de la pente VD/Vt (Figure 10) et de la puissance circulatoire (Figure 11). Il existe une différence statistiquement significative entre les 2 groupes pour toutes ces variables.

Il existe également une différence significative en terme de survie sans événement pour les groupes séparés en fonction de la présence d'un déconditionnement périphérique (HR à 4.28 $\text{IC}_{95\%}$ [1.66-11.0]), d'un allongement du temps de demi-récupération de VO_2 (HR à 2.43 $\text{IC}_{95\%}$ [1.18-5.11]), de la PetCO_2 (HR à 1.86 $\text{IC}_{95\%}$ [1.04-3.33]) et de la puissance ventilatoire (HR à 5.15 $\text{IC}_{95\%}$ [1.22-21.6]).

En revanche, il n'y a pas de différence significative en terme de survie sans événement pour les groupes séparés par les paramètres $\text{VE}/\text{VCO}_2 > 34$, $\text{VO}_2/\text{FC} < 85\%$ théorique, HTP d'effort, pic de $\text{VO}_2 < 20 \text{ ml/kg/min}$ ou durée de l'effort < 8 minutes.

Figure 8 : Survie sans événement en fonction du pourcentage de pic de VO_2

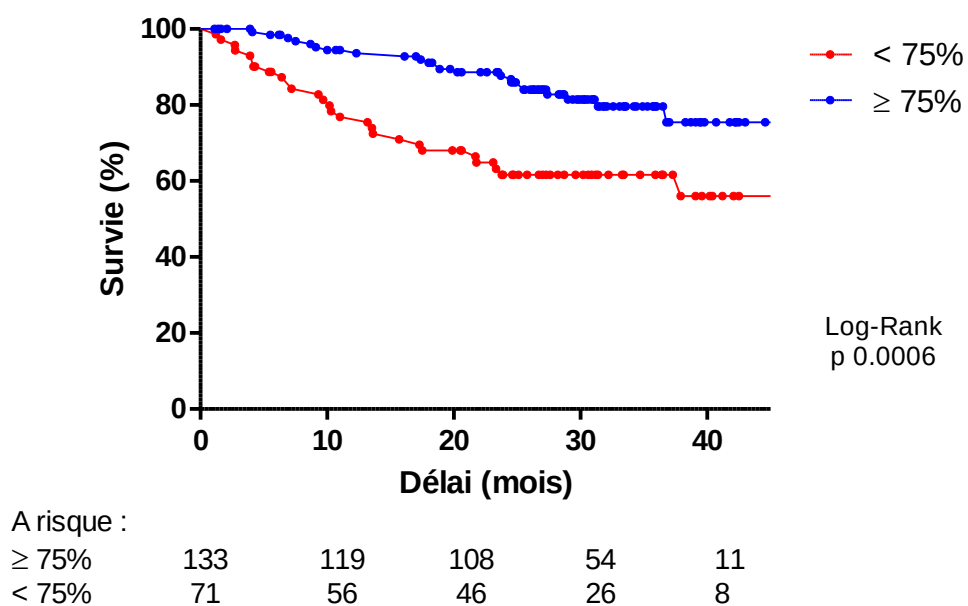


Figure 9 : Survie sans événement en fonction du QR au pic

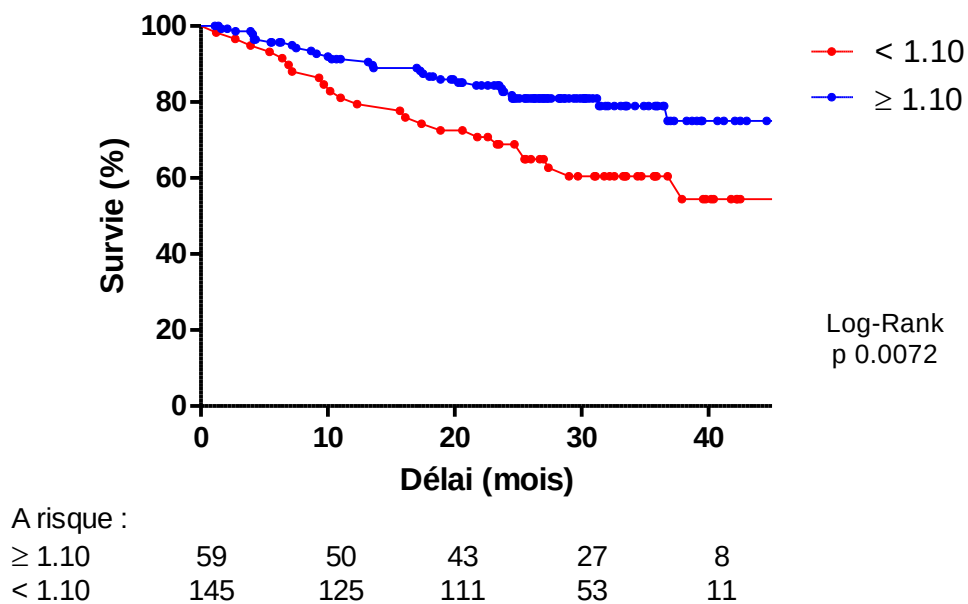


Figure 10 : Survie sans événement en fonction de l'aspect de la pente VD/Vt

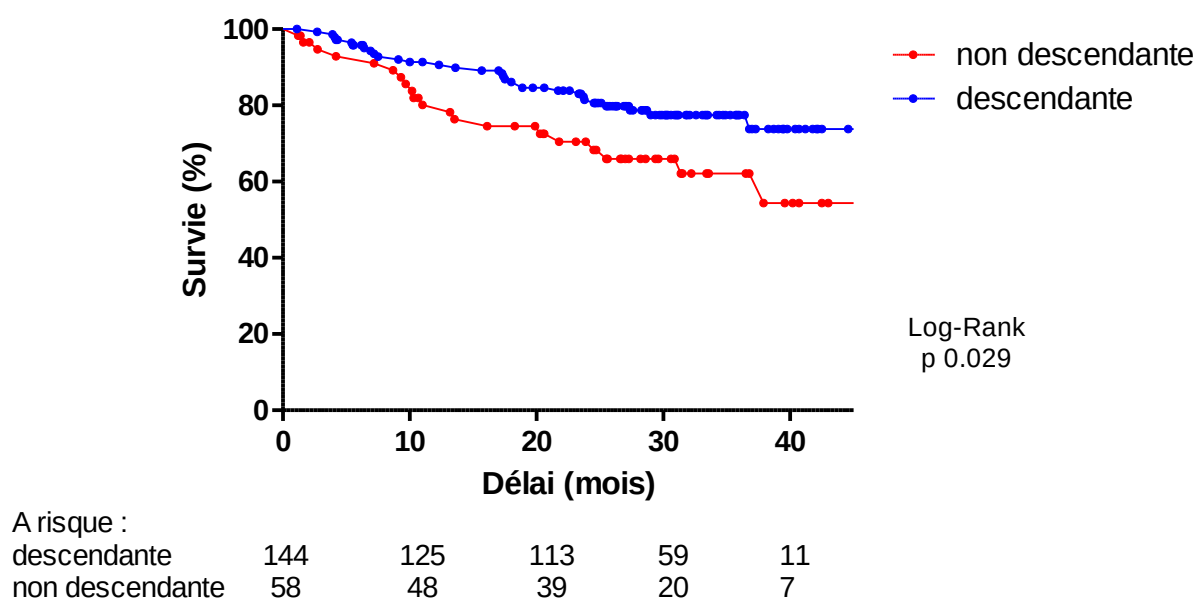
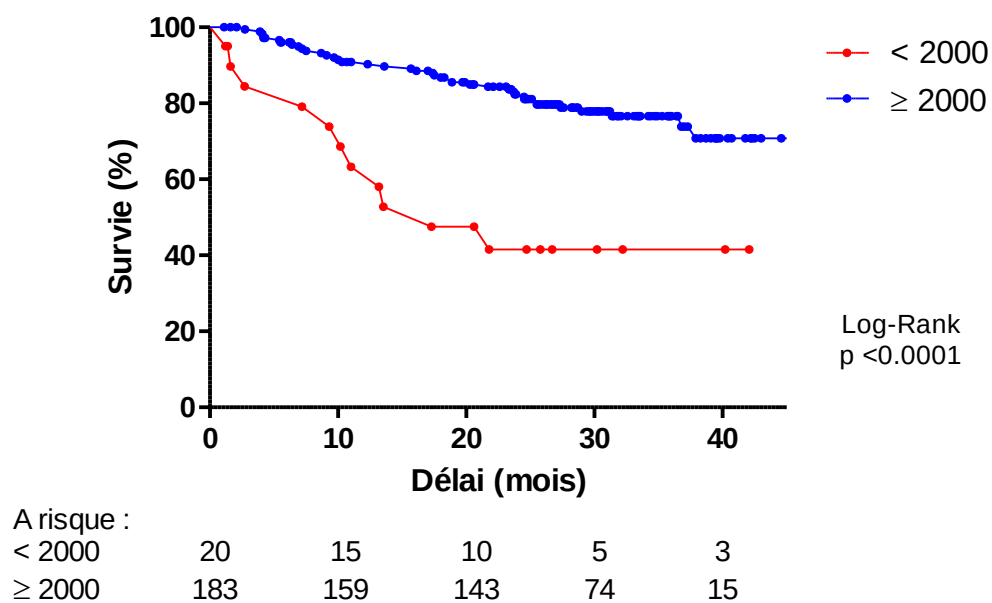


Figure 11 : Survie sans événement en fonction de la puissance circulatoire



Analyse pronostique uni et multivariée selon le modèle de Cox

L'analyse pronostique (Tableau 9) avec comme événement le critère composite de morbi-mortalité cardiovasculaire met en évidence en multivarié plusieurs facteurs pronostiques.

Au repos, une FEVG basse ou la présence d'une IM sévère sont associées de manière statistiquement significative à un moins bon pronostic (hazard ratio (HR) respectivement à 0.97, IC_{95%}[0.94-0.99] et 0.98, IC_{95%}[0.97-0.99]).

