



Utilisation d'Apple Watch pour mesurer la forme cardiaque à l'aide du VO_2 max

Mai 2021

Table des matières

Aperçu	3
Introduction	3
Définition	3
Mesure et estimation	3
Utilité	3
Généétique	4
Interventions	4
Forme cardiaque sur l'Apple Watch	4
Description de l'indicateur	4
Mise au point	7
Méthodologie	7
Méthodes statistiques	7
Résultats	8
Analyse	10
Conclusions	12
Références	12

Aperçu

Avec watchOS 7, l'Apple Watch Series 3 et les modèles ultérieurs utilisent un nouvel algorithme pour estimer le niveau de forme cardiaque de l'utilisateur à partir du VO₂ max, c'est-à-dire le volume maximal d'oxygène qu'une personne peut extraire de l'air inhalé. Ce nouvel algorithme permet de mieux estimer les plages inférieures du VO₂ max tout en rendant cet indicateur plus accessible. En outre, avec watchOS 7.2, les utilisateurs peuvent utiliser l'app Santé sur leur iPhone pour comparer leur niveau de forme cardiaque avec celui de personnes du même sexe et du même groupe d'âge, et recevoir une notification s'il glisse sous la moyenne. Le présent document explique en détail la nature de ces fonctionnalités, y compris les tests et la validation.

Introduction

Définition

Le VO₂ max est le volume maximal d'oxygène qu'une personne peut extraire de l'air inhalé et utiliser pour le métabolisme cellulaire. Le VO₂ max est donc un bon indicateur de la capacité cardiorespiratoire, car il intègre plusieurs systèmes organiques et est modulé par plusieurs facteurs tout au long de la chaîne respiratoire, de l'inspiration à la consommation d'oxygène par les organes terminaux¹. Les valeurs de VO₂ sont habituellement normalisées en fonction de la masse corporelle et formulées en millilitres d'oxygène par kilogramme de masse corporelle en une minute (ml/kg/min). Elles déclinent avec l'âge et, sur le plan populationnel, varient selon le sexe².

Mesure et estimation

Le VO₂ max est mesuré à l'aide d'une épreuve d'effort cardiorespiratoire (EECR), qui consiste à pédaler sur un vélo d'exercice ou à courir sur un tapis roulant à des niveaux croissants d'intensité en portant un masque mesurant directement la quantité d'oxygène dans l'air inhalé et expiré³. Dans la plupart des cas, le volume d'oxygène que les sujets consomment durant l'épreuve atteint un plateau, même si l'intensité de l'effort augmente, et c'est ce plateau ou pic de VO₂ que l'on considère comme le VO₂ max. Une incertitude persiste toutefois quant à savoir si le vrai maximum a été atteint⁴.

En pratique, le VO₂ max, ou la capacité cardiorespiratoire, est le plus souvent mesuré au cours d'épreuves à un effort sous-maximal, puisque ces tests sont moins coûteux, moins longs que l'EECR maximal et moins épuisants pour le sujet. Par ailleurs, il existe de nombreuses données permettant de déduire le VO₂ max à partir d'un effort sous-maximal⁵.

Utilité

Depuis une trentaine d'années, la capacité cardiorespiratoire (CCR), mesurée à l'aide du VO₂ max ou l'équivalent métabolique (MET; 1 MET = ~3,5 ml/kg/min) qui s'en rapproche le plus, est couramment utilisée comme facteur prédictif de la mortalité toutes causes confondues, de la mortalité d'origine cardiovasculaire et des événements cardiovasculaires chez les hommes et les femmes^{6,7,8}. Selon certaines études, elle est même indépendante des autres facteurs de risque bien connus de mortalité toutes causes confondues et de mortalité d'origine cardiovasculaire, comme l'hypertension, l'obésité et l'hypercholestérolémie, ou offre une meilleure capacité prédictive^{9,10,11}.

En raison de cette utilité pronostique, les milieux scientifiques et médicaux recommandent de mesurer la CCR dans la pratique médicale normale en complément¹² ou même en remplacement des modèles traditionnels de mesure du risque, comme Framingham¹³. Cette utilité prédictive s'applique à la population générale, mais aussi à des cohortes particulières, comme les personnes présentant une insuffisance cardiaque¹⁴, et dans les décisions cliniques liées à certaines situations, notamment la prise en charge périopératoire^{15,16} et l'aiguillage vers la réadaptation cardiologique¹⁷. Compte tenu de son utilité démontrée à cet égard et dans d'autres contextes, l'American Heart Association (AHA) a recommandé en 2016 une évaluation plus répandue de la CCR en soulignant qu'elle peut représenter un signe vital⁵.

