

Recommandations de la Société Française de Cardiologie pour les épreuves d'effort

Dany-Michel Marcadet^a, Bruno Pavy^{b,*}, Gilles Bosser^c, Frédérique Claudot^d, Sonia Corone^e,
Hervé Douard^f, Marie-Christine Iliou^g, Bénédicte Vergès-Patois^h, Pascal Amedroⁱ, Thierry Le
Tourneau^j, Caroline Cueff^j, Taniela Avedian^a, Alain Cohen Solal^k, François Carré^l

^a Cardiac Rehabilitation Department, Turin Clinic, 75008 Paris, France

^b Cardiac Rehabilitation Department, Loire-Vendée-Océan Hospital, 44270 Machecoul, France

^c Paediatric and Congenital Cardiology Department, M3C Regional Competences Centre, University Hospital, 54511 Vandoeuvre-les-Nancy; EA 3450, Development, Adaptation and Disadvantage, Faculty of Medicine, University of Lorraine, 54600 Villers-lès-Nancy, France

^d Platform for Clinical Research Assistance, University Hospital, 54511 Vandoeuvre-les-Nancy; EA 4360 APEMAC, Faculty of Medicine, University of Lorraine, 54600 Villers-lès-Nancy, France

^e Cardiac Rehabilitation Department, Bligny Medical Centre, 91640 Briis-sous-Forges, France

^f Cardiac Rehabilitation Department, Bordeaux University Hospital, 33604 Pessac, France

^g Cardiac Rehabilitation Department, Corentin-Celton Hospital, 92130 Issy-Les-Moulineaux, France

^h Cardiac Rehabilitation Department, Les Rosiers Clinic, 21000 Dijon, France

ⁱ Paediatric and Congenital Cardiology Department, M3C Regional Reference Centre, University Hospital, 34295 Montpellier; Physiology and Experimental Biology of Heart and Muscles Laboratory, PHYMEDEXP, UMR CNRS 9214–INSERM U1046, University of Montpellier, 34295 Montpellier, France

^j Cardiology Functional Evaluation Department, University Hospital Laennec, 44800 Nantes, France

^k Cardiology Department, Hospital Lariboisière, 75010 Paris, France

^l Department of Sport Medicine, Pontchaillou Hospital, University of Rennes 1, INSERM 1099, 35043 Rennes, France

* Auteur correspondant: Cardiac Rehabilitation Department, Hôpital Loire-Vendée-Océan, Boulevard des Régents – BP2, 44270 Machecoul, France.

E-mail address: pavy.bruno@wanadoo.fr (B. Pavy).

Comité d'écriture : Dany-Michel Marcadet, Bruno Pavy, Gilles Bosser et François Carré

Mise en ligne le 13/08/2018

Partie 1 : Méthodes et interprétation

Résumé

L'épreuve d'effort (EE) reste un examen clé en cardiologie pour le diagnostic de l'ischémie myocardique et pour l'évaluation clinique des autres cardiopathies. Le test cardiorespiratoire (EEVO₂) basé sur l'analyse de la mesure des gaz expirés peut préciser la capacité fonctionnelle individuelle et estimer le pronostic des cardiopathies. Ces recommandations, résumées ci-dessous, font le point sur la méthodologie, l'interprétation et les indications de ces deux tests. Les règles de sécurité doivent être strictement respectées. L'interprétation de l'EE et de l'EEVO₂ doit être multivariée. La capacité fonctionnelle est un puissant facteur prédictif de la mortalité toutes causes et des événements cardiovasculaires. La douleur thoracique, les anomalies du segment ST et de l'index ST/fréquence cardiaque sont les premiers signes en faveur d'une ischémie myocardique le plus souvent en rapport avec des lésions coronaires. L'insuffisance chronotrope, une fréquence de récupération anormale, des modifications des QRS (élargissement, déviation axiale) et l'utilisation de scores (basés sur la présence de différents facteurs de risque) doivent aussi être pris en considération pour le diagnostic de la maladie coronaire. Les troubles du rythme et de la conduction survenant pendant l'examen sont considérés comme des facteurs pronostiques comme la diminution ou une augmentation insuffisante de la pression artérielle pendant l'exercice. Lors de l'analyse des gaz expirés, le pic de consommation d'oxygène, la pente du rapport ventilation par la production de gaz carbonique sont les deux principaux paramètres pronostiques utilisés.

MOTS CLÉS

Recommandations Françaises

Épreuve d'effort

Test cardiorespiratoire

Sécurité

Interprétation

Abréviations : PA, pression artérielle ; EE VO₂, épreuve d'effort cardiorespiratoire ; EE, épreuve d'effort ; FC, fréquence cardiaque ; MET, metabolic equivalent of the task ; FCM, fréquence cardiaque maximale ; SpO₂, saturation en oxygène; VCO₂, volume expiré de dioxyde de carbone ; VE, volume de gaz expiré ; VO₂, consommation d'oxygène ; SV, seuil ventilatoire

Contexte

Etant donné que les dernières recommandations datent de 1997, le Groupe Exercice Réadaptation et Sport (GERS) de la Société Française de Cardiologie a décidé de publier de nouvelles recommandations, en tenant compte des différents travaux qui ont été publiés au cours des dernières décennies [1, 2]. La première partie décrit les conditions de sécurité et la méthodologie requises pour effectuer et interpréter une épreuve d'effort (EE) ou une EE cardiorespiratoire (EEVO₂), qui consiste en une EE couplée à une analyse des gaz expirés; la partie 2 propose les indications pour les EE et les EEVO₂ en cardiologie.

Risques et sécurité

Une EE est associée à un risque d'événements indésirables mortels estimé <0,01%, et un risque d'événement nécessitant une intervention médicale <0,2% [3]. Par conséquent, une observation stricte des contre-indications et des critères d'arrêt est nécessaire (Tableau 1 et Tableau 2).

Tableau 1 Contre-indications [2]

CI absolues	SCA ST+ ou ST- (< 2 jours) Trouble du rythme sévère ou mal toléré Obstruction sévère ou symptomatique à l'éjection ventriculaire gauche Insuffisance cardiaque décompensée Thrombose veineuse aiguë avec ou sans embolie pulmonaire Myocardite, péricardite ou endocardite aiguës Dissection aortique aiguë Thrombus intra-cardiaque à haut risque emboligène Incapacité à effectuer un exercice physique Refus du patient
CI relatives ^a	Sténose significative du tronc commun Anévrisme ventriculaire Tachycardia supra-ventriculaire avec fréquence ventriculaire mal contrôlée Bloc acquis de haut degré ou complet AVC ou AIT récents Cardiomyopathie obstructive avec gradient de repos élevé Etat clinique mal contrôlé, telles qu'une anémie marquée, trouble électrolytique significatif, une hyperthyroïdie... Manque de coopération de la part du patient PA > 200/110 mmHg (voire moins selon l'âge du patient)

CI : contre-indications ; PA : Pression artérielle ; SCA : syndrome coronarien aiguë avec ou sans sus-décalage du ST ; AVC : accident vasculaire cérébral ; AIT : accident ischémique transitoire

^a A la discrétion du cardiologue.

Le laboratoire d'épreuve d'effort doit comprendre, soit une unité de soins intensifs cardiaques, soit avoir la possibilité de transférer rapidement le patient vers une unité de soins intensifs cardiaques dans un autre centre médical. Dans ce dernier cas, la salle d'urgence dédiée doit être équipée du matériel nécessaire à la réanimation cardiaque à effectuer en attendant le transfert du patient.

Le laboratoire d'épreuves d'effort doit contenir : un téléphone pour appeler les secours ; une source d'oxygène ; un système d'aspiration prêt à l'emploi ; un ou plusieurs ergomètres ; un enregistreur d'électrocardiogrammes (ECG) à 12 dérivations avec surveillance permanente du tracé (au moins trois dérivations simultanées) ; un dispositif de mesure de la pression

artérielle (PA) ; et un chariot d'urgence avec un défibrillateur [4]. Il est également recommandé, mais non obligatoire, d'y inclure un oxymètre et un appareil de mesures des gaz expirés.

Avant l'EE, le patient doit recevoir une informations orale, notamment sur les avantages, les risques et les alternatives possibles à l'examen, en plus des informations écrites sur le formulaire de consentement qui doit être signé et inclus dans le dossier du patient (voir modèle sur le site Internet de la Société Française de Cardiologie), conformément à l'article L1111-2 du code de la santé publique.

L'EE doit être menée sous la responsabilité d'un cardiologue. Pendant une EE ou EEVO₂, le laboratoire doit être en mesure d'assurer une réanimation cardiaque effectuée par le cardiologue, avec l'aide d'un assistant qualifié (technicien, paramédical ou médecin), formé régulièrement en EE, EEVO₂ et aux gestes d'urgence (attestation de formation de niveau 1 en gestes et soins d'urgence).

Méthodologie

L'EE consiste en un exercice maximal ou limité par les symptômes, avec enregistrement continu d'un électrocardiogramme, de la PA et d'autres variables cliniques.

Préparation du patient

Le patient doit éviter de manger pendant quelques heures avant l'EE. La peau doit être bien préparée pour optimiser les signaux d'électrocardiogramme. Les dérivations précordiales sont placées de façon classique ; il est recommandé de placer les dérivations périphériques sur les crêtes iliaques et les régions sous-claviculaires [2].

Analyse des gaz expirés

Une EEVO₂ avec surveillance continue de la saturation en oxygène (SpO₂) permet d'évaluer les réponses respiratoires, cardiovasculaires et musculaires qui se produisent pendant l'exercice [5-7].

Protocole d'exercice

Le protocole est individualisé en fonction de la capacité maximale prévisible du patient, corrigée par le niveau d'activité physique estimé [6-8].

Le protocole d'exercice est basé sur une augmentation graduelle de la charge de travail après une période d'échauffement. Un effort qui progresse trop rapidement surestimera la capacité physique du patient. Inversement, la capacité physique sera sous-estimée si l'effort progresse trop lentement [6]. Un protocole de test ergométrique en rampe est recommandé pour l'évaluation de la VO₂, la charge de travail augmentant continuellement.