Au niveau des paramètres de l'échocardiographie d'effort métabolique (CPEET), les patients pour lesquels l'ETT d'effort a permis de décider de la prise en charge présentent un meilleur pronostic (HR à 2.99, IC_{95%}[1.33-6.77]). Cependant, la FEVG au pic n'est pas associé au pronostic en analyse multivariée. Le pourcentage de la théorique du pic de VO₂ est un facteur pronostique dans notre cohorte.

Tableau 9 : Analyse pronostique uni et multivariée

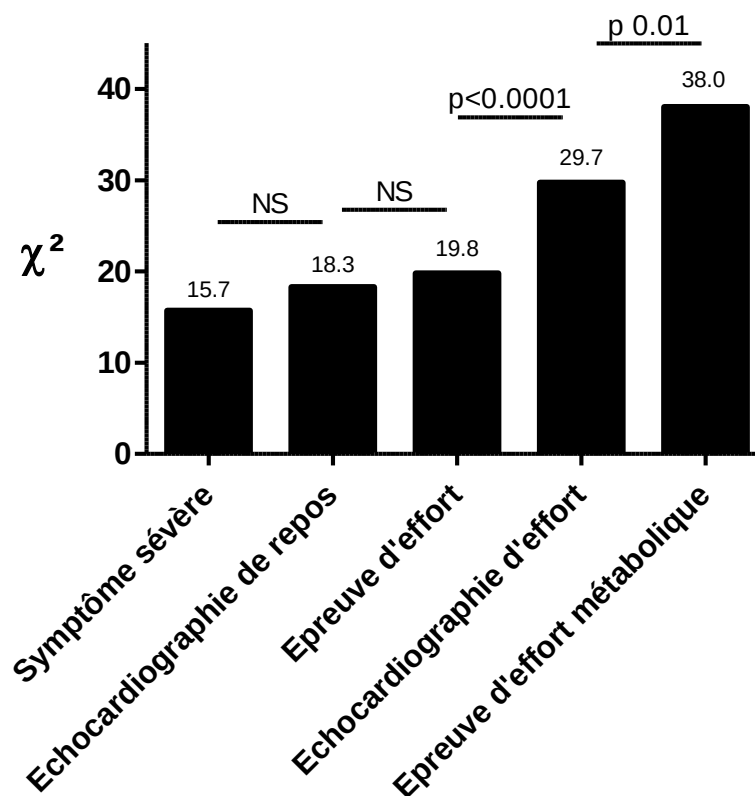
Hazard Ratio (HR) et IC _{95%}	Univariée		Multivariée chi ² =41.7, p <0.0001	
	HR	p	HR	p
Paramètres pré-CPEET				
Tabagisme	2.1 (1.2-3.6)	0.013		
Coronaropathie	3.9 (2.2-7.2)	<0.0001		
Symptomatologie sévère en pré-test	3.71 (1.8-7.4)	<0.0001		
Apport de l'ETT de repos	2.4 (1.01-5.5)	0.048		
FEVG au repos	0.95 (0.92-0.97)	<0.0001	0.97 (0.94-0.99)	0.006
IM sévère au repos	2.3 (1.3-4.1)	0.003	1.92 (1.09-3.39)	0.024
E/E' au repos	1.05 (1.00-1.01)	0.043		
Volume OG indexé au repos	1.01 (1.00-1.02)	0.003		
PAPs au repos	1.01 (0.99-1.04)	0.37		
TAPSE au repos	0.91 (0.86-0.97)	0.002		
Paramètres de CPEET				
Apport de l'épreuve d'effort	1.8 (0.77-4.24)	0.17		
Apport de l'ETT d'effort	3.8 (1.7-8.6)	0.001	2.99 (1.33-6.77)	0.008
FEVG au pic	0.96 (0.94-0.98)	<0.0001		
Pic de VO ₂ < 75% de la théorique	2.6 (1.5-4.5)	0.001		
Travail au pic,% de la théorique	0.97 (0.96-0.99)	<0.0001		
Pic de VO₂,% de la théorique	0.97 (0.96-0.99)	<0.0001	0.98 (0.97-0.99)	0.031
VEMS,% de la théorique	0.98 (0.97-0.99)	0.011		
CVF,% de la théorique	0.98 (0.97-0.99)	0.039		
VO ₂ au SV1 < 40% du pic de VO ₂ théorique	2.71 (1.38-7.33)	0.004		
Pente VD/Vt non descendante	1.87 (1.1-3.3)	0.031		
FMT,% de la théorique	0.97 (0.95-0.98)	<0.0001		
Temps de demi-récupération de VO ₂	1.23 (1.04-1.57)	0.018		
Puissance circulatoire < 2000 mmHg.ml/kg/min	3.77 (1.92-7.39)	<0.0001		