Génétique

Le VO₂ max et l'amélioration du VO₂ max attribuable à l'exercice physique sont étroitement corrélés avec le profil génétique d'une personne. On estime que les facteurs génétiques expliquent à eux seuls de 50 % à 70 % des différences observées entre les personnes sur le plan du VO₂ max^{18,19} et de 20 % à 60 % de la variation quant à l'amélioration du VO₂ max attribuable à l'exercice physique^{5,20}.

Interventions

L'amélioration et le maintien du VO₂ max au fil du temps sont étroitement associés à une baisse de la mortalité. Dans une étude menée auprès de 500 hommes suivis pendant 11 ans, Laukkanen et coll. ont observé que pour chaque augmentation du VO₂ max de 1 ml/kg/min, le risque de décès diminuait de 9 %²¹. Des études ont montré que l'entraînement par intervalles à haute intensité se traduisait par la meilleure augmentation du VO₂ max^{22,23,24}. Dans le cas de programmes d'une durée de 6 à 12 semaines, l'amélioration du VO₂ max était généralement d'environ 5 à 10 % (en ml/kg/min). Il est important de noter que la baisse du VO₂ max associée à la diminution de l'activité ou à la sédentarité entraîne une baisse similaire ou plus marquée (jusqu'à 27 %) sur une période bien plus courte (2 à 3 semaines)^{25,26}. Par ailleurs, une hausse du niveau d'activité physique sans amélioration du VO₂ max ne semble pas conférer le même avantage sur le plan de la survie que chez ceux dont le VO₂ max augmente²⁷.

Forme cardiaque sur l'Apple Watch

Ce document décrit les étapes de mise au point et de validation de l'indicateur de forme cardiaque, soit une estimation du VO₂ max à l'aide d'Apple Watch. Il est destiné aux chercheurs, aux professionnels de la santé et aux développeurs qui souhaitent utiliser cette estimation dans le cadre de leur travail, ainsi qu'aux clients qui souhaitent en savoir plus sur le VO₂ max et sur la façon dont il est mesuré et validé à l'aide d'Apple Watch. Des renseignements supplémentaires sur la façon de configurer et de consulter les estimations du VO₂ max sur l'Apple Watch se trouvent à l'adresse suivante : support.apple.com/fr-ca/HT211856.

Description de l'indicateur

La forme cardiaque sur l'Apple Watch est une estimation du VO₂ max de l'utilisateur en ml/kg/min reposant sur la hausse de la fréquence cardiaque pendant l'activité physique. La mise à jour de l'algorithme utilisé pour estimer le VO₂ max dans watchOS 7 permet une estimation des plages inférieures de forme cardiaque (14 à 60 ml/kg/min) pour les utilisateurs d'une Apple Watch Series 3 ou d'un modèle ultérieur. Un aperçu du VO₂ max dans l'app Santé sur iOS 14 est présenté à la figure 1 sous Forme cardiaque. Une valeur de VO₂ max peut être générée après une marche, une course ou une randonnée sur un terrain relativement plat (inclinaison inférieure à 5 %) si la qualité du signal GPS et de celui de la fréquence cardiaque est adéquate, ainsi qu'après un effort physique (augmentation de la fréquence cardiaque d'environ 30 % par rapport à la fréquence au repos). Aucune estimation ne sera générée après une première séance d'entraînement, et l'utilisateur doit porter son Apple Watch pendant une journée avant qu'une première estimation ne soit produite.