Critères d'arrêt d'une EE

L'EE doit être arrêtée lorsque le patient atteint l'épuisement ou lorsque des symptômes ou des anomalies électriques nécessitant l'arrêt de l'exercice surviennent, ou à la demande du patient (Tableau 2) [2]. L'EE est maximale quand au moins un critère listé dans le tableau 3 est présent [9]. L'atteinte de la fréquence maximale théorique (FMT) n'est pas en soi un critère d'arrêt.

Tableau 2 Critères d'arrêt des tests d'effort, modifiés selon [2]

Critères absolus	Angor sévère Diminution ou absence d'augmentation de la TA malgré l'augmentation de la charge Sus-décalage du segment ST (en dehors d'un territoire infarcté) Arythmies sévères ou mal tolérées : tachycardie ventriculaire, fibrillation ventriculaire, bloc auriculo-ventriculaire du deuxième ou du troisième degré (complet) Signes de bas débit cardiaque : pâleur, extrémités froides, cyanose, faiblesse, vertiges Signes neurologiques : ataxie, confusion, vertiges, etc. Problèmes techniques qui empêchent une surveillance adéquate (ECG, PA) Demande du patient
Critères relatifs ^a	Douleur thoracique qui s'aggrave Sous-décalage du segment ST ≥ 2 mm ou descendant Fatigue ou essoufflement Auscultation pulmonaire anormale (crépitants, sibillants) Douleur des membres inférieurs ou incapacité à poursuivre l'exercice PA $\geq 250/115$ mmHg Arythmies moins sévères et bien tolérées : ESV fréquentes et polymorphes, tachycardia supra-ventriculaire, bradycardie Bloc de branche

PA : pression artérielle ; ESV : extrasystoles ventriculaires

^a A la discrétion du cardiologue

Tableau 3 Critères en faveur d'un effort maximal, modifié selon [9]

Signes d'épuisement et incapacité à poursuivre l'exercice

Échelle de Borg > 17

FMT atteinte ou dépassée

QR > 1.10 (si EEVO₂)

plateau de VO₂ (si EEVO₂)

EEVO₂ : épreuve d'effort cardiorespiratoire ; FMT : fréquence maximale théorique ; QR : quotient respiratoire = VCO₂/VO₂ ; VCO₂ : volume expiré de dioxyde de carbone ; VO₂ : consommation d'oxygène.

Récupération

La période de récupération doit être prolongée jusqu'à ce que la clinique et l'ECG reviennent à la valeur initiale (nécessitant au moins 3 à 6 minutes) [2]. La récupération passive peut être recommandée, car généralement bien tolérée et permet un diagnostic plus précis de la maladie coronarienne en augmentant la sensibilité de l'examen, et en permettant l'utilisation de la fréquence cardiaque de récupération comme critère pronostique [10].

Capacité fonctionnelle

La charge maximale effectuée est exprimée par la puissance en watts sur le vélo ou la pente et la vitesse sur le tapis roulant ou la durée de l'exercice. La consommation d'oxygène (VO₂) est exprimée en L / min, mL / min / kg ou en MET (équivalent metabolic of the task) (1 MET = 3,5 mL d'oxygène par kilogramme de poids corporel par minute [mL / min / kg])[7]. La valeur obtenue doit être comparée à la valeur prédite [11]. Le double produit (PA systolique maximale x FC maximale) évalue la charge de travail myocardique.

La dynamique de la fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque (FC) doit augmenter progressivement avec l'intensité de l'exercice. La fréquence cardiaque maximale (FCM) peut être prédite en utilisant la formule d'Astrand : 220 - âge ± 10 battements / min établie sur ergocycle [12]. D'autres formules ont été proposées

avec des données sur tapis roulant, comme pour la population générale ($FCM = 208 - 0,7 \times \text{âge}$) [13], pour les femmes ($FCM = 206 - 0,88 \times \text{âge}$) [14] et pour les patients sous bêta-bloquants ou autres agents bradycardisants ($FCM = 164 - 0,7 \times \text{âge}$) [15].

L'incompétence chronotrope est définie lorsque la FCM réelle est $\leq 80-85\%$ de la FMT- voire 70% - ou si $(FCM - FC \text{ de repos}) / (FMT - FC \text{ de repos}) \leq 80\%$ malgré un test maximal. L'incompétence chronotrope est un marqueur de mauvais pronostic et doit faire évoquer une ischémie myocardique [10, 16, 17].

Pendant la phase de récupération, la FC diminue d'abord rapidement, puis plus lentement jusqu'à son retour à la ligne de base, ce qui peut prendre plusieurs minutes [18]. Une diminution de la FC ≤ 12 battements / min et ≤ 22 battements / min par rapport à la FCM, après 1 et 2 minutes respectivement, est considérée comme anormale, en tenant compte de l'ergomètre utilisé, du traitement actuel et de la durée et l'intensité de la récupération active [10, 19].

La dynamique de la PA

La PA doit être mesurée à chaque palier de l'exercice, malgré la difficulté d'une mesure précise. Pour cette raison, elle devrait être vérifiée manuellement. Lors d'un effort maximal, la PA systolique doit augmenter d'au moins 40 mmHg. Pendant la phase de récupération, la pression artérielle systolique doit revenir à sa valeur de référence ou en dessous, dans les 6 minutes au plus [20-22].

Une augmentation excessive de la PA au cours des premiers paliers peut prédire une augmentation de la mortalité cardiovasculaire à long terme [23].

Une faible montée (<10 mmHg / MET) ou une diminution de la PA systolique au cours de l'exercice est anormale, souvent de mauvais pronostic [6, 24, 25].

Une hypotension marquée peut apparaître au cours de la récupération immédiate, qu'elle soit symptomatique ou non, elle est généralement considérée comme bénigne [25-27].

Le maintien d'une pression artérielle élevée pendant la phase de récupération serait en faveur d'une fonction ventriculaire altérée [26, 28]. Un rapport de la PA systolique à 3 minutes de récupération sur la PA systolique maximale supérieur à 0,9 a été suggéré comme critère diagnostique de coronaropathie [26, 27].

Analyse de l'électrocardiogramme (ECG)

Anomalies de la repolarisation

Les anomalies de repolarisation les plus fréquentes sont résumées dans le tableau 4. Les dérivations impliquées, le délai d'apparition, l'intensité et l'évolution de l'anomalie lors de la récupération doivent être bien décrits.

Table 4 Modifications de la repolarisation en faveur d'une ischémie myocardique

Sous-décalage du segment ST horizontal ou descendant ≥ 1 mm, 60–80 ms après le point J

Sous-décalage du segment ST ascendant ≥ 1.5 mm, 80 ms après le point J

Sus-décalage du segment ST ≥ 1 mm

Index ST/FC $\geq 1.6 \mu\text{V}/\text{battements} \cdot \text{min}^{-1}$

Boucle ST/FC dans le sens des aiguilles d'une montre

FC: fréquence cardiaque.

Parmi les anomalies de la repolarisation, le sous-décalage du segment ST est de loin la plus fréquente (80-90%); celui-ci doit être mesuré 60-80 ms au-delà du point J. Pour être significatif, un sous-décalage ascendant du segment ST doit atteindre au moins 1,5 mm d'amplitude à 80 ms. La valeur prédictive augmente avec l'importance du sous-décalage du segment ST, en particulier s'il est horizontal ou descendant [2, 29].

L'apparition précoce du sous-décalage du segment ST, le nombre de dérivations impliquées et sa persistance au cours de la récupération sont des éléments en faveur de lésions coronaires sévères [9].

Bien que le sous-décalage apparaisse essentiellement dans les dérivations précordiales V4, V5 et V6, cela n'a pas de valeur localisatrice d'une lésion coronaire. Une modification de la repolarisation dans les dérivations DII, DIII et aVF peut être liée à l'onde de repolarisation auriculaire [9, 30].

Un sous-décalage du segment ST induit par l'exercice qui se normalise rapidement en phase de récupération est de bon pronostic. Inversement, la persistance ou la récurrence d'une anomalie de la repolarisation au cours de la récupération après une normalisation initiale est en faveur d'une coronaropathie sévère [9].

Un index ST / FC $> 1,6 \mu\text{V} / \text{beat.min}^{-1}$ et une boucle ST / FC évoluant dans le sens des aiguilles d'une montre pendant la phase de récupération sont en faveur de la présence de sténoses coronaires [2, 31].

Un sus-décalage du segment ST induit par l'exercice, isolé ou associé à un sous-décalage du segment ST dans un territoire en miroir, est rare. Cependant, il indique généralement la présence d'une sténose coronaire sévère ou d'un spasme de l'artère correspondante au territoire touché. En présence d'une séquelle de nécrose avec ondes Q, un sus-décalage du segment ST peut évoquer une ischémie réversible, une akinésie ou une dyskinésie segmentaire du territoire de la nécrose [9, 32, 33].

Les ondes T négatives qui se normalisent ou apparaissent pendant l'exercice, sans modification du segment ST, sont de peu de valeur diagnostique [9].

Plusieurs facteurs pouvant affecter la repolarisation doivent être pris en compte lors de l'interprétation d'un ET (Tableau 5) [9].

Table 5 Facteurs modifiant l'interprétation de la repolarisation

Onde de repolarisation atriale
Anomalies de repolarisation sur l'électrocardiogramme de repos
Hypertension artérielle et hypertrophie ventriculaire gauche
Syndrome de Wolff-Parkinson-White
Bloc de branche gauche
Maladie valvulaire ou congénitale
Prolapsus mitral
Cardiomyopathie, péricardite
Trouble métabolique, hypokaliémie
Traitement digitalique
Traitement anti-angineux
Autres médicaments modifiant la repolarisation
Anémie

Les modifications des complexes QRS

Chez les sujets normaux, la durée du QRS diminue pendant l'exercice, alors que l'amplitude de l'onde Q septale augmente dans les dérivations V4, V5 et V6 [2]. Un élargissement du QRS pendant l'exercice peut être en faveur d'une ischémie myocardique [34-36].

Troubles du rythme

Un épisode de fibrillation atriale pendant l'exercice ou la récupération est prédictif d'une arythmie prolongée à venir, en particulier chez les personnes âgées [37].