Valeur pronostique additionnelle de chaque composante

Nous avons évalué la valeur pronostique de chaque composante de l'examen d'échocardiographie d'effort métabolique par rapport à la précédente via un modèle de Cox par blocs successifs. Les résultats de cette analyse sont présentés sur la Figure 12. Les éléments pris en compte sont la présentation clinique, le résultat de l'échocardiographie de repos, de l'épreuve d'effort simple, puis de l'échocardiographie d'effort et enfin de l'analyse des gaz expirés.

L'échocardiographie d'effort puis l'épreuve d'effort métabolique, analysée en fonction du seuil de pic de VO_2 de 75%, apportent successivement une valeur pronostique supplémentaire dans le modèle par rapport aux seules données cliniques, de l'échocardiographie de repos et de l'épreuve d'effort simple.

Figure 12 : Modèle de Cox par bloc successif de la valeur pronostique de l'examen



DISCUSSION

Généralités

L'échocardiographie d'effort métabolique (ou CPEET pour Cardio-Pulmonary Exercise Echocardiography Test) est un nouvel examen, en développement dans quelques centres cardiologiques tertiaires. Il réunit les avantages de l'échocardiographie d'effort, dont les indications sont validées et l'utilisation répandue (5), et ceux de l'épreuve d'effort métabolique, examen utilisé en cardiologie principalement pour l'évaluation pronostique dans l'insuffisance cardiaque (19).

De nombreux articles (18,35,45) ont comparé les résultats de l'échocardiographie d'effort et de l'épreuve d'effort métabolique, en réalisant deux examens d'effort à la suite ou en pratiquant une échocardiographie juste après l'effort. Ces alternatives contraignent le patient à réaliser deux efforts, au risque que le deuxième effort ne soit pas maximal du fait de l'épuisement. Par ailleurs, l'échocardiographie juste après l'effort ne permet pas d'analyser l'adaptation progressive du myocarde à l'effort (en particulier l'apparition d'une obstruction intracardiaque dès le début d'effort ou d'une HTP précoce).

Quelques travaux pilotes se sont intéressés à l'échocardiographie d'effort métabolique et ont évalué la valeur pronostique de certains paramètres comme la puissance ventilatoire (47), recherché un lien physiopathologique entre l'altération d'un paramètre ventilatoire et une anomalie cardiaque (VO_2 /charge et paramètres ventriculaires droit) (46) ou ont cherché à différencier une limitation cardiaque d'un déconditionnement périphérique (44).

Notre travail avait pour objectif d'évaluer objectivement ce nouvel examen, en vue de définir son apport diagnostique et pronostique complémentaire.

Validation de l'échocardiographie d'effort métabolique

Validation de l'épreuve d'effort métabolique semi-couchée et faisabilité

Le premier temps a été de valider la comparabilité des paramètres entre la méthode conventionnelle assise et un effort semi-couché. Nos résultats montrent sur 17 patients ayant réalisé les deux types d'effort sans modification du statut fonctionnel dans l'intervalle, que le pic de VO_2 est reproductible (r^2 0.87, $p < 0.0001$), même si la valeur du pic de VO_2 est sous-estimée d'en moyenne de $5.5 \pm 18.8\%$ par rapport à la position assise. Des différences de 10 à 20% ont déjà été publiées, en comparaison à une épreuve sur tapis, et rapportées à l'épuisement des quadriceps (3). Drescher et al (52) ont également montré chez le sujet sain la comparabilité des résultats au pic d'un effort en position allongée à 45° et à 75° , confortant nos résultats.

Nos résultats valident également la faisabilité de cet examen en pratique courante devant le très faible taux d'impossibilité technique constaté (1 patient sur 223 examens). Bien que les patients soient sélectionnés (moyenne d'âge 57.2 ± 15.6 ans), ils présentent dans presque un tiers des cas une hypertension artérielle, une dyslipidémie ou un tabagisme (Tableau 1). L'effort dure en moyenne 9.6 ± 3.8 minutes (Tableau 4), en accord avec la recommandation de durée de 8 à 12 minutes (3).

Maximalité de l'effort

Le seuil de maximalité de 85% de la FMT n'est, en revanche, atteint que dans 56% des examens. Ceci peut s'expliquer par la présence chez 37% des patients d'un traitement β -bloquant ou d'une cardiopathie potentiellement plus sévère avec insuffisance chronotrope spontanée. L'analyse des gaz expirés apporte des données complémentaires dans l'évaluation de la maximalité du test : 73% des patients ont atteint le QR seuil de 1.10. L'épreuve d'effort métabolique permet donc de s'affranchir de la fréquence cardiaque pour analyser la maximalité de l'effort et donc confirmer ou non le retentissement d'une cardiopathie à l'effort dans ce contexte.

Valeur diagnostique

Hétérogénéité de la population ciblée

Notre étude rassemble une population hétérogène de patients : presque 20% des patients sont adressés pour exploration d'une dyspnée inexpliquée, sans cardiopathie au repos. Inversement, les autres patients présentent des cardiopathies sévères (seulement 13% des patients ont une valvulopathie non sévère) (Figure 3), avec une forte proportion (50% de la cohorte) de traitement à visée cardiaque (β -bloquant, inhibiteur du système rénine-angiotensine-aldostérone, ou diurétiques).