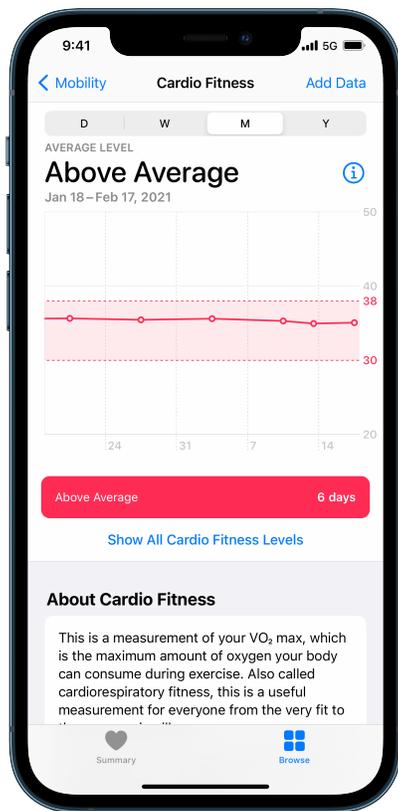


Figure 1 : Forme cardiaque dans l'app Santé sur iOS 14

Ces estimations du VO₂ max reposent sur une valeur prédictive sous-maximale du VO₂ max plutôt que sur le VO₂ de pointe. Par conséquent, les utilisateurs n'ont pas à atteindre leur fréquence cardiaque maximale pour recevoir une estimation, mais une valeur théorique de la fréquence cardiaque maximale est nécessaire. C'est pourquoi les utilisateurs qui prennent des médicaments pouvant diminuer leur fréquence cardiaque maximale peuvent l'indiquer à la section Profil santé de l'app Santé de façon à obtenir des estimations plus justes de leur VO₂ max (voir la figure 2).

Grâce à une fonctionnalité introduite avec iOS 14.3, les utilisateurs âgés d'au moins 20 ans ont l'option d'être avisés si leur forme cardiaque, mesurée à partir de la valeur estimée du VO₂ max, semble systématiquement trop basse selon toute vraisemblance, ce qui peut indiquer un risque de problèmes de santé à long terme ou des limites actuelles relatives aux activités quotidiennes. Pour les utilisateurs âgés de 20 à 59 ans, ce seuil correspond au plus faible quintile par décennie pour le sexe et l'âge, selon la Fitness Registry and Importance of Exercise National Database². Dans le cas de ceux âgés de 60 ans et plus, les seuils absolus de VO₂ max de 18 et 15 ml/kg/min sont respectivement utilisés pour les hommes et les femmes, puisqu'ils reposent sur des données semblant indiquer qu'ils confèrent une autonomie à un âge avancé chez les deux sexes²⁸. Les utilisateurs qui souhaitent recevoir des notifications de mauvaise forme cardiaque doivent s'inscrire en participant à une expérience d'intégration dans l'app Santé. Celle-ci décrit la fonctionnalité, recueille des données sur l'âge, le sexe et la prise de médicaments afin d'émettre une alerte plus précise, explique les facteurs qui peuvent miner la forme cardiaque et propose des renseignements facultatifs sur l'importance du VO₂ max et les causes potentielles de la notification (voir la figure 3).

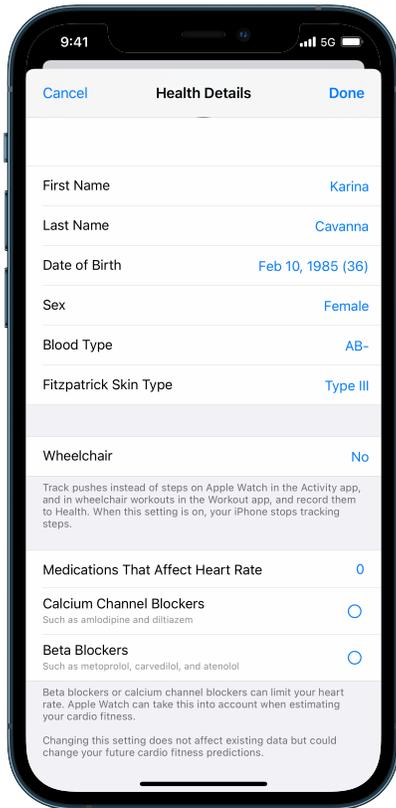


Figure 2 : Les médicaments affectant la fréquence cardiaque peuvent être ajoutés à la section Profil santé de l'app Santé sur iOS 14.