Les arythmies ventriculaires dépendent de la pathologie cardiaque sous-jacente. La sévérité d'une arythmie ventriculaire donnée est associée à la morphologie du complexe QRS (polyphasique, polymorphe), son origine, sa fréquence et sa répétitivité, un intervalle de

couplage court (phénomène R sur T) et l'évolution de l'arythmie au cours de l'exercice. L'aggravation de l'arythmie au cours d'une EE, particulièrement pendant la période de récupération, est de mauvais pronostic [38].

Troubles de conduction

Les troubles de conduction survenant pendant l'effort, tels que les blocs auriculo-ventriculaires de haut degré, sont des critères d'arrêt de l'EE [39].

Une pathologie cardiaque sous-jacente est présente dans environ 50% des blocs de branche induits par l'exercice, dont la moitié est dû à une cause ischémique. Les blocs de branche gauche apparaissent plus souvent au cours d'une EE que les blocs de branche droit [40]. L'apparition simultanée d'une douleur précordiale et d'un bloc de branche gauche à l'effort peut être liée à un asynchronisme de contraction entre les ventricules [39, 41].

Un hémibloc antérieur gauche apparaissant à l'effort doit faire évoquer une sténose du tronc commun ou de l'artère interventriculaire proximale, alors qu'un hémibloc postérieur gauche peut révéler une sténose de la coronaire droite ou de la circonflexe avec souvent des lésions étendues [35].

Interprétation de l'EE dans le diagnostic de la maladie coronarienne

À des fins diagnostiques, l'interprétation d'une EE doit être multivariée [42, 43] et répondre par une probabilité élevée, intermédiaire ou faible d'ischémie myocardique. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte, notamment la prévalence de la maladie, la présence de facteurs de risque, les symptômes, les modifications de l'électrocardiogramme et d'éventuelles anomalies de la FC et de la PA pendant l'effort et la récupération immédiate [43, 44].

Il existe des scores (Duke Treadmill Score [45], Ashley [46]) qui aident à établir le diagnostic et le pronostic des patients atteints de coronaropathie, en les classant dans l'un des trois groupes de risque possibles (Tableau 6).

Tableau 6 Score de probabilité de coronaropathie, modifié selon [46]

	Hommes	Femmes	SCORE
FCM (batt/min)	≤ 100 = 30	≤ 100 = 20	
	100–129 = 24	100–129 = 16	
	130–159 = 18	130–159 = 12	
	160–189 = 12	160–189 = 8	
	190–220 = 6	190–220 = 4	
Sous-décalage de ST (mm)	1–2 = 15	1–2 = 6	
	> 2 = 25	> 2 = 10	
Age (ans)	> 55 = 20	> 65 = 25	
	40–55 = 12	50–65 = 15	
Antécédent d'angor	Typique = 5	Typique = 10	
	Atypique = 3	Atypique = 6	
	Aucune = 1	Aucune = 2	
Hypercholestérolémie	Oui = 5	NA	
Diabète	Oui = 5	Oui = 10	
Angor induite par l'EE	Présent = 3	Présent = 9	
	Cause de l'arrêt = 5	Cause de l'arrêt = 15	
Tabagisme	NA	Oui = 10	
Ménopause	NA	Oui = - 5	
		Non = 5	
TOTAL			

EE: épreuve d'effort; FCM: fréquence cardiaque maximale; NA: non applicable.

Risque de maladie coronaire chez l'homme : SCORE < 40 = probabilité faible; 40–60 = Probabilité intermédiaire; > 60 = Probabilité élevée.

Risque de maladie coronaire chez la femme : SCORE < 37 = probabilité faible; 37–57 = Probabilité intermédiaire; > 57 = Probabilité élevée.

Données de l' EEVO₂ et interprétation

L'analyse d'une EEVO₂ doit se baser sur les réponses pulmonaires, cardiovasculaires et musculaires à l'exercice (Tableau 7). La spirométrie avant une EEVO₂ est obligatoire pour détecter une limitation pulmonaire potentielle. L'hémoglobininémie du sujet doit également être prise en compte. L'interprétation de l' EEVO₂ doit être structurée.

L'analyse de l'EE doit d'abord être effectuée comme décrit précédemment, puis les données cardiorespiratoires sont analysées à l'aide d'algorithmes [7]. Toutes les variables sont calculées en fonction de trois items: la ventilation minute (volume de gaz expiré [VE], en L / min), et les fractions expirées d'oxygène et de dioxyde de carbone (%), mesurées à chaque cycle respiratoire.

Outre les consommations d'O₂ (VO₂) et le volume expiré de dioxyde de carbone (VCO₂), les principales variables de l' EEVO₂ utilisées en cardiologie sont : la capacité vitale (CV et ses composantes), le volume courant et la fréquence respiratoire, la réserve respiratoire, le rapport du volume d'espace mort sur le volume courant et la pression partielle du dioxyde de carbone en fin d'expiration (PETCO₂, en mmHg), reflétant une anomalie du rapport ventilation perfusion.

Une réserve respiratoire anormale (VE maximale / VE théorique maximale) < 30% et une diminution de SpO₂ > 5% pendant l'exercice sont des variables utiles pour détecter une limitation pulmonaire induite par l'exercice.

Chez les sujets normaux, la valeur de la VO₂ doit être ≥ 100% de la valeur prédite. L'interprétation d'une réduction du pic VO₂ est résumée dans le tableau 7 [47]. La valeur maximale de la VO₂ est un facteur prédictif important de la mortalité toutes causes confondues et des maladies cardiovasculaires, et constitue donc l'un des facteurs pronostiques les plus utiles dans l'insuffisance cardiaque chronique et de nombreuses autres cardiopathies[11, 47].

Au-delà du premier seuil ventilatoire (SV), VE augmente plus vite que la VO₂. En comparant la VO₂ au SV en % du pic, il est possible de définir plus précisément le niveau de déconditionnement physique (Tableau 7). L'entraînement physique augmente le pic VO₂ ainsi que la VO₂ au SV.

Une diminution du pic VO₂ et de la VO₂ au SV (exprimé en % du pic VO₂ mesuré) sont en faveur d'une limitation musculaire.

La pente VE / VCO₂ reflète l'efficacité respiratoire d'un patient donné pendant l'exercice. La valeur normale proposée est une pente < 30, qui peut augmenter légèrement avec l'âge ; elle est anormalement augmentée en cas de déséquilibre du rapport ventilation perfusion pulmonaire et présente, outre le pic VO₂, une forte valeur pronostique.

Le pouls d'oxygène (VO₂ / FC, mL d'oxygène / battement), qui reflète le volume d'éjection systolique du ventricule gauche, doit augmenter pendant toute la durée de l'exercice.

La présence d'oscillations respiratoires pendant l'effort est pathologique, essentiellement chez les patients atteints d'insuffisance cardiaque chronique [43].

Toutes les variables (tableau 7) requises pour l'analyse des échanges de gaz doivent être incluses dans le rapport final [43].

Table 7 Interprétation des principales variables du test d'effort cardiorespiratoire, modifiées selon [7]

Variabiles	Normal	Diminution faible	Diminution modérée	Diminution sévère
Pic VO ₂ / VO ₂ théorique (%)	≥ 100	75–99	50–74	< 50
VO ₂ au SV / VO ₂ théorique (%)	40–80		< 40	
Pente VE/VCO ₂	< 30	30–35.9	36–45	> 45
Pouls d'oxygène	augmente		Plateau précoce ou diminution	
Réserve respiratoire (%)	≥ 30		< 30 ^a	
Oscillations respiratoires	Absentes		Présentes	

VO₂ : volume expiré de dioxyde de carbone; VE: volume de gaz expiré; VO₂ : consommation d'oxygène; SV : Seuil ventilatoire

^a En cas de pathologie pulmonaire

Références

- [1] [Guidelines of the French Society of Cardiology for exercise testing of adults in cardiology]. Arch Mal Coeur Vaiss 1997;90:77-91.
- [2] Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation 2013;128:873-934.
- [3] Myers J, Arena R, Franklin B, et al. Recommendations for clinical exercise laboratories: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation 2009;119:3144-61.
- [4] Field JM, Hazinski MF, Sayre MR, et al. Part 1: executive summary: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Circulation 2010;122:S640-56.
- [5] Balady GJ, Arena R, Sietsema K, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation 2010;122:191-225.
- [6] Cohen-Solal A, Carré F. Practical Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing. 1st ed. Paris: Elsevier-Masson; 2012.
- [7] Wasserman K, Hansen J, Sietsema K, et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications. 4th ed. Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins; 2005.
- [8] Arena R, Myers J, Williams MA, et al. Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. Circulation 2007;116:329-43.
- [9] Froelicher VF. Exercise and the heart. 5th ed. Philadelphia: WB Saunders; 2006.
- [10] Myers J, Tan SY, Abella J, Aleti V, Froelicher VF. Comparison of the chronotropic response to exercise and heart rate recovery in predicting cardiovascular mortality. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil 2007;14:215-21.
- [11] Ross R, Blair SN, Arena R, et al. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. Circulation 2016;134:e653-e99.
- [12] Astrand I. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. Acta Physiol Scand Suppl 1960;49:1-92.
- [13] Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. J Am Coll Cardiol 2001;37:153-6.
- [14] Gulati M, Shaw LJ, Thisted RA, Black HR, Bairey Merz CN, Arnsdorf MF. Heart rate response to exercise stress testing in asymptomatic women: the St. James women take heart project. Circulation 2010;122:130-7.
- [15] Brawner CA, Ehrman JK, Schairer JR, Cao JJ, Keteyian SJ. Predicting maximum heart rate among patients with coronary heart disease receiving beta-adrenergic blockade therapy. Am Heart J 2004;148:910-4.
- [16] Brubaker PH, Kitzman DW. Chronotropic incompetence: causes, consequences, and management. Circulation 2011;123:1010-20.
- [17] Khan MN, Pothier CE, Lauer MS. Chronotropic incompetence as a predictor of death among patients with normal electrograms taking beta blockers (metoprolol or atenolol). Am J Cardiol 2005;96:1328-33.