Quasiment 20% des patients sont symptomatiques à l'interrogatoire (classe NYHA $\geq$ III), même si l'opérateur considère que la pathologie est sévère dans 9% des cas seulement. Cette discordance met en exergue la difficulté à évaluer objectivement la symptomatologie.

Evaluation de la symptomatologie d'effort

Notre étude pointe cette difficulté d'appréciation du statut fonctionnel : en effet, même si la médiane du pic de VO_2 , en pourcentage de la théorique, est statistiquement inférieure chez les patients en classe NYHA III-IV comparé au NYHA I, il n'y a pas de différence significative entre les classes NYHA I et NYHA II (Figure 6). On observe, comme d'autres études (8,53), une dispersion importante des valeurs de VO_2 , témoignant de l'hétérogénéité de la limitation fonctionnelle des patients dans chaque classe NYHA, ou de la subjectivité du choix de la classe NYHA par le clinicien, en l'absence de méthode précise d'évaluation. Même si la classe NYHA a prouvé sa valeur pronostique dans des populations d'insuffisants cardiaques (54,55), l'utilisation du pic de VO_2 pourrait être plus précise et objective dans l'évaluation fonctionnelle et pronostique d'une population hétérogène de patients.

Enfin, sur le plan de l'intérêt diagnostique de cet examen, 35% des patients de notre étude ont vu leur diagnostic modifié à la fin de l'examen, principalement pour les patients adressés pour l'exploration d'une dyspnée d'effort inexpliquée. L'échocardiographie d'effort est un examen validé et bien décrit dans les recommandations pour la prise en charge des valvulopathies aortiques ou mitrales (1). Il existe malgré tout une composante subjective dans l'interprétation de ce test d'effort. L'analyse des gaz expirés permet la mesure objective des capacités fonctionnelles : une échocardiographie d'effort métabolique normale permet d'éliminer une pathologie cardio-pulmonaire ou un déconditionnement périphérique.

Valeur pronostique

Valeur pronostique du pic de $VO_2 < 75\%$ de la théorique

Le pic de VO_2 est normal ($\geq 85\%$ de la théorique) chez seulement 44% des patients. Ce faible taux, chez des sujets considérés comme peu symptomatiques, a déjà été décrit dans une population de patients présentant une CMH (35). Ce seuil de 85% n'a pas été validé en position semi-couchée, d'autant plus que les valeurs de VO_2 dans cette position sont en moyenne inférieures. La valeur du seuil de pic de VO_2 à 75% de la théorique, déjà retrouvé dans certaines études, est confirmée dans notre travail dans une population hétérogène, comme ayant le plus fort pouvoir discriminant sur le plan pronostique.

L'analyse de la population stratifiée en fonction du seuil de pic de VO_2 à 75% de la théorique met en effet en évidence des différences statistiquement significatives multiples. Même si l'âge moyen et les indications sont comparables dans les deux groupes, les patients avec un pic de $VO_2 < 75\%$ de la théorique ont plus de facteurs de risque cardiovasculaire et de traitement à visée cardiaque, et sont plus nombreux à être en classe NYHA III-IV (Tableau 1).

L'épreuve d'effort chez ces patients est plus souvent sous-maximale (70% des cas), avec une faible charge atteinte après un effort plus court. L'augmentation de la pression artérielle est également inférieure. A l'effort, la FEVG et le débit cardiaque estimé sont diminués, témoignant d'une altération de l'adaptation cardiaque. Cette diminution du débit cardiaque se traduit, conformément à la loi de Fick, par une baisse du pic de VO_2 en pourcentage de la théorique (62% contre 94%) et du pouls d' O_2 . Par ailleurs, dans le groupe $VO_2 < 75\%$ de la théorique, il existe un taux important de déconditionnement périphérique (32% contre 1%). Enfin, on note que les valeurs de spirométrie sont anormalement basses dans ce groupe, sans différence de prévalence de pathologie respiratoire. Ces anomalies traduisent un syndrome restrictif pouvant être secondaire à l'insuffisance cardiaque (56,57).

Toutes ces analyses confirment le caractère plus sévère des patients présentant un pic de $VO_2 < 75\%$ de la théorique, comme le confirme l'analyse pronostique multivariée pour le pic de VO_2 en pourcentage de la théorique (Tableau 9).

L'analyse de survie sans événement cardio-vasculaire met en évidence les associations habituellement décrites dans l'insuffisance cardiaque, sauf pour la pente VE/VCO_2 et pour le pouls d' O_2 . La valeur pronostique de ces paramètres n'est également pas retrouvée dans l'analyse multivariée. Une des explications peut se trouver dans l'hétérogénéité des patients avec presque 20% de patients sans cardiopathie, pour lesquels ces paramètres ne sont pas validés.

Valeur pronostique de l'examen

En analyse multivariée, lorsque la conduite à tenir à la fin de l'examen est emportée par les résultats de l'ETT d'effort, le pronostic du patient est statistiquement plus péjoratif (HR à 2.99, IC_{95%}[1.33-6.77]). Ce lien pronostique peut s'expliquer par le fait que les patients concernés sont possiblement porteurs de cardiomyopathies plus graves, dont le retentissement à l'effort se visualise rapidement à l'échocardiographie. A l'inverse, les patients avec une ETT d'effort normale sont moins malades, ce qui se traduit par un meilleur pronostic.

Concernant la valeur pronostique de l'examen d'échocardiographie d'effort métabolique complet, l'analyse avec le modèle de Cox par bloc successif permet l'analyse de chacune de ses composantes. Il n'y a pas d'apport de l'échocardiographie de repos, ce qui peut être secondaire à un biais de recrutement : les patients sont adressés dans un centre expert et la pathologie cardiaque est le plus souvent déjà connue. De même, l'épreuve d'effort simple n'apporte pas de valeur pronostique surajoutée. Ce type d'examen est peu sensible et spécifique, même si son apport est évident surtout dans le dépistage de la coronaropathie ou des troubles du rythme ventriculaire d'effort. L'échocardiographie d'effort est, en revanche, une composante qui permet d'augmenter significativement la valeur pronostique du modèle. L'épreuve d'effort métabolique en complément améliore encore la valeur pronostique de toutes les autres composantes réunies.

L'échocardiographie d'effort métabolique est donc un nouvel examen, complet, reproductible, d'exploration de la physiologie à l'effort dans les pathologies cardiovasculaires. Il apporte des informations complémentaires diagnostique et pronostique.