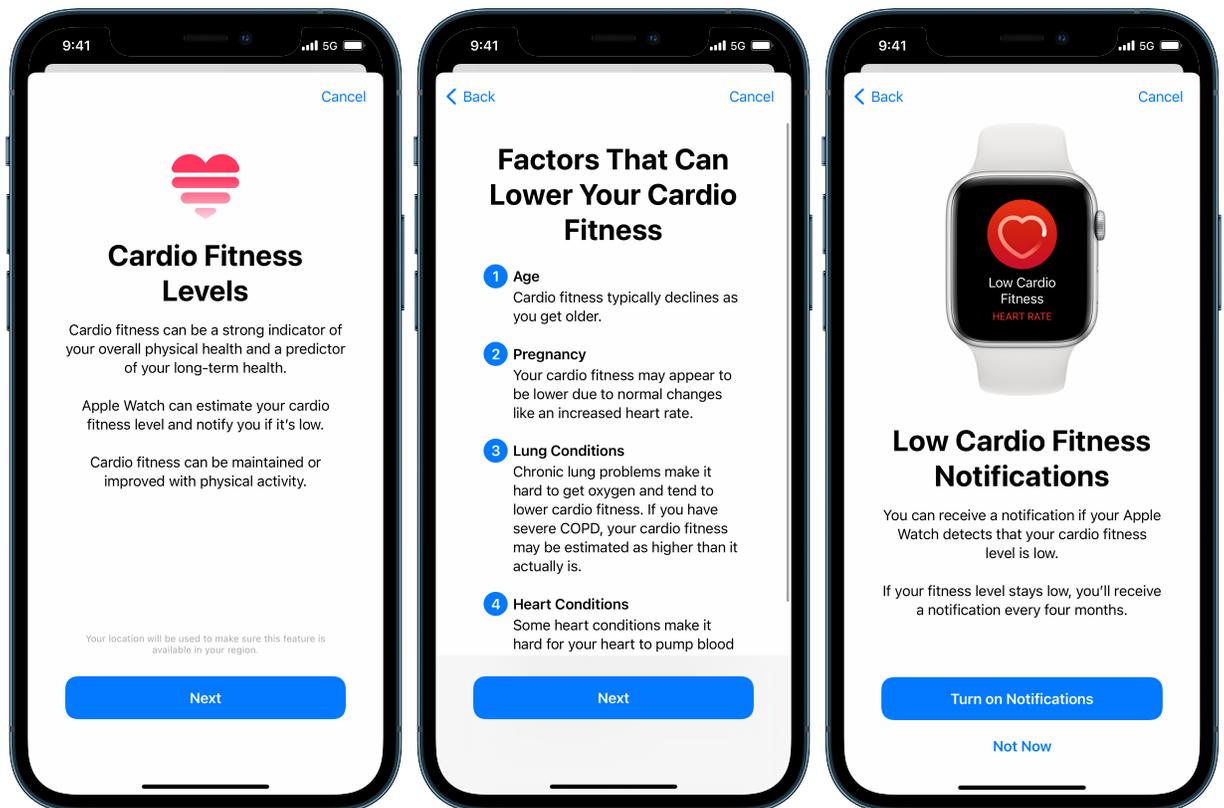


Figure 3 : Inscription aux notifications de mauvaise forme cardiaque dans l'app Santé sur iOS 14

Mise au point

Méthodologie

Pour la mise au point et la validation de l'indicateur « VO₂ max », Apple a recueilli des données provenant de plusieurs études approuvées par un comité d'éthique indépendant (CEI), et tous les participants ont consenti à la collecte et à l'utilisation de leurs données à ces fins.

Les participants aux études ont subi une épreuve d'effort cardiorespiratoire (EECR), c'est-à-dire un test de VO₂ max, un test de VO₂ sous-maximal ou les deux, tout en portant une Apple Watch Series 4. Divers protocoles ont été employés pour l'EECR, notamment un tapis roulant et un ergocycle. Au cours des études, les participants ont subi jusqu'à six EECR espacées d'au moins 10 jours pour qu'ils puissent bien récupérer après chaque épreuve et pour recueillir suffisamment de données avant et après chacune d'elle. Les données tirées des EECR ont servi à vérifier si le protocole avait bien été suivi et si les participants avaient atteint au moins 60 % de leur fréquence cardiaque maximale prévue. Les épreuves révélant une anomalie sur le plan de l'échange gazeux, un mauvais signal de fréquence cardiaque, une arythmie ou une déficience biomécanique, ou bien étant associées à une douleur n'ont pas été analysées davantage. Les épreuves qui ont passé les étapes de vérification ont été utilisées pour la mise au point de l'algorithme. Pour obtenir le VO₂ max de référence pour chaque participant, des projections linéaires ont été réalisées à partir de la fréquence cardiaque et du VO₂ dans la plage sous-maximale afin de déterminer le VO₂ max à partir de la fréquence cardiaque maximale prévue selon l'âge. Celle-ci était réduite pour les utilisateurs qui prenaient des médicaments limitant la fréquence cardiaque, comme des bêta-bloquants, selon les prévisions publiées²⁹.