- [18] Pierpont GL, Adabag S, Yannopoulos D. Pathophysiology of exercise heart rate recovery: a comprehensive analysis. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2013;18:107-17.
- [19] Kokkinos P, Myers J, Doumas M, et al. Heart rate recovery, exercise capacity, and mortality risk in male veterans. *Eur J Prev Cardiol* 2012;19:177-84.
- [20] Johnson BT, MacDonald HV, Bruneau ML, Jr., et al. Methodological quality of meta-analyses on the blood pressure response to exercise: a review. *J Hypertens* 2014;32:706-23.
- [21] Le VV, Mitiku T, Sungar G, Myers J, Froelicher V. The blood pressure response to dynamic exercise testing: a systematic review. *Prog Cardiovasc Dis* 2008;51:135-60.
- [22] Sharman JE, LaGerche A. Exercise blood pressure: clinical relevance and correct measurement. *J Hum Hypertens* 2015;29:351-8.
- [23] Weiss SA, Blumenthal RS, Sharrett AR, Redberg RF, Mora S. Exercise blood pressure and future cardiovascular death in asymptomatic individuals. *Circulation* 2010;121:2109-16.
- [24] American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 10th ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins; 2017.
- [25] Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, et al. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *Circulation* 2002;106:1883-92.
- [26] Acanfora D, De Caprio L, Cuomo S, et al. Diagnostic value of the ratio of recovery systolic blood pressure to peak exercise systolic blood pressure for the detection of coronary artery disease. *Circulation* 1988;77:1306-10.
- [27] Fleg JL, Lakatta EG. Prevalence and significance of postexercise hypotension in apparently healthy subjects. *Am J Cardiol* 1986;57:1380-4.
- [28] Marcadet DM, Assayag P, Guerot C, Valere PE. Influence de la fonction ventriculaire gauche sur le profil tensionnel de recuperation. *Arch Mal Coeur Vaiss* 1988;81:830.
- [29] Kligfield P, Lauer MS. Exercise electrocardiogram testing: beyond the ST segment. *Circulation* 2006;114:2070-82.
- [30] Monpere C, Desveaux B, Vernochet P, Quilliet N, Brochier M. [False positive of the exercise test and right auricular hypertrophy]. *Ann Cardiol Angeiol (Paris)* 1987;36:249-53.
- [31] Kligfield P. Principles of simple heart rate adjustment of ST segment depression during exercise electrocardiography. *Cardiol J* 2008;15:194-200.
- [32] Marcadet DM, Aubry P, Zouiouèche S, Courau-Delage F, Guérot C, Valère PE. Signification et pronostic du sus-décalage de ST à l'effort en dehors de l'infarctus. À propos de 9 cas. *Inf Cardiol* 1985;9:387-92.
- [33] Margonato A, Chierchia SL, Xuereb RG, et al. Specificity and sensitivity of exercise-induced ST segment elevation for detection of residual viability: comparison with fluorodeoxyglucose and positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* 1995;25:1032-8.
- [34] Cantor A, Goldfarb B, Aszodi A, Battler A. QRS prolongation measured by a new computerized method: a sensitive marker for detecting exercise-induced ischemia. *Cardiology* 1997;88:446-52.
- [35] Marcadet DM, Genet P, Assayag P, Valere PE. Significance of exercise-induced left hemiblock. *Am J Cardiol* 1990;66:1390-2.
- [36] Michaelides AP, Furlas CA, Giannopoulos N, et al. Significance of QRS duration changes in the evaluation of ST-segment depression presenting exclusively during the postexercise recovery period. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2006;11:241-6.
- [37] Turagam MK, Flaker GC, Velagapudi P, Vadali S, Alpert MA. Atrial Fibrillation In Athletes: Pathophysiology, Clinical Presentation, Evaluation and Management. *J Atr Fibrillation* 2015;8:1309.
- [38] Lee V, Perera D, Lambiase P. Prognostic significance of exercise-induced premature ventricular complexes: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Heart Asia* 2017;9:14-24.
- [39] Marcadet DM, Genet P, Angotti JF, Assayag P, Guerot C, Valere PE. [Significance of exercise-induced arrhythmias]. *Arch Mal Coeur Vaiss* 1988;81:947-54.
- [40] Bounhoure JP, Donzeau JP, Doazan JP, et al. [Complete bundle branch block during exercise test. Clinical and coronary angiographic data]. *Arch Mal Coeur Vaiss* 1991;84:167-71.
- [41] Bory M, Karila P, Sainsous J, et al. [Simultaneous appearance of precordial pain and effort-induced left bundle branch block. A study of 6 patients with normal coronary angiography]. *Arch Mal Coeur Vaiss* 1985;78:1326-31.
- [42] Ashley EA, Myers J, Froelicher V. Exercise testing in clinical medicine. *Lancet* 2000;356:1592-7.

- [43] Gibbons RJ. Noninvasive diagnosis and prognosis assessment in chronic coronary artery disease: stress testing with and without imaging perspective. *Circ Cardiovasc Imaging* 2008;1:257-69; discussion 69.
- [44] Sharma K, Kohli P, Gulati M. An update on exercise stress testing. *Curr Probl Cardiol* 2012;37:177-202.
- [45] Mark DB, Hlatky MA, Harrell FE, Jr., Lee KL, Califf RM, Pryor DB. Exercise treadmill score for predicting prognosis in coronary artery disease. *Ann Intern Med* 1987;106:793-800.
- [46] Ashley E, Myers J, Froelicher V. Exercise testing scores as an example of better decisions through science. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1391-8.
- [47] 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;133:e694-711.

Partie 2 : Indications des épreuves d'effort en cardiologie

Résumé

Le test d'effort est un examen couramment pratiqué en cardiologie. L'indication principale est l'évaluation de l'ischémie myocardique en fonction de la probabilité prétest et du niveau de risque d'évènement cardiovasculaire. Au-delà de l'analyse de la repolarisation, d'autres critères doivent être pris en considération pour améliorer sa valeur prédictive. Le test d'effort est aussi indiqué dans d'autres pathologies cardiaques (comme les troubles du rythme et de la conduction, le rétrécissement aortique asymptomatique sévère, les cardiomyopathies hypertrophiques, l'artérite des membres inférieurs, l'hypertension artérielle) et dans des populations particulières (femmes, sujets âgés, diabétiques, en préopératoire, chez les sujets asymptomatiques et dans les cardiopathies congénitales). Certaines pathologies (comme l'insuffisance cardiaque et l'hypertension pulmonaire) nécessitent un test d'effort avec la mesure des gaz expirés. Enfin, le test d'effort et la mesure des gaz expirés sont indispensables pour prescrire un programme de réadaptation.

La partie 2 analyse les indications des EE et les EEVO₂ en cardiologie, suivant les différentes classes (Tableau 1) et les niveaux de preuves (Tableau 2) de l'European Society of Cardiology.

Tableau 1 Classes de recommandations

classes	Définition	Suggestions de formulations
Classe I	Preuve et/ou accord général qu'un traitement ou une procédure donnée est bénéfique, utile et efficace	Est recommandé / indiqué
Classe II	Données contradictoires et/ou divergence d'opinion sur l'utilité/efficacité d'un traitement ou d'une procédure donnée	
Classe IIa	Le poids des données et/ou accord général est en faveur de l'utilité/efficacité	Doit être envisagé
Classe IIb	L'utilité/efficacité est moins bien établie par les données/accord général	Peut être envisagé
Classe III	Preuve et/ou accord général selon lequel le traitement ou la procédure n'est pas utile/efficace et, dans certains cas, peut être nocif	N'est pas recommandé

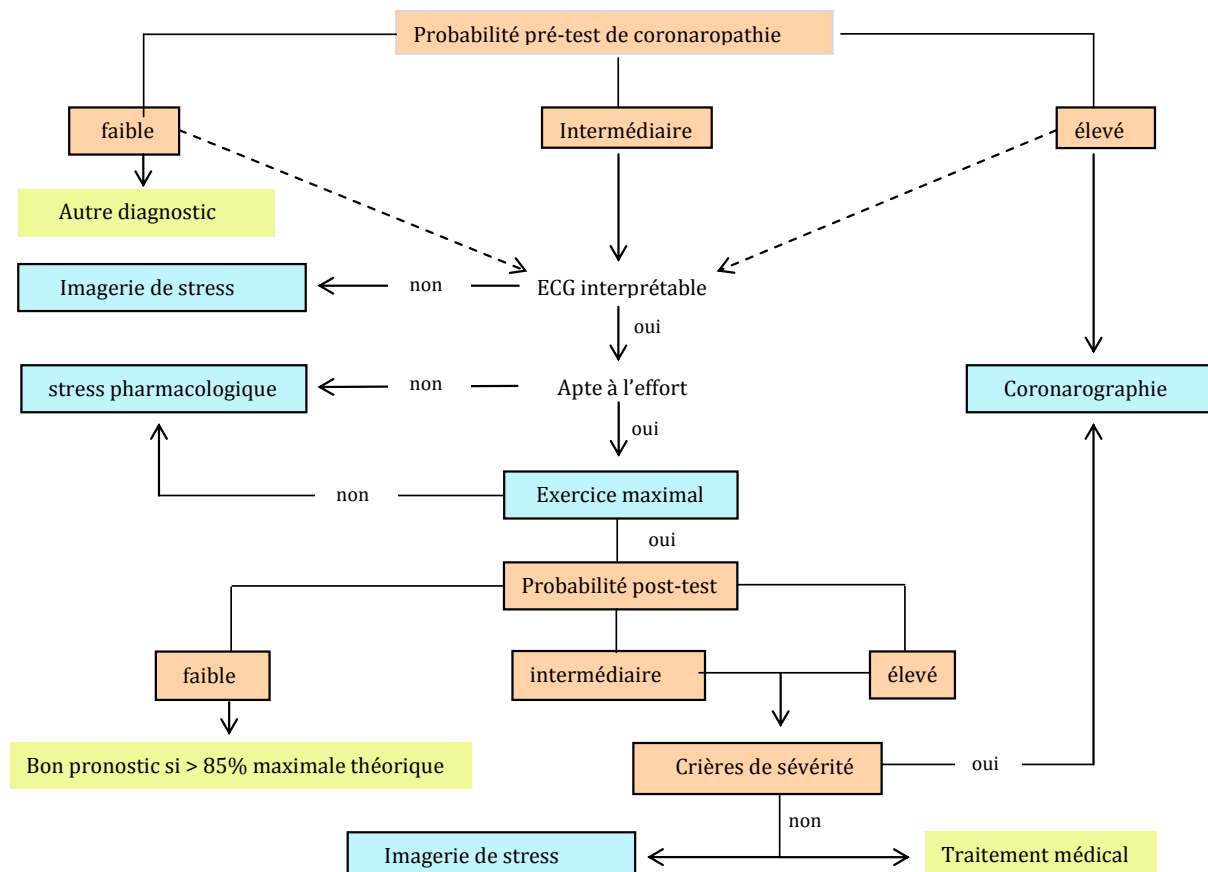
Tableau 2 Niveaux de preuve

Niveau de preuve A	Données provenant de plusieurs essais cliniques randomisés ou de méta-analyses
Niveau de preuve B	Données provenant d'un seul essai clinique randomisé ou de grandes études non randomisées
Niveau de preuve C	Consensus d'expert et/ou petites études, études rétrospectives, registres

EE dans la maladie coronarienne

La coronaropathie reste la principale indication d'un EE en cardiologie. L'indication d'une EE diagnostique est basée sur la probabilité prétest de maladie coronarienne (MC) (figure 1).