Limites

Une des limites éventuelles de cet examen est la nécessité pour l'opérateur d'avoir des compétences multiples : il faut maîtriser l'échocardiographie de repos et d'effort et l'interprétation des gaz expirés appliquée aux pathologies cardio-vasculaires. L'examen nécessite un apprentissage supplémentaire et un matériel adapté, d'un coût raisonnable. Il faut compter une durée totale de 45 à 60 minutes par examen comportant tous les éléments du bilan (clinique, échocardiographie de repos et d'effort, spirométrie, épreuve d'effort métabolique).

Le caractère monocentrique de notre étude limite par ailleurs l'extrapolation de ces données dans des centres d'échocardiographie non experts. De plus, l'analyse rétrospective des données nécessite de se baser sur le compte-rendu de l'opérateur pour l'évaluation échocardiographique à l'effort. En effet, les acquisitions faites au cours de l'examen ne permettent pas de refléter l'adaptation complète du cœur tout au long de l'effort. De plus, les mesures a posteriori des volumes ventriculaires gauches sont à analyser avec précaution devant la qualité des images obtenues au pic de l'effort.

Enfin, l'évaluation de l'intérêt de chacune des composantes de l'examen est nécessairement subjective, même si elle se base sur des critères basés sur les recommandations.

CONCLUSION

L'échocardiographie d'effort métabolique s'impose comme un nouvel examen d'effort complet, avec une valeur diagnostique et pronostique surajoutée, dont la place doit s'affirmer en routine dans la prise en charge des pathologies cardiovasculaires.

BIBLIOGRAPHIE

1. Authors/Task Force Members, Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, Antunes MJ, Baron-Esquivias G, et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012): The Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. 2012 Oct 1;33(19):2451–96.
2. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J*. 2016 Jul 14;37(27):2129–200.
3. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. Clinician's Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2010 Jul 13;122(2):191–225.
4. Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med*. 2002 Mar 14;346(11):793–801.
5. Sicari R, Nihoyannopoulos P, Evangelista A, Kasprzak J, Lancellotti P, Poldermans D, et al. Stress Echocardiography Expert Consensus Statement--Executive Summary: European Association of Echocardiography (EAE) (a registered branch of the ESC). *Eur Heart J*. 2008 Sep 10;30(3):278–89.
6. Cohen-Solal A. Guide pratique des épreuves d'effort cardiorespiratoires. Issy-les-Moulineaux (Hauts-de-Seine): Elsevier/Masson; 2009
7. Chase PJ, Kenjale A, Cahalin LP, Arena R, Davis PG, Myers J, et al. Effects of Respiratory Exchange Ratio on the Prognostic Value of Peak Oxygen Consumption and Ventilatory Efficiency in Patients With Systolic Heart Failure. *JACC Heart Fail*. 2013 Oct;1(5):427–32.
8. Raphael C, Briscoe C, Davies J, Ian Whinnett Z, Manisty C, Sutton R, et al. Limitations of the New York Heart Association functional classification system and self-reported walking distances in chronic heart failure. *Heart*. 2007 Apr 1;93(4):476–82.
9. Guazzi M, Arena R, Halle M, Piepoli MF, Myers J, Lavie CJ. 2016 Focused Update: Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations. *Circulation*. 2016 Jun 14;133(24):e694–711.
10. Lancellotti P, Pellikka PA, Budts W, Chaudhry FA, Donal E, Dulgheru R, et al. The Clinical Use of Stress Echocardiography in Non-Ischaemic Heart Disease: Recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr*. 2017 Feb;30(2):101–38.

11. Lancellotti P, Pellikka PA, Budts W, Chaudhry FA, Donal E, Dulgheru R, et al. The clinical use of stress echocardiography in non-ischaemic heart disease: recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016 Nov;17(11):1191–229.
12. Erdei T, Smiseth OA, Marino P, Fraser AG. A systematic review of diastolic stress tests in heart failure with preserved ejection fraction, with proposals from the EU-FP7 MEDIA study group. *Eur J Heart Fail*. 2014 Dec;16(12):1345–61.
13. Obokata M, Nagata Y, Kado Y, Kurabayashi M, Otsuji Y, Takeuchi M. Ventricular-Arterial Coupling and Exercise-Induced Pulmonary Hypertension During Low-Level Exercise in Heart Failure With Preserved or Reduced Ejection Fraction. *J Card Fail*. 2016 Oct
14. Donal E, Lund LH, Oger E, Reynaud A, Schnell F, Persson H, et al. Value of exercise echocardiography in heart failure with preserved ejection fraction: a substudy from the KaRen study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016 Jan;17(1):106–13.
15. Shafiq A, Brawner CA, Aldred HA, Lewis B, Williams CT, Tita C, et al. Prognostic value of cardiopulmonary exercise testing in heart failure with preserved ejection fraction. The Henry Ford Hospital CardioPulmonary EXercise Testing (FIT-CPX) project. *Am Heart J*. 2016 avril;174:167–72.
16. Kusunose K, Motoki H, Popovic ZB, Thomas JD, Klein AL, Marwick TH. Independent association of left atrial function with exercise capacity in patients with preserved ejection fraction. *Heart Br Card Soc*. 2012 Sep;98(17):1311–7.
17. Leite L, Mendes SL, Baptista R, Teixeira R, Oliveira-Santos M, Ribeiro N, et al. Left atrial mechanics strongly predict functional capacity assessed by cardiopulmonary exercise testing in subjects without structural heart disease. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2016 Dec 24
18. Kosmala W, Rojek A, Przewlocka-Kosmala M, Mysiak A, Karolko B, Marwick TH. Contributions of Nondiastolic Factors to Exercise Intolerance in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction. *J Am Coll Cardiol*. 2016 Feb 16;67(6):659–70.
19. Guazzi M, Adams V, Conraads V, Halle M, Mezzani A, Vanhees L, et al. EACPR/AHA Scientific Statement. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Circulation*. 2012 Oct 30;126(18):2261–74.
20. Arena R, Myers J, Aslam SS, Varughese EB, Peberdy MA. Peak VO₂ and VE/VCO₂ slope in patients with heart failure: a prognostic comparison. *Am Heart J*. 2004 Feb;147(2):354–60.
21. Mancini DM, Eisen H, Kussmaul W, Mull R, Edmunds LH, Wilson JR. Value of peak exercise oxygen consumption for optimal timing of cardiac transplantation in ambulatory patients with heart failure. *Circulation*. 1991 Mar;83(3):778–86.
22. Forman DE, Guazzi M, Myers J, Chase P, Bensimhon D, Cahalin LP, et al. Ventilatory power: a novel index that enhances prognostic assessment of patients with heart failure. *Circ Heart Fail*. 2012 Sep 1;5(5):621–6.