En plus de porter une Apple Watch durant les EECR surveillées, les participants en portaient une et avaient avec eux un iPhone pendant leurs activités quotidiennes tout au long des études. Ces activités comprenaient des séances d'entraînement consignées par les participants. Les données des divers capteurs d'Apple Watch (photopléthysmographe, l'accéléromètre, gyroscope, baromètre et GPS) ont été colligées durant cette période et utilisées pour élaborer l'algorithme du VO₂ max.

Les données d'un sous-ensemble des participants à l'étude ont été isolées des données de mise au point de l'algorithme pour vérifier l'exactitude de l'algorithme et éviter tout surajustement. L'efficacité de l'algorithme a été calculée en comparant la dernière estimation valide du VO₂ max sur l'Apple Watch et la moyenne des projections sous-maximales de toutes les EECR choisies pour chaque participant, sauf indication contraire.

Méthodes statistiques

La validité de la mesure du VO₂ max sur l'Apple Watch a été calculée en utilisant la moyenne et l'écart type des erreurs entre la dernière estimation valide du VO₂ max moyen sur l'Apple Watch et la moyenne des projections du VO₂ max sous-maximal à toutes les EECR choisies pour chaque participant. La fidélité, exprimée par le coefficient de corrélation intraclasse (CCI), a été évaluée en calculant l'accord absolu par participant entre la dernière estimation valide du VO₂ max sur l'Apple Watch et un VO₂ max estimé sur l'Apple Watch au moins 28 jours plus tôt. La cohérence du VO₂ max sur l'Apple Watch s'exprime par la médiane et l'écart type correspondant au 90^e centile par participant pour toutes les estimations du VO₂ max sur l'Apple Watch à condition que les participants aient obtenu au moins cinq estimations. Enfin, la disponibilité du VO₂ max sur l'Apple Watch est calculée de deux façons : le pourcentage de toutes les marches à l'extérieur de plus de 5,75 minutes ayant généré une estimation du VO₂ max sur l'Apple Watch pour tous les participants, et le pourcentage de participants qui ont réalisé au moins 10 marches de plus de 5,75 minutes à l'extérieur et qui ont reçu au moins une estimation du VO₂ max sur l'Apple Watch après 10 séances.

Résultats

Les caractéristiques initiales des participants dont les données ont été utilisées pour la mise au point et la validation de l'indicateur sont résumées au tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des participants

	Mise au point (N = 534)	Validation (N = 221)
Sexe – nombre (%)		
Femmes	191 (36)	94 (43)
Hommes	343 (64)	127 (57)
Age – années* (moyenne ± ET)	53 ± 18	55 ± 17
Distribution de l'âge – nombre (%)		
<45 ans	207 (39)	74 (33)
45-54 ans	67 (13)	26 (12)
55-65 ans	57 (11)	36 (16)
>65 ans	203 (38)	85 (38)
VO₂ max de référence – ml/kg/min (moyenne ± ET)	31,7 ± 10,6	29,7 ± 10,5
Durée de l'observation – jours (moyenne ± ET)	441 ± 137	390 ± 138
Comorbidités – nombre (%)		
Arthrite	51 (10)	17 (8)
Diabète	38 (7)	23 (10)
Antécédents d'AVC	9 (2)	5 (2)
Coronaropathie	41 (8)	24 (11)
Antécédents d'infarctus du myocarde	34 (6)	16 (7)
MPOC	4 (1)	3 (1)
Insuffisance cardiaque	10 (2)	5 (2)
Hypertension	121 (22)	47 (21)
Tabagisme (cigarettes) – nombre (%)		
Fumeur actuel	5 (1)	1 (1)
Ancien fumeur	63 (12)	37 (17)
N'a jamais fumé	300 (56)	129 (58)
Statut de fumeur inconnu	166 (31)	54 (24)
Catégorie d'IMC – nombre (%)		
Poids insuffisant (IMC < 18,5)	1 (< 1)	2 (< 1)
Poids normal (18,5 ≤ IMC < 25,0)	215 (40)	99 (45)
Excès de poids (25,0 ≤ IMC < 30,0)	220 (41)	77 (35)
Obésité (IMC ≥ 30,0)	98 (18)	43 (19)
* Selon l'année de naissance.		