Figure 1



La probabilité pré-test clinique de la coronaropathie est évaluée en fonction de l'âge, du sexe et du type de douleur [3]. L'angor est défini par trois critères: la douleur thoracique constrictive rétrosternale déclenchée par l'effort, la digestion ou le stress émotionnel; une douleur qui dure plusieurs minutes (<20 minutes); et la douleur soulagée par le repos ou l'utilisation de nitroglycérine. L'angine est typique lorsque les trois critères sont remplis, atypique lorsque seulement deux critères sont présents, et improbable sinon. La probabilité pré-test peut être stratifiée comme faible, intermédiaire ou élevée, selon les symptômes, l'âge et le sexe d'un patient donné (Tableau 3).

Tableau 3 Probabilité clinique pré-test de maladie coronarienne, modifiée selon [3]

Age (ans)	Angor typique		Angor atypique		Angor peu probable	
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
30–39	Intermédiaire	Intermédiaire	Intermédiaire	Faible	Intermédiaire	Faible
40–49	Elevée	Intermédiaire	Intermédiaire	Faible	Intermédiaire	Faible
50–59	Elevée	Intermédiaire	Intermédiaire	Intermédiaire	Intermédiaire	Faible
60–69	Elevée	Intermédiaire	Intermédiaire	Intermédiaire	Intermédiaire	Intermédiaire
70–79	Très élevée	Elevée	Elevée	Intermédiaire	Intermédiaire	Intermédiaire
≥ 80	Très élevée	Elevée	Elevée	Intermédiaire	Intermédiaire	Intermédiaire

faible: < 15%; intermédiaire: 15–65%; élevée: 66–85%; très élevée: > 85%.

La prise en compte des facteurs de risque cardiovasculaire associés permet de mieux définir la probabilité pré-test de la coronaropathie [4]. L'estimation du risque cardiovasculaire doit être stratifiée, selon les recommandations de la Société Européenne de Cardiologie, en risque faible, modéré, élevé ou très élevé (Tableau 4) [5].

Tableau 4 Niveaux de risque cardiovasculaire, adaptées selon [5]

Risque très élevé	Maladie cardiovasculaire documentée (antécédent d'IDM, SCA, revascularisation coronarienne ou artérielle, AVC/AIT, anévrisme de l'aorte ou MAP) Imagerie d'une maladie cardiovasculaire, comme une plaque importante (angiographie coronaire ou échographie carotidienne) Diabète avec atteinte d'organes cibles (protéinurie) ou avec un facteur de risque cardiovasculaire majeur Insuffisance rénale sévère (DFG < 30 mL/min/1.73m ²) SCORE ≥ 10%
Risque élevé	Facteur de risque cardiovasculaire unique très élevé Autres patients diabétiques (sauf sujet jeune avec diabète de type I sans facteur de risque cardiovasculaire majeur) Insuffisance rénale modérée (DFG = 30-59 mL/min/1.73m ²) SCORE ≥ 5% et < 10%
Risque modéré	SCORE ≥ 1% et < 5%
Risque faible	SCORE < 1%

SCA: syndrome coronarien aigu; IDM: infarctus du myocarde; DFG: débit de filtration glomérulaire; MAP: maladie artérielle périphérique; AVC: accident vasculaire cérébral; AIT: accident ischémique transitoire.

Dans la plupart des cas, l'EE est le test de diagnostic de première intention pour la MC. Les techniques d'imagerie devraient être utilisées lorsqu'une probabilité intermédiaire persiste après l'EE [6, 7]. Un test diagnostique d'imagerie est indiqué en première intention lorsque l'électrocardiogramme n'est pas interprétable (figure 1). Une épreuve de stress pharmacologique est indiquée en cas d'inaptitude à l'exercice.

Au cours d'un syndrome coronarien aigu, une EE peut être réalisée 6 heures après l'apparition des symptômes, si les variables cliniques, biologiques et électrocardiographiques restent négatives [8]. Dans ce cas, ou dans l'angor stable, la capacité fonctionnelle représente un facteur pronostique majeur.

De plus, une EE permet d'élaborer le programme de réadaptation cardiaque d'un patient donné [9]. Dans ce contexte, une EE peut être réalisée en toute sécurité 1 semaine après une revascularisation coronarienne (angioplastie ou chirurgie) [10-12].

Un EE peut être utilisée dans le suivi de la MC, ainsi que pour optimiser son traitement médical. Une EE est indiquée en cas d'angor récurrent ou d'une baisse inexplicée de la capacité fonctionnelle [13] (Tableau 5).

Tableau 5 Indications de l'épreuve d'effort dans la maladie coronarienne

Diagnostic de la MC	Une EE est recommandée pour le diagnostic de la MC lorsque la probabilité de pré-test clinique est intermédiaire (Tableau 1), l'électrocardiogramme au repos est interprétable et le patient est apte à pratiquer l'exercice physique [3, 6]	I A
	Si le patient est sous traitement anti-angineux, celui-ci doit être maintenu pendant l'EE; Lorsque le test est normal, un second test peut être envisagé après arrêt du traitement, en respectant les mesures de sécurité ^a	Ila C
	Lorsque la probabilité de pré-test est élevée (Tableau 1), une EE doit être effectuée pour définir plus précisément le degré de sévérité de la maladie, et proposer un traitement médical ou une coronarographie	Ila C
	Lorsque la probabilité de pré-test clinique est faible (Tableau 1), une EE peut être envisagée si le risque cardiovasculaire estimé est élevé ou très élevé [4, 5]	Ilb B
	Une EE peut être envisagée au-delà de 6 heures après l'apparition des symptômes chez un patient hospitalisé pour angor, à condition que les données cliniques, biologiques et électrocardiographiques restent normales [8]	Ilb B
Evaluation de la MC	Une EE ou EEVO ₂ est recommandée pour prescrire un programme adapté d'activité physique et de réadaptation cardiaque [9]	I A
	Une EE doit être envisagée pour évaluer le résultat d'un geste de revascularisation et servir de référence pour le suivi	Ila C

MC: maladie coronarienne; EE: épreuve d'effort; EEVO₂: épreuve d'effort cardiorespiratoire.

^a Le patient doit être averti d'utiliser de la trinitroglycérine par voie sublinguale si une douleur thoracique survient au cours des activités quotidiennes, auquel cas une consultation cardiologique rapide est justifiée.

EE dans les troubles du rythme et de la conduction

Une EE est indiquée en cas de syncope, de palpitations, d'antécédents familiaux de mort subite d'origine cardiaque ou de maladie cardiovasculaire arythmogène héréditaire et de tout symptôme survenant pendant l'effort [14].

Au-delà de l'évaluation du pronostic, une EE peut aider à évaluer l'efficacité d'un traitement antiarythmique [2], ainsi que de confirmer le bon fonctionnement d'un stimulateur cardiaque ou d'un défibrillateur implanté [15].

En cas de fibrillation atriale chronique, une EE apporte des données utiles pour optimiser la fréquence ventriculaire [16].

En cas de bloc auriculo-ventriculaire congénital, une EE permet d'évaluer la réponse chronotrope ainsi que la capacité fonctionnelle; ces deux éléments sont nécessaires pour prendre une décision concernant l'implantation d'un stimulateur cardiaque [17].

En présence d'un syndrome de pré-excitation, comme dans celui de Wolf-Parkinson-White, une EE permet non seulement de détecter la disparition d'un battement à l'autre de l'onde de pré-excitation (ce qui est en faveur d'une voie accessoire bénigne), mais aussi l'évaluation de la vulnérabilité atriale ou le déclenchement d'une tachycardie par réentrée (Tableau 6) [18].

Tableau 6 Indications de l'épreuve d'effort dans les troubles du rythme et de la conduction

Une EE est recommandée en cas de symptomatologie à l'effort tels qu'une syncope, une fatigue anormale, des palpitations	I C
Une EE doit être envisagée pour évaluer l'efficacité d'un traitement antiarythmique (médicament ou ablation)	IIa C
Une EE doit être envisagée pour le réglage fin des stimulateurs cardiaques implantés ou des défibrillateurs	IIa C
Une EE peut être envisagée pour évaluer la réponse ventriculaire chez les patients atteints de fibrillation atriale	IIIb C
Une EE peut être envisagée pour évaluer un syndrome de pré-excitation	IIIb C

EE: épreuve d'effort

EE dans les valvulopathies

Une EEVO₂ fait partie du bilan de valvulopathies significatives, mais asymptomatiques, afin d'objectiver d'éventuels symptômes non reconnus et de mieux en définir la prise en charge et le pronostic.

Une EE est recommandée chez les patients asymptomatiques présentant une sténose aortique sévère (surface ≤ 1 cm² ou $\leq 0,6$ cm² / m² ou vitesse transvalvulaire maximale ≥ 4 m / s ou gradient moyen ≥ 40 mmHg). L'EE peut révéler des symptômes atypiques, une capacité fonctionnelle réduite ou une réponse anormale de la PA (diminution ou augmentation < 20 mmHg) [19]. Bien que rare, un EE peut déclencher des arythmies. Les sous-décalages du segment ST sont fréquents, mais n'ont pas de valeur diagnostique de coronaropathie. Deux études récentes dans de petites populations ont mis en évidence l'intérêt d'une EEVO₂ chez des patients asymptomatiques avec sténose aortique serrée. Pour ces patients, la chirurgie peut être discutée lorsque le pic VO₂ est $< 85\%$ de la valeur théorique ou 14 mL / min / kg, et la pente VE/VCO₂ est > 34 [20, 21]. EE et EEVO₂ sont contre-indiqués en cas de sténose aortique symptomatique [19] (Tableau 7).