23. Francis D. Cardiopulmonary exercise testing for prognosis in chronic heart failure: continuous and independent prognostic value from VE/VCO₂slope and peak VO₂. *Eur Heart J*. 2000 Jan 15;21(2):154–61.
24. Arena R, Myers J, Guazzi M. The clinical and research applications of aerobic capacity and ventilatory efficiency in heart failure: an evidence-based review. *Heart Fail Rev*. 2008 Jun;13(2):245–69.
25. Nanas SN, Nanas JN, Sakellariou DC, Dimopoulos SK, Drakos SG, Kapsimalakou SG, et al. VE/VCO₂ slope is associated with abnormal resting haemodynamics and is a predictor of long-term survival in chronic heart failure. *Eur J Heart Fail*. 2006 Jun;8(4):420–7.
26. Picano E, Pibarot P, Lancellotti P, Monin JL, Bonow RO. The Emerging Role of Exercise Testing and Stress Echocardiography in Valvular Heart Disease. *J Am Coll Cardiol*. 2009 Dec;54(24):2251–60.
27. Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP, Guyton RA, et al. 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*. 2014 Jun 10;129(23):e521–643.
28. Maréchaux S, Hachicha Z, Bellouin A, Dumesnil JG, Meimoun P, Pasquet A, et al. Usefulness of exercise-stress echocardiography for risk stratification of true asymptomatic patients with aortic valve stenosis. *Eur Heart J*. 2010 Jun;31(11):1390–7.
29. Lancellotti P, Moura L, Pierard LA, Agricola E, Popescu BA, Tribouilloy C, et al. European Association of Echocardiography recommendations for the assessment of valvular regurgitation. Part 2: mitral and tricuspid regurgitation (native valve disease). *Eur J Echocardiogr*. 2010 May 1;11(4):307–32.
30. Magne J, Lancellotti P, Piérard LA. Exercise pulmonary hypertension in asymptomatic degenerative mitral regurgitation. *Circulation*. 2010 Jul 6;122(1):33–41.
31. Gimeno JR, Tomé-Esteban M, Lofiego C, Hurtado J, Pantazis A, Mist B, et al. Exercise-induced ventricular arrhythmias and risk of sudden cardiac death in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Eur Heart J*. 2009 Nov;30(21):2599–605.
32. 2014 ESC Guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy: The Task Force for the Diagnosis and Management of Hypertrophic Cardiomyopathy of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014 Oct 14;35(39):2733–79.
33. Shah JS, Esteban MTT, Thaman R, Sharma R, Mist B, Pantazis A, et al. Prevalence of exercise-induced left ventricular outflow tract obstruction in symptomatic patients with non-obstructive hypertrophic cardiomyopathy. *Heart Br Card Soc*. 2008 Oct;94(10):1288–94.
34. Sharma S, Elliott P, Whyte G, Jones S, Mahon N, Whipp B, et al. Utility of cardiopulmonary exercise in the assessment of clinical determinants of functional capacity in hypertrophic cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 2000 Jul;86(2):162–8.

35. Masri A, Pierson LM, Smedira NG, Agarwal S, Lytle BW, Naji P, et al. Predictors of long-term outcomes in patients with hypertrophic cardiomyopathy undergoing cardiopulmonary stress testing and echocardiography. *Am Heart J*. 2015 May;169(5):684–92.e1.
36. Desai MY, Bhonsale A, Patel P, Naji P, Smedira NG, Thamilarasan M, et al. Exercise echocardiography in asymptomatic HCM: exercise capacity, and not LV outflow tract gradient predicts long-term outcomes. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2014 Jan;7(1):26–36.
37. Sorajja P, Allison T, Hayes C, Nishimura RA, Lam CSP, Ommen SR. Prognostic Utility of Metabolic Exercise Testing in Minimally Symptomatic Patients With Obstructive Hypertrophic Cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 2012 May;109(10):1494–8.
38. Nistri S, Olivotto I, Maron MS, Grifoni C, Baldini K, Baldi M, et al. Timing and significance of exercise-induced left ventricular outflow tract pressure gradients in hypertrophic cardiomyopathy. *Am J Cardiol*. 2010 Nov 1;106(9):1301–6.
39. Reant P, Reynaud A, Pillois X, Dijos M, Arsac F, Touche C, et al. Comparison of resting and exercise echocardiographic parameters as indicators of outcomes in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr*. 2015 Feb;28(2):194–203.
40. Feneon D, Schnell F, Galli E, Bernard A, Mabo P, Daubert J-C, et al. Impact of exercise-induced mitral regurgitation on hypertrophic cardiomyopathy outcomes. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016 Oct;17(10):1110–7.
41. Belardinelli R, Lacalaprice F, Carle F, Minnucci A, Cianci G, Perna G, et al. Exercise-induced myocardial ischaemia detected by cardiopulmonary exercise testing. *Eur Heart J*. 2003 Jul;24(14):1304–13.
42. Misra D, Kendes A, Sulica R, Carabello B. Exercise-induced pulmonary hypertension by stress echocardiography: Prevalence and correlation with right heart hemodynamics. *Int J Cardiol*. 2017 Feb;228:518–22.
43. Zhao Q-H, Wang L, Pudasaini B, Jiang R, Yuan P, Gong S-G, et al. Cardiopulmonary exercise testing improves diagnostic specificity in patients with echocardiography-suspected pulmonary hypertension. *Clin Cardiol*. 2017 Feb;40(2):95–101.
44. Rozenbaum Z, Khoury S, Aviram G, Gura Y, Sherez J, Man A, et al. Discriminating Circulatory Problems From Deconditioning: Echocardiographic and Cardiopulmonary Exercise Test Analysis. *Chest*. 2017 février;151(2):431–40.
45. Badagliacca R, Papa S, Valli G, Pezzuto B, Poscia R, Manzi G, et al. Echocardiography Combined With Cardiopulmonary Exercise Testing for the Prediction of Outcome in Idiopathic Pulmonary Arterial Hypertension. *Chest*. 2016 Dec;150(6):1313–22.
46. Bandera F, Generati G, Pellegrino M, Donghi V, Alfonzetti E, Gaeta M, et al. Role of Right Ventricle and Dynamic Pulmonary Hypertension on Determining VO₂/ Work Rate Flattening: Insights From Cardiopulmonary Exercise Test Combined With Exercise Echocardiography. *Circ Heart Fail*. 2014 Sep 1;7(5):782–90.