Les résultats de l'algorithme pour les ensembles de données de mise au point et de validation sont indiqués au tableau 2. Les valeurs de référence (moyenne du VO₂ max selon les EECR par utilisateur contre le VO₂ max final estimé sur l'Apple Watch) pour les deux groupes (mise au point et validation) sont indiquées à la figure 4. Les résultats de l'algorithme ont été évalués à partir des données recueillies pendant les séances d'entraînement. Pour un sous-groupe de participants (132 dans le groupe « mise au point » et 62 dans le groupe « validation »), le VO₂ max a aussi été estimé en dehors des périodes de marche à l'extérieur afin d'évaluer la capacité à estimer le VO₂ max lorsqu'un entraînement n'a pas été lancé sur l'Apple Watch. Pour ces utilisateurs, les estimations en dehors des périodes d'entraînement étaient plus élevées de 0,32 ml/kg/min en moyenne que les estimations en période d'entraînement dans le groupe « mise au point ». Aucune différence significative n'a été observée entre les deux types d'estimations dans le groupe « validation ».

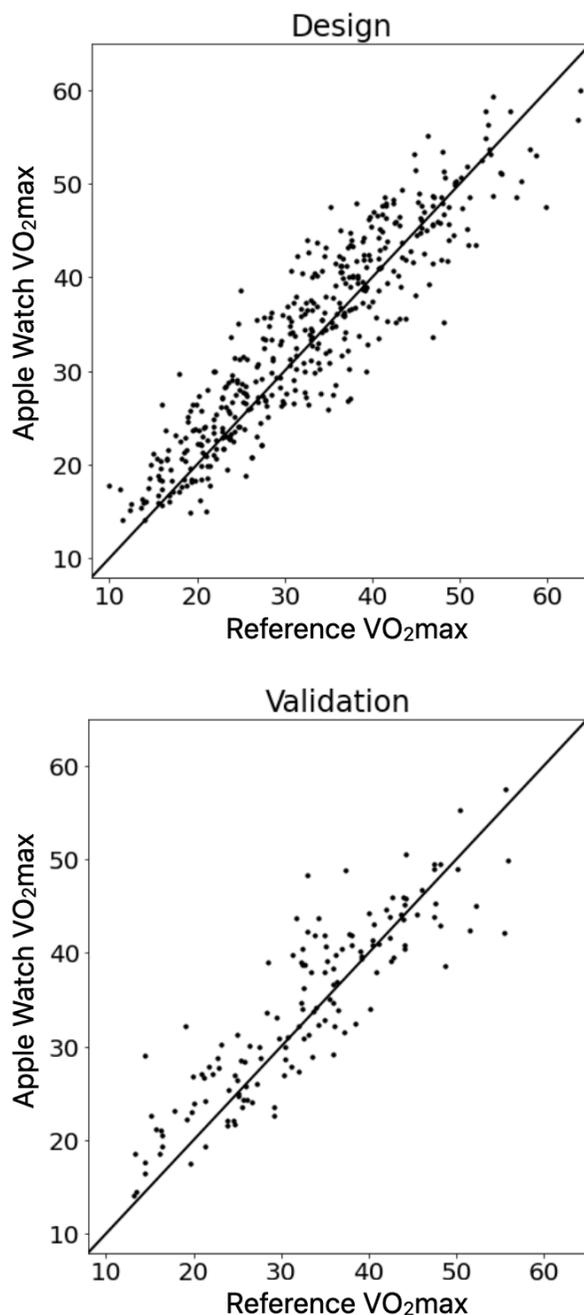


Figure 4 : Valeurs de référence par rapport aux estimations du VO₂ max (ml/kg/min) pour les participants des groupes « mise au point » et « validation »