Tableau 7 Indications de l'épreuve d'effort dans les valvulopathies

Une EEVO ₂ (ou, si indisponible, une EE) doit être envisagée chez les patients asymptomatiques présentant une sténose aortique sévère, pour orienter la décision thérapeutique en présence de certaines anomalies (diminution du pic VO ₂ , angor d'effort, diminution ou augmentation < 20 mmHg de la PA systolique, ou trouble du rythme ventriculaire) [19-21]	IIa B
Une EEVO ₂ (ou, si indisponible, une EE) doit être envisagée lorsque la clinique est discordante avec l'échocardiographie dans les valvulopathies autre que la sténose aortique	IIa C
Une EE n'est pas recommandée en cas de sténose aortique sévère symptomatique [19]	III B

PA: pression artérielle; EEVO₂: épreuve d'effort cardiorespiratoire; EE: épreuve d'effort.

Dans les autres valvulopathies (sténose mitrale, régurgitation mitrale, régurgitation aortique), une EE est indiquée lorsque le tableau clinique est discordant par rapport aux données échocardiographiques.

EE dans l'insuffisance cardiaque chronique

L'EE (et plus particulièrement l'EEVO₂) a un rôle primordial dans l'évaluation et le suivi des patients atteints d'insuffisance cardiaque chronique (ICC).

L'EEVO₂ donne une évaluation objective de la capacité d'exercice maximale - le facteur pronostique principal pour les patients en ICC. Le pic VO₂ est un critère majeur de décision d'une transplantation cardiaque [22-24]. Une valeur de VO₂ <11-12 mL / min / kg chez un patient sous bêta-bloquants (ou <14 mL / min / kg sans bêta-bloquants) est une indication pour la transplantation.

Les principales variables à prendre en compte dans l'ICC sont la diminution de la VO₂, une augmentation de la pente VE / VCO₂ (> 45), une faible élévation de la pression artérielle [25] et l'observation des oscillations respiratoires [26] qui sont des marqueurs de mauvais pronostic [24].

D'autres variables permettent d'affiner le pronostic chez les patients en ICC. La pente d'efficacité de prélèvement d'oxygène (relation VO₂ / Log VE) ou OUES (Oxygen Uptake Efficiency Slope) ainsi que la puissance circulatoire (pic VO₂ x PA systolique maximale) diminuent avec la sévérité de l'ICC [25,26]. La puissance ventilatoire (PA systolique maximale / pente VE / VCO₂) permet une évaluation plus précise des fonctions ventriculaires et pulmonaires droites [26] (tableau 8).

Tableau 8 Indications de l'épreuve d'effort dans l'insuffisance cardiaque chronique

Une EEVO ₂ (ou, si indisponible, une EE) est recommandée pour optimiser les programmes d'entraînement à l'effort [9, 23]	I A
Une EEVO ₂ (ou, si indisponible, une EE) est recommandée pour évaluer la capacité fonctionnelle, et préciser l'indication d'une assistance ventriculaire ou d'une transplantation cardiaque [22, 26]	I C
Une EEVO ₂ (ou, si indisponible, une EE) doit être envisagée pour évaluer une dyspnée inexpliquée ou une ischémie myocardique chez un patient insuffisant cardiaque	IIa C

EEVO₂: épreuve d'effort cardiorespiratoire; EE: épreuve d'effort.

EE et autres cardiopathies

Cardiomyopathie hypertrophique

Une EEVO₂ (ou, si indisponible, une EE) est indiquée dans l'évaluation pronostique de la cardiomyopathie hypertrophique, et est une aide utile dans la décision thérapeutique (ablation septale d'alcool, myomectomie septale ou transplantation) [27]. Les critères principaux sont une altération de la VO₂, une pente VE / VCO₂ augmentée [27], une réponse systolique anormale (diminution ou plateau à pic d'effort) [28] ou la présence d'une arythmie ventriculaire complexe (en particulier chez les patients de moins de 30 ans) (tableau 9) [29].

Hypertension pulmonaire

Chez les patients atteints d'hypertension pulmonaire primaire ou secondaire, Une EEVO₂ est préférable à une EE. Il faut noter que l'hypertension pulmonaire n'est plus considérée comme une contre-indication à l'EE ou EEVO₂ [2, 30].

Une EEVO₂, qui apporte des informations diagnostiques et pronostiques supplémentaires au test de marche de 6 minutes, est recommandée lors du diagnostic, pendant le suivi à intervalles de 6 mois à 12 mois ou en cas d'une aggravation des symptômes [30] (Tableau 9).

Le pic VO₂ et la pente VE / VCO₂ sont deux facteurs principaux de stratification du risque du patient : un pic VO₂ > 15 mL / min / kg (ou > 65% de la VO₂ théorique) et une pente VE / VCO₂ < 36 sont en faveur d'une mortalité faible à 1 an, alors qu'un pic VO₂ < 11 mL / kg / min (ou < 35% de la théorique) et une pente VE / VCO₂ ≥ 45 sont liés à un risque élevé de complications [30].

Maladie artérielle périphérique

La diminution de la pression à la cheville après l'exercice peut être un équivalent à la claudication, même si l'index de pression systolique (IPS) au repos est > 0,90. Une diminution de la pression de la cheville de plus de 30 mm Hg (ou une diminution de l'IPS de plus de 20%) au-delà d'une minute de récupération est en faveur d'une maladie artérielle périphérique (MAP) [31].

Une EE avec un ergomètre à bras peut être une alternative à la bicyclette ou au tapis roulant pour détecter une ischémie myocardique silencieuse chez les patients avec MAP [32].

Une EE peut également évaluer l'impact de l'entraînement physique chez un patient atteint de MAP. Une amélioration de la capacité fonctionnelle est un marqueur de bon pronostic [33] (Tableau 9).

Hypertension artérielle

L'interprétation d'une EE chez les patients hypertendus avec un électrocardiogramme au repos normal est similaire à celle de la population non hypertendue. Cependant, une PA systolique élevée pendant l'exercice augmente le risque de faux positifs [34]. Un sous-décalage significatif du segment ST peut être associé à une hypertrophie ventriculaire gauche, même en l'absence de maladie coronarienne significative [35], d'où l'importance d'effectuer une analyse multivariée dans cette population (voir partie 1).

Diabète

Le risque cardiovasculaire d'un patient augmente en fonction de l'ancienneté du diabète, de l'âge du patient et des autres facteurs de risque associés. L'évaluation de l'ischémie myocardique à l'effort est importante étant donné la prévalence élevée de l'ischémie silencieuse de l'ordre de 30 à 35% chez les patients diabétiques (tableau 9) [36, 37].

L'incompétence chronotrope est également plus fréquente chez les patients diabétiques (33%) et bien corrélée au risque d'événements cardiaques majeurs indésirables [38].

Bien que l'EE chez les patients diabétiques ait une valeur diagnostique et pronostique similaire pour la coronaropathie que chez les patients non diabétiques, les symptômes sont moins typiques [39, 40].

Il est nécessaire que des mesures soient prises pour prévenir l'hypoglycémie pendant l'EE.

Tableau 9 indications de l'épreuve d'effort dans d'autres maladies cardiovasculaires

Cardiomyopathie hypertrophique	Une EEVO ₂ (ou, si indisponible, une EE) doit être envisagée pour évaluer la capacité fonctionnelle et les marqueurs pronostiques, tels que l'arythmie ventriculaire et la réponse tensionnelle à l'effort [27-29]	IIa B
	Une EE doit être envisagée tous les 1-2 ans pour suivre la réponse tensionnelle et évaluer l'efficacité du traitement	IIa C
Hypertension pulmonaire	Chez les patients atteints d'hypertension pulmonaire, une EEVO ₂ est recommandée lors du diagnostic et à intervalles de 6 à 12 mois dans le suivi; Une EEVO ₂ doit également être envisagée en cas d'accentuation des symptômes; le pic VO ₂ et la pente VE/VCO ₂ permettent une meilleure stratification du risque du patient [30]	I C
Maladie artérielle périphérique	Une EE sur tapis roulant est indiquée pour objectiver la claudication, quantifier l'ischémie symptomatique et évaluer la capacité fonctionnelle (marqueur pronostique principal) [31, 32]	I B
	Une EE est indiquée pour prescrire et guider efficacement un programme d'entraînement physique, adapté au patient [33]	I B
Hypertension artérielle	Une EE est indiquée chez les patients hypertendus symptomatiques, ayant un ECG de repos normal, pour diagnostiquer une maladie coronarienne [34]	I B
	Une EE doit être envisagée chez tous les patients hypertendus pour mieux en préciser le pronostic (capacité fonctionnelle, réponse tensionnelle) ou pour prescrire un programme d'entraînement physique adapté (à des fins récréatives ou professionnelles)	IIa C
Diabète	Une EE est indiquée pour le diagnostic d'une coronaropathie chez les patients diabétiques symptomatiques dont l'ECG de repos est normal et interprétable [39]	I B
	Une EE doit être envisagée chez les patients diabétiques sédentaires à la recherche de symptômes déclenchés par un exercice modéré ou intense et/ou pour prescrire un programme d'activité physique adaptée [40].	IIa B

EEVO₂: épreuve d'effort cardiorespiratoire; EE: épreuve d'effort; VE: volume de gaz expiré; VO₂: consommation d'oxygène; VCO₂: volume expiré de dioxyde de carbone ; MAP: maladie artérielle périphérique; ECG : électrocardiogramme.

EE et Populations spécifiques

Avant une chirurgie non-cardiaque

Des examens complémentaires sont actuellement indiqués chez les patients présentant un risque préopératoire élevé [41]. Le niveau de risque préopératoire dépend des comorbidités du patient et du type d'intervention chirurgicale pratiquée (la chirurgie vasculaire, comme la

chirurgie de l'aorte ou artérielle périphérique, représentent un risque cardiaque > 5%). Une valeur basse du seuil ventilatoire (<11 mL / min / kg) et du pic de VO₂ <16 mL / min / kg sont en faveur d'un risque péri-opératoire élevé (tableau 10) [42, 43].