47. Borghi-Silva A, Labate V, Arena R, Bandera F, Generati G, Pellegrino M, et al. Exercise ventilatory power in heart failure patients: Functional phenotypes definition by combining cardiopulmonary exercise testing with stress echocardiography. *Int J Cardiol.* 2014 Oct;176(3):1348–9.
48. Shimiaie J, Sherez J, Aviram G, Megidish R, Viskin S, Halkin A, et al. Determinants of Effort Intolerance in Patients With Heart Failure: Combined Echocardiography and Cardiopulmonary Stress Protocol. *JACC Heart Fail.* 2015 Oct;3(10):803–14.
49. Bandera F, Generati G, Pellegrino M, Secchi F, Menicanti L, Guazzi M. Exercise gas exchange analysis in obstructive hypertrophic cardiomyopathy before and after myectomy (cardiopulmonary exercise test combined with exercise-echocardiography in HCM). *Int J Cardiol.* 2015 Jan 15;178:282–3.
50. Bandera F, Generati G, Pellegrino M, Tufaro V, Secchi F, Sugimoto T, et al. Paradoxical low flow/low gradient aortic stenosis: Can cardiopulmonary exercise test help in identifying it? *Int J Cardiol.* 2016 Jan 15;203:37–9.
51. Keteyian SJ, Patel M, Kraus WE, Brawner CA, McConnell TR, Piña IL, et al. Variables Measured During Cardiopulmonary Exercise Testing as Predictors of Mortality in Chronic Systolic Heart Failure. *J Am Coll Cardiol.* 2016 Feb 23;67(7):780–9.
52. Drescher U, Koschate J, Schiffer T, Hoffmann U. Analysis of cardio-pulmonary and respiratory kinetics in different body positions: impact of venous return on pulmonary measurements. *Eur J Appl Physiol.* 2016 Jul 1;116(7):1343–53.
53. Rostagno C, Galanti G, Comeglio M, Boddi V, Olivo G, Gastone Neri Serneri G. Comparison of different methods of functional evaluation in patients with chronic heart failure. *Eur J Heart Fail.* 2000 Sep;2(3):273–80.
54. Ahmed A, Aronow WS, Fleg JL. Higher New York Heart Association classes and increased mortality and hospitalization in patients with heart failure and preserved left ventricular function. *Am Heart J.* 2006 Feb;151(2):444–50.
55. Muntwyler J, Abetel G, Gruner C, Follath F. One-year mortality among unselected outpatients with heart failure. *Eur Heart J.* 2002 Dec;23(23):1861–6.
56. Dimopoulou I, Daganou M, Tsintzas OK, Tzelepis GE. Effects of severity of long-standing congestive heart failure on pulmonary function. *Respir Med.* 1998 Dec;92(12):1321–5.
57. Güder G, Rutten FH, Brenner S, Angermann CE, Berliner D, Ertl G, et al. The impact of heart failure on the classification of COPD severity. *J Card Fail.* 2012 Aug;18(8):637–44.

ANNEXES

Figure 13 : Survie en fonction du pourcentage de VO_2 au 1er seuil ventilatoire

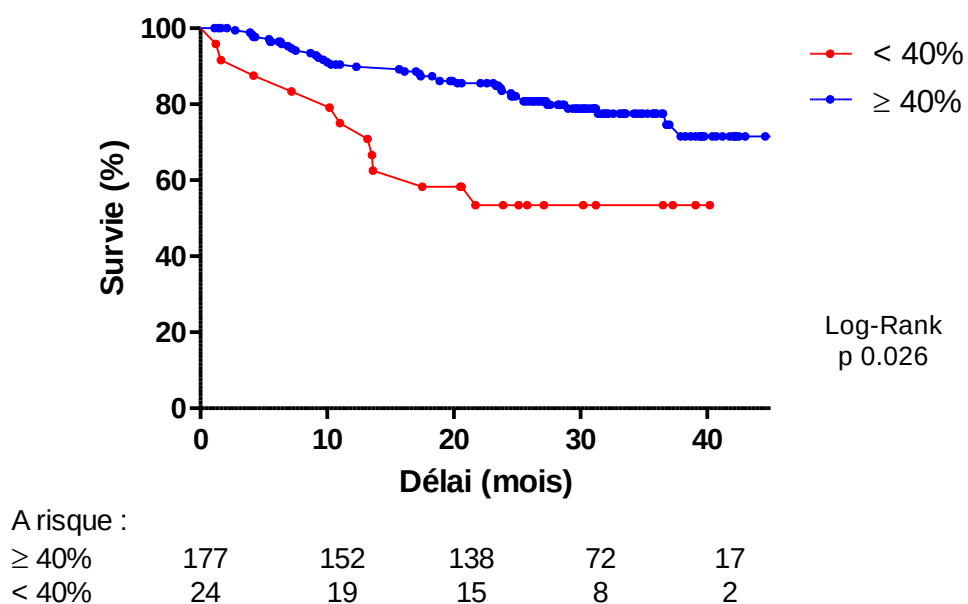


Figure 14 : Survie en fonction du temps de demi-récupération de VO_2

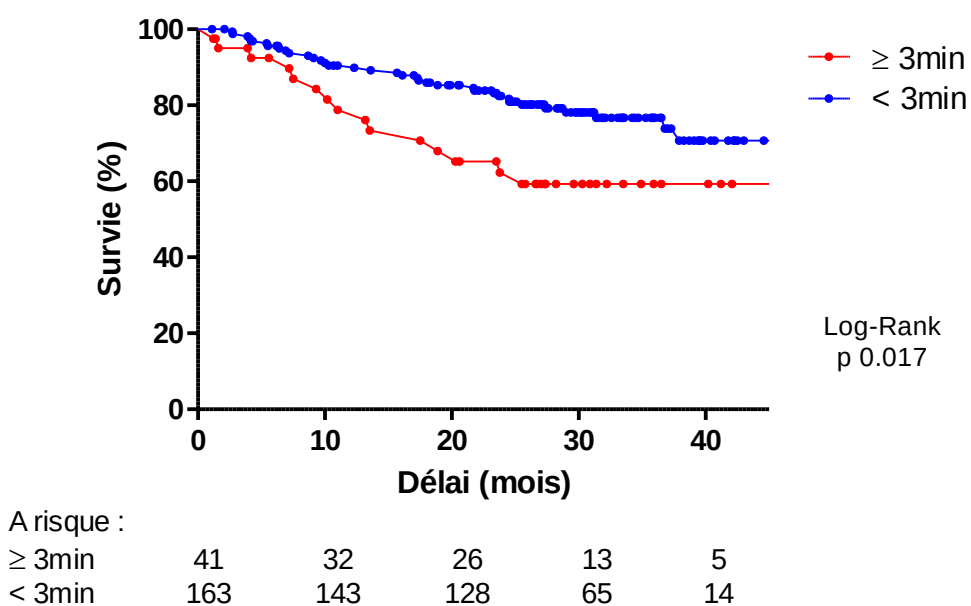


Figure 15 : Survie en fonction de la PetCO₂ au pic

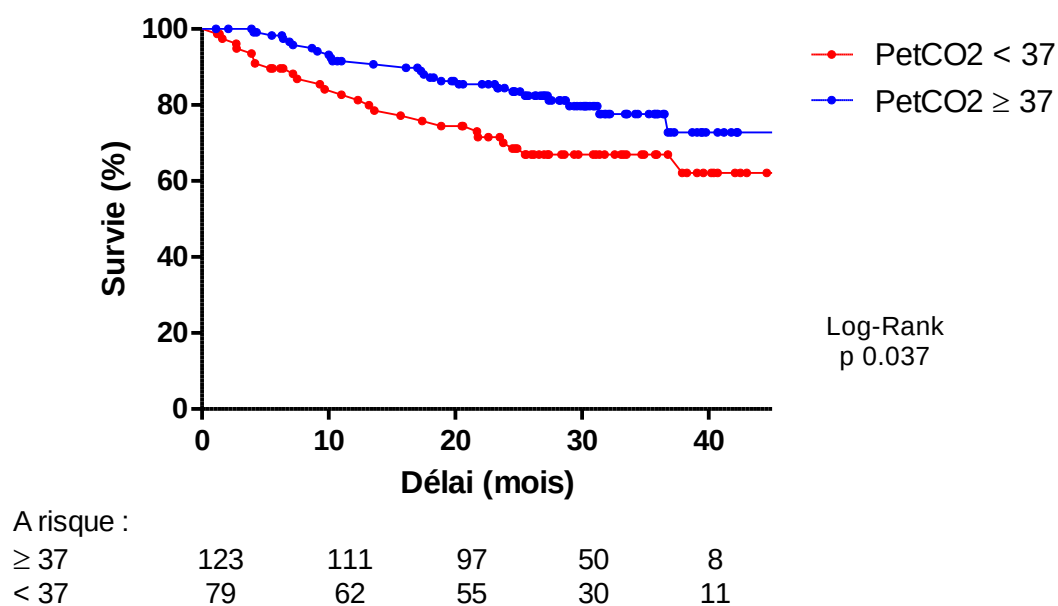
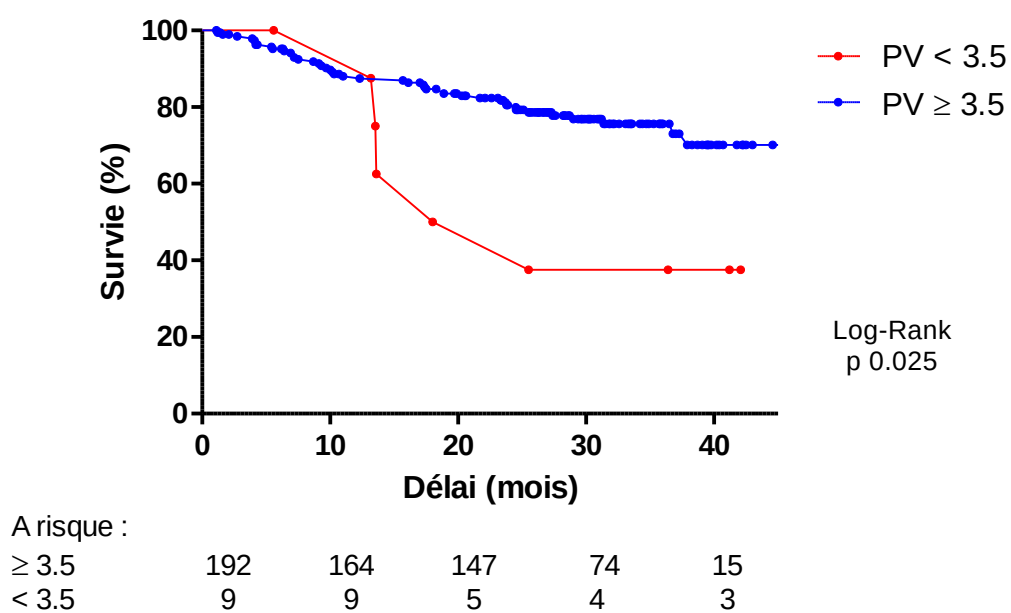


Figure 16 : Survie en fonction de la puissance ventilatoire



Vu, le Président du Jury,

Professeur Jean-Noël TROCHU

Vu, le Directeur de Thèse,

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, connected strokes. The signature is slanted upwards to the right.

Professeur Thierry LE TOURNEAU

Vu, le Doyen de la Faculté,

Professeur Pascale JOLLIET

Titre de Thèse :

INTERET D'UN NOUVEAU TEST D'EFFORT :
L'ECHOCARDIOGRAPHIE D'EFFORT METABOLIQUE

RESUME

Introduction

L'objectif était d'évaluer la validité, l'intérêt diagnostique et pronostique d'un nouvel examen d'effort dans la pratique courante : l'échocardiographie d'effort métabolique (CPEET), combinant échocardiographie d'effort et mesure des gaz expirés.

Méthodes

Etude pilote observationnelle, rétrospective, monocentrique, portant sur les patients consécutifs ayant bénéficié d'une CPEET au CHU de Nantes entre mars 2012 et juillet 2014.

Résultats

Deux-cent-huit patients ont été inclus (218 examens) et suivis 29.8 ± 9.5 mois. Cinquante-quatre pourcent des patients présentaient une valvulopathie, 18% étaient adressés pour exploration d'un symptôme à l'effort. Le pic de VO_2 en position semi-couchée était étroitement corrélé avec celui en position assise ($r^2=0.87$, $p < 0.0001$) évalué chez 17 patients. L'analyse sur un plan diagnostique et pronostique (critère composite d'événement cardiovasculaire) a montré une valeur additive des différentes composantes de l'échocardiographie d'effort et de l'épreuve d'effort métabolique. Un pic de $VO_2 < 75\%$ de la valeur théorique dans cette population hétérogène avait une forte valeur pronostique (hazard ratio à 2.8, intervalle de confiance à 95% [1.6-5.2], $p=0.0006$). Ces patients présentaient des critères de sévérité tant sur le plan des symptômes (stade NYHA) que sur le plan de leur capacité fonctionnelle à l'effort (puissance maximale, débit cardiaque, déconditionnement périphérique, paramètres ventilatoires). Finalement, l'examen a permis un changement de diagnostic et de prise en charge du patient dans 35% des cas.

Conclusion

L'échocardiographie d'effort métabolique apparaît comme un nouvel examen d'effort complet, validé, avec une valeur diagnostique et pronostique supplémentaire par rapport à l'échocardiographie d'effort simple.

MOTS-CLES

Test d'effort – cardiomyopathie – échocardiographie – VO_2 – pronostic