La femme

La femme présente plus souvent des symptômes atypiques. De plus, la prise d'œstrogènes peut modifier l'interprétation de l'électrocardiogramme au repos. Le risque de mortalité est doublé chez les femmes présentant des symptômes atypiques et une capacité fonctionnelle inférieure à 85% de la valeur prédite [7, 44].

Une EE normale chez une femme a une forte valeur prédictive négative. Une épreuve de stress d'imagerie en première intention n'offre pas de bénéfice significatif. L'utilisation d'un score est à privilégier (tableau 10) (voir partie 1) [7, 45].

Le patient âgé

Une EE chez un patient âgé nécessite un protocole d'exercice adapté (avec des incréments courts). La valeur diagnostique de l'EE est augmentée dans cette population, avec une bonne sensibilité. Les arythmies sont plus fréquentes et la capacité fonctionnelle est la principale variable prédictive de la survie [16].

Le sportif

Une EE est utile pour dépister une maladie cardiovasculaire chez les athlètes présentant des symptômes ou un examen clinique anormal, ou lors d'une baisse inexplicée de la performance physique. Il est nécessaire d'adapter le protocole pour atteindre la capacité fonctionnelle maximale. Les anomalies observées sur un ECG au repos (comme les troubles de conduction et de repolarisation) qui disparaissent à l'effort sont généralement considérées comme bénignes. Par contre, la normalisation des ondes T inversées au repos pendant une EE n'a pas de valeur de bénignité. Les athlètes entraînés présentent plus souvent de faux positifs que les sujets non entraînés [46, 47]. Une EEVO₂ est également indiquée pour évaluer une dyspnée anormale (Tableau 10).

Le sujet asymptomatique

En raison de la faible prévalence des maladies cardiovasculaires chez les sujets asymptomatiques, la valeur prédictive de l'EE est plus faible dans cette population. Pour les sujets présentant des facteurs de risque les exposant à un risque cardiovasculaire élevé, une EE anormale (faible capacité fonctionnelle ou anomalies de l'ECG) permet de définir un sous-groupe de patients à risque accru de coronaropathie (Tableau 10) [16, 40, 47]

Table 10 indications de l'épreuve d'effort dans des populations spécifiques

Avant une chirurgie non cardiaque	Une EEVO ₂ (ou, si indisponible, une EE) doit être envisagée dans la période pré-opératoire d'une chirurgie vasculaire pour améliorer la prise en charge péri-opératoire, particulièrement chez les patients à faible capacité fonctionnelle (< 4 METs) et/ou à haut risque cardiovasculaire [41, 42]	IIa B
	Une EE n'est pas recommandée chez les patients asymptomatiques ayant un risque cardiovasculaire faible ou modéré, avant une chirurgie non vasculaire.	III C
La femme	Une EE est indiquée en première intention chez la femme âgée de plus de 50 ans ayant un angor, dont l'ECG de repos est normal [7]	I B
	Une EE n'est pas recommandée chez la femme non ménopausée à faible risque cardiovasculaire pour le diagnostic d'une coronaropathie [45]	III C
Le sportif	Une EE est indiquée chez les athlètes symptomatiques qui prévoient poursuivre une activité physique intense (> 6 METs ou compétition sportive) [6, 46]	I B
	Une EE doit être envisagée chez les athlètes asymptomatiques ayant un risque cardiovasculaire élevé ou très élevé, qui prévoient de poursuivre une activité physique vigoureuse (> 6 METs ou sports de compétition) [46]	IIa C
	Une EE n'est pas recommandée chez les athlètes asymptomatiques ayant un faible risque cardiovasculaire (SCORE < 1%)	III C
Le sujet asymptomatique	Une EE peut être envisagée chez des sujets asymptomatiques ayant un risque cardiovasculaire modéré et exerçant une profession à risque (par ex : pompiers, militaires, policiers, pilotes, etc.) ou souhaitant débiter une activité physique intense (> 6 METs) [47]	IIb C

EEVO₂: épreuve d'effort cardiorespiratoire; EE: épreuve d'effort; ECG : électrocardiogramme; MET: metabolic equivalent of the task.

EE chez les enfants et adultes atteints de cardiopathie congénitale

Le matériel et le protocole d'exercice utilisés pour l'EE doivent être adaptés à la morphologie et à la capacité fonctionnelle de l'enfant [48]. Seuls les enfants mesurant plus de 1,20 m peuvent utiliser un cyclo-ergomètre, de préférence avec un protocole de rampe [24, 48]. Sur un tapis roulant, le protocole de Bruce est le plus couramment utilisé [24, 48].

Les mesures de sécurité sont obligatoires et sont similaires à celles recommandées pour les patients adultes (voir partie 1). Bien que les complications soient rares, il est nécessaire de respecter les contre-indications et les critères d'arrêt de l'effort (voir partie 1) [48].

Une EE est indiquée chez les enfants pour évaluer les signes fonctionnels liés à l'exercice (dyspnée, syncope, douleur thoracique). Dans les cardiopathies congénitales, une EE (ou de préférence une EEVO₂) est indiquée pour évaluer la capacité fonctionnelle, l'aptitude au

sport, pour un bilan préopératoire et le suivi post-opératoire (dépistage des arythmies ou troubles de la conduction, évaluation d'une réimplantation des coronaires, d'un gradient obstructif résiduel, d'une cyanose, d'un shunt résiduel, etc.) (Tableau 11) [49-52].

Tableau 11 indications de l'épreuve d'effort chez l'enfant et l'adulte avec une cardiopathie congénitale

Une EE doit être envisagée chez l'enfant [48,52]: pour évaluer les symptômes déclenchés ou aggravés par l'exercice; évaluer la réponse à l'exercice lorsqu'une pathologie cardiaque existe (congénitale ou acquise), y compris ischémique ou rythmique; ou pour évaluer l'efficacité de traitements médicaux ou chirurgicaux	Ia C
Une EEVO ₂ doit être envisagée chez l'enfant ou l'adulte atteint d'une cardiopathie congénitale [48-52]: pour évaluer le pronostic; évaluer la capacité fonctionnelle du patient et prescrire un programme d'activité physique adapté; avant un programme de réadaptation cardiaque	Ia C

EEVO₂: épreuve d'effort cardiorespiratoire; EE: épreuve d'effort.

En outre, une EEVO₂ est utile pour guider la réadaptation cardiaque pour les adultes et les enfants ayant une cardiopathie congénitale. Le pic VO₂ est un élément du pronostic et de la qualité de vie de ces patients [53].

Une EE est également indiquée en présence d'un angor (même si les plaques athéromateuses sont exceptionnelles chez les enfants) pour analyser une anomalie de naissance des coronaires, ou en cas d'une maladie de Kawasaki [48].

Les différentes variables de l'EEVO₂ utilisées dans l'évaluation d'une cardiopathie congénitale chez l'enfant et l'adulte sont résumées dans le tableau 12.

Tableau 12 Interprétation des variables de l'épreuve d'effort cardiorespiratoire dans différentes cardiopathies congénitales

	Tests pulmonaires	PA	FC, %FMT, FCR	Segment ST	SaO ₂	Pic VO ₂ (% théor)	Pente VE/VCO ₂
Cardiopathie congénitale corrigée	Syndrome restrictif						
Shunt gauche-droit						Diminué (shunt)	
Obstacle à l'éjection du VG		Coarctation					
Tétralogie de Fallot						Diminué RVP	Augmentée; RVP
VD systémique			Incompétence chronotrope			Diminué	Augmentée
TGV, switch artériel				Ischémie			
Anomalies coronaires				Ischémie			
Shunt droit-gauche					Diminuée	Diminué	Augmentée
Anastomose cavopulmonaire			Incompétence chronotrope			Diminué	Augmentée
Syndrome d'Eisenmenger					Diminuée	Diminué	Augmentée

PA: pression artérielle; FC: fréquence cardiaque; FCR: fréquence cardiaque de réserve; VG : ventricule gauche; FMT: fréquence maximale théorique; RVP: revalvulation pulmonaire; VD: ventricule droit; SaO₂: saturation d'oxygène; TGV: transposition des gros vaisseaux; VE: volume de gaz expiré; VO₂: consommation d'oxygène; VCO₂: volume expiré de dioxyde de carbone.

Conclusions

Ces nouvelles recommandations mettent en évidence deux facteurs importants. L'interprétation de l'ET doit être basée sur une analyse multivariée pour évaluer le risque de coronaropathie. Les indications d'une EE ont été élargies pour inclure la plupart des pathologies cardiaques, dans le but d'évaluer le pronostic, en particulier grâce à l'EEVO₂.

Remerciements

Les auteurs remercient les relecteurs :

Richard Brion, Jean-Louis Bussière, Jean-Michel Chevalier, Stéphane Doutreleau, Sophie Durand, Pascal Guillo, Jean-Michel Guy, Sophie Kubas, Catherine Monp re, Bernard Pierre et Jean-Yves Tabet, au nom du groupe exercice r adapation et sport (GERS) de la Société française de cardiologie (SFC);

Emmanuel Messas, au nom du groupe de travail aorte-vaisseaux périphériques de la SFC;

Philippe Commeau, au nom du groupe athérome et cardiologie interventionnelle (GACI) de la SFC;

Thibaud Damy, au nom du groupe insuffisance cardiaque et cardiomyopathies de la SFC;

Nicolas Sadoul, au nom du groupe rythmologie et stimulation cardiaque de la SFC;

Thierry Denolle, au nom de la Société Française d'Hypertension Artérielle (SFHTA).

Sources de financement

Aucun.

Déclaration de liens d'intérêt

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts concernant cet article.

Références

- [1] [Guidelines of the French Society of Cardiology for exercise testing of adults in cardiology]. Arch Mal Coeur Vaiss 1997;90:77-91.
- [2] Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation 2013;128:873-934.
- [3] Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S, et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology. Eur Heart J 2013;34:2949-3003.
- [4] Wolk MJ, Bailey SR, Doherty JU, et al. ACCF/AHA/ASE/ASNC/HFSA/HRS/SCAI/SCCT/SCMR/STS 2013 multimodality appropriate use criteria for the detection and risk assessment of stable ischemic heart disease: a report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, American Heart Association, American Society of Echocardiography, American Society of Nuclear Cardiology, Heart Failure Society of America, Heart Rhythm Society, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and Society of Thoracic Surgeons. J Am Coll Cardiol 2014;63:380-406.
- [5] Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S, et al. 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of

- Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts). Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J* 2016;37:2315-81.
- [6] Fihn SD, Blankenship JC, Alexander KP, et al. 2014 ACC/AHA/AATS/PCNA/SCAI/STS focused update of the guideline for the diagnosis and management of patients with stable ischemic heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, and the American Association for Thoracic Surgery, Preventive Cardiovascular Nurses Association, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2015;149:e5-23.
- [7] Shaw LJ, Mieres JH, Hendel RH, et al. Comparative effectiveness of exercise electrocardiography with or without myocardial perfusion single photon emission computed tomography in women with suspected coronary artery disease: results from the What Is the Optimal Method for Ischemia Evaluation in Women (WOMEN) trial. *Circulation* 2011;124:1239-49.
- [8] Amsterdam EA, Kirk JD, Diercks DB, Lewis WR, Turnipseed SD. Immediate exercise testing to evaluate low-risk patients presenting to the emergency department with chest pain. *J Am Coll Cardiol* 2002;40:251-6.
- [9] Pavy B, Iliou MC, Verges-Patois B, et al. French Society of Cardiology guidelines for cardiac rehabilitation in adults. *Arch Cardiovasc Dis* 2012;105:309-28.
- [10] Iliou MC, Pavy B, Martinez J, et al. Exercise training is safe after coronary stenting: a prospective multicentre study. *Eur J Prev Cardiol* 2015;22:27-34.
- [11] Pavy B, Iliou MC, Meurin P, et al. Safety of exercise training for cardiac patients: results of the French registry of complications during cardiac rehabilitation. *Arch Intern Med* 2006;166:2329-34.
- [12] Roffi M, Wenaweser P, Windecker S, et al. Early exercise after coronary stenting is safe. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:1569-73.
- [13] Izzo P, Macchi A, De Gennaro L, Gaglione A, Di Biase M, Brunetti ND. Recurrent angina after coronary angioplasty: mechanisms, diagnostic and therapeutic options. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 2012;1:158-69.
- [14] Priori SG, Blomstrom-Lundqvist C, Mazzanti A, et al. 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). *Eur Heart J* 2015;36:2793-867.
- [15] Voss F, Schueler M, Lauterbach M, Bauer A, Katus HA, Becker R. Safety of symptom-limited exercise testing in a big cohort of a modern ICD population. *Clin Res Cardiol* 2016;105:53-8.
- [16] Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, et al. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *Circulation* 2002;106:1883-92.
- [17] Gonzalez Corcia MC, Remy LS, Marchandise S, Moniotte S. Exercise performance in young patients with complete atrioventricular block: the relevance of synchronous atrioventricular pacing. *Cardiol Young* 2016;26:1066-71.
- [18] Ergul Y, Ozturk E, Ozyilmaz I, et al. Utility of Exercise Testing and Adenosine Response for Risk Assessment in Children with Wolff-Parkinson-White Syndrome. *Congenit Heart Dis* 2015;10:542-51.
- [19] Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 2017;38:2739-91.
- [20] Domanski O, Richardson M, Coisne A, et al. Cardiopulmonary exercise testing is a better outcome predictor than exercise echocardiography in asymptomatic aortic stenosis. *Int J Cardiol* 2017;227:908-14.
- [21] Levy F, Fayad N, Jeu A, et al. The value of cardiopulmonary exercise testing in individuals with apparently asymptomatic severe aortic stenosis: a pilot study. *Arch Cardiovasc Dis* 2014;107:519-28.
- [22] Guazzi M, Adams V, Conraads V, et al. EACPR/AHA Joint Scientific Statement. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Eur Heart J* 2012;33:2917-27.

- [23] Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, 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 J Heart Fail* 2016;18:891-975.
- [24] Wasserman K, Hansen J, Sietsema K, et al. *Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications*. 4th ed. Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins; 2005.
- [25] Cohen-Solal A, Tabet JY, Logeart D, Bourgoin P, Tokmakova M, Dahan M. A non-invasively determined surrogate of cardiac power ('circulatory power') at peak exercise is a powerful prognostic factor in chronic heart failure. *Eur Heart J* 2002;23:806-14.
- [26] Myers J, Arena R, Cahalin LP, Labate V, Guazzi M. Cardiopulmonary Exercise Testing in Heart Failure. *Curr Probl Cardiol* 2015;40:322-72.
- [27] Elliott PM, Anastasakis A, Borger MA, et al. 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;35:2733-79.
- [28] Olivetto I, Maron BJ, Monteregeggi A, Mazzuoli F, Dolara A, Cecchi F. Prognostic value of systemic blood pressure response during exercise in a community-based patient population with hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:2044-51.
- [29] Monserrat L, Elliott PM, Gimeno JR, Sharma S, Penas-Lado M, McKenna WJ. Non-sustained ventricular tachycardia in hypertrophic cardiomyopathy: an independent marker of sudden death risk in young patients. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:873-9.
- [30] Galie N, Humbert M, Vachiery JL, et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur Heart J* 2016;37:67-119.
- [31] Aboyans V, Criqui MH, Abraham P, et al. Measurement and interpretation of the ankle-brachial index: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2012;126:2890-909.
- [32] Garber CE, Monteiro R, Patterson RB, Braun CM, Lamont LS. A comparison of treadmill and arm-leg ergometry exercise testing for assessing exercise capacity in patients with peripheral arterial disease. *J Cardiopulm Rehabil* 2006;26:297-303.
- [33] Murphy TP, Cutlip DE, Regensteiner JG, et al. Supervised exercise, stent revascularization, or medical therapy for claudication due to aortoiliac peripheral artery disease: the CLEVER study. *J Am Coll Cardiol* 2015;65:999-1009.
- [34] Miller TD, Christian TF, Allison TG, Squires RW, Hodge DO, Gibbons RJ. Is rest or exercise hypertension a cause of a false-positive exercise test? *Chest* 2000;117:226-32.
- [35] Marwick TH, Torelli J, Harjai K, et al. Influence of left ventricular hypertrophy on detection of coronary artery disease using exercise echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1995;26:1180-6.
- [36] Cosson E, Paycha F, Paries J, et al. Detecting silent coronary stenoses and stratifying cardiac risk in patients with diabetes: ECG stress test or exercise myocardial scintigraphy? *Diabet Med* 2004;21:342-8.
- [37] Ryden L, Grant PJ, Anker SD, et al. ESC Guidelines on diabetes, pre-diabetes, and cardiovascular diseases developed in collaboration with the EASD: the Task Force on diabetes, pre-diabetes, and cardiovascular diseases of the European Society of Cardiology (ESC) and developed in collaboration with the European Association for the Study of Diabetes (EASD). *Eur Heart J* 2013;34:3035-87.
- [38] Zafir B, Azencot M, Dobrecky-Mery I, Lewis BS, Flugelman MY, Halon DA. Resting heart rate and measures of effort-related cardiac autonomic dysfunction predict cardiovascular events in asymptomatic type 2 diabetes. *Eur J Prev Cardiol* 2016;23:1298-306.
- [39] Lee DP, Fearon WF, Froelicher VF. Clinical utility of the exercise ECG in patients with diabetes and chest pain. *Chest* 2001;119:1576-81.
- [40] Ross R, Blair SN, Arena R, et al. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 2016;134:e653-e99.

- [41] Societe Francaise d'Anesthesie et de Reanimation, Societe Francaise de Cardiologie. [Perioperative assessment of cardiac risk patient in non-cardiac surgery]. *Ann Fr Anesth Reanim* 2011;30:e5-29.
- [42] Goodyear SJ, Yow H, Saedon M, et al. Risk stratification by pre-operative cardiopulmonary exercise testing improves outcomes following elective abdominal aortic aneurysm surgery: a cohort study. *Perioper Med (Lond)* 2013;2:10.
- [43] 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;133:e694-711.
- [44] Gulati M, Black HR, Shaw LJ, et al. The prognostic value of a nomogram for exercise capacity in women. *N Engl J Med* 2005;353:468-75.
- [45] Mieres JH, Shaw LJ, Arai A, et al. Role of noninvasive testing in the clinical evaluation of women with suspected coronary artery disease: Consensus statement from the Cardiac Imaging Committee, Council on Clinical Cardiology, and the Cardiovascular Imaging and Intervention Committee, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, American Heart Association. *Circulation* 2005;111:682-96.
- [46] Borjesson M, Urhausen A, Kouidi E, et al. Cardiovascular evaluation of middle-aged/ senior individuals engaged in leisure-time sport activities: position stand from the sections of exercise physiology and sports cardiology of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2011;18:446-58.
- [47] Lauer M, Froelicher ES, Williams M, Kligfield P. Exercise testing in asymptomatic adults: a statement for professionals from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology, Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention. *Circulation* 2005;112:771-6.
- [48] Paridon SM, Alpert BS, Boas SR, et al. Clinical stress testing in the pediatric age group: a statement from the American Heart Association Council on Cardiovascular Disease in the Young, Committee on Atherosclerosis, Hypertension, and Obesity in Youth. *Circulation* 2006;113:1905-20.
- [49] Kempny A, Dimopoulos K, Uebing A, et al. Reference values for exercise limitations among adults with congenital heart disease. Relation to activities of daily life--single centre experience and review of published data. *Eur Heart J* 2012;33:1386-96.
- [50] Khan AM, Paridon SM, Kim YY. Cardiopulmonary exercise testing in adults with congenital heart disease. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 2014;12:863-72.
- [51] Rhodes J, Ubeda Tikkanen A, Jenkins KJ. Exercise testing and training in children with congenital heart disease. *Circulation* 2010;122:1957-67.
- [52] Takken T, Blank AC, Hulzebos EH, van Brussel M, Groen WG, Helder PJ. Cardiopulmonary exercise testing in congenital heart disease: (contra)indications and interpretation. *Neth Heart J* 2009;17:385-92.
- [53] Amedro P, Picot MC, Moniotte S, et al. Correlation between cardio-pulmonary exercise test variables and health-related quality of life among children with congenital heart diseases. *Int J Cardiol* 2016;203:1052-60.