Tableau 2. Résultats pour le VO₂ max

Indicateur	Description	Mise au point (N = 534)	Validation (N = 221)
Validité	Erreur (moyenne des VO ₂ max estimés – moyenne des valeurs de référence sous-maximales projetées) – ml/kg/min (moyenne ± ET)	1,2 ± 4,4	1,4 ± 4,7
Fidélité	Comparaison du CCI (A-1) de la dernière estimation du VO ₂ max à l'aide des données et des métadonnées de cette unique séance et de celui de l'estimation d'un VO ₂ max réalisée plus de 28 jours plus tôt en utilisant seulement les données et les métadonnées de cette séance – CCI [intervalle de confiance]	0,89 [0,86, 0,91]	0,86 [0,80, 0,90]
Cohérence	ET du pVO ₂ max par utilisateur – ml/kg/min (% du pVO ₂ max)		
	Médiane	1,2 (3,7 %)	1,2 (3,4 %)
	90 ^e centile	2,6 (7,6 %)	2,6 (7,2 %)
Disponibilité	Pourcentage des marches extérieures de plus de 5,75 minutes ayant généré une estimation	79 %	78 %
	Pourcentage des participants ayant réalisé au moins 10 marches extérieures de plus de 5,75 minutes et ayant reçu au moins une estimation dans les 10 premiers entraînements	93 %	93 %

Analyse

L'évaluation de la capacité cardiorespiratoire à l'aide du VO₂ max est de plus en plus utilisée pour la stratification des risques. Certains recommandent même qu'elle soit considérée comme un signe vital⁵. En pratique et malgré les avantages connus de cette approche, la mesure objective de la capacité cardiorespiratoire au moyen d'EECR est plutôt rare compte tenu du coût, du fardeau pour les participants et de l'acceptation limitée de cette mesure comme norme de soins dans diverses spécialités³⁰. Une estimation précise du VO₂ max au moyen d'accessoires connectés pourrait rendre cette mesure accessible à une large portion de la population et permettre une surveillance à distance des patients entre les visites à la clinique, p. ex. dans le cadre de programmes de réadaptation cardiologique. Ces estimations du VO₂ max pourraient aussi faciliter la stratification des risques et la réponse aux programmes de réduction des risques, comme l'évaluation périopératoire et la réponse à la réadaptation³¹.

L'algorithme amélioré pour l'estimation du VO₂ max sur l'Apple Watch est décrit ici. Il a été mis au point et validé au sein d'une population pour laquelle les valeurs de référence du VO₂ max couvraient une vaste gamme de niveaux de forme cardiaque, comme le montre la figure 4. Près de la moitié des participants à l'étude étaient âgés de plus de 55 ans, et environ 10 % d'entre eux présentaient une coronaropathie connue. La diversité raciale et ethnique de la population à l'étude n'était pas pleinement représentative de la population des États-Unis, mais les études internes et externes ont montré que la fréquence cardiaque, qui est une variable clé dans les estimations du VO₂ max avec l'Apple Watch, était toujours exacte pour de multiples couleurs de peau³².

L'application des estimations du VO₂ max aux plages inférieures dans watchOS 7 combinée aux estimations en dehors des séances d'entraînement améliorent la disponibilité de cet indicateur pour les personnes présentant une mauvaise forme cardiaque. Plus de 90 % des participants ayant réalisé au moins une marche, une course ou une randonnée à l'extérieur de plus de trois minutes en utilisant l'app Exercice ont reçu au moins une estimation du VO₂ max sur l'Apple Watch. L'augmentation du nombre de marches à l'extérieur améliorera la vraisemblance et la précision des estimations du VO₂ max sur l'Apple Watch.

Les estimations du VO₂ max sur l'Apple Watch sont précises et fiables en comparaison des méthodes utilisées couramment pour mesurer le VO₂ max. En moyenne, l'erreur est inférieure à 1 MET et le CCI est supérieur à 0,85. La précision des estimations du VO₂ max sur l'Apple Watch s'approche de celle des valeurs de référence. Les tests portant sur les protocoles des épreuves à un effort sous-maximal ont montré que l'erreur était pratiquement à moyenne zéro et que l'écart type était de 1 MET³³. Pour ce qui est de la fiabilité de test-retest, le VO₂ max sur l'Apple Watch a un CCI de 0,87 pour les données de validation comparativement à 0,75 pour l'épreuve sur tapis roulant à un effort sous-maximal³⁴.

Avec le nouvel algorithme, les estimations du VO₂ max pour les utilisateurs qui prennent des médicaments limitant leur fréquence cardiaque, comme des bêta-bloquants ou des inhibiteurs calciques, et qui consignent cette information dans l'app Santé sur un iPhone jumelé à leur Apple Watch devraient être plus justes comparativement à celles obtenues avec les versions précédentes d'iOS et de watchOS. Les différences sur le plan de la posologie, de la cardiosélectivité ou de l'activité sympathomimétique intrinsèque de certains bêta-bloquants n'ont pas été prises en compte, mais pourraient représenter des données utiles. Elles ont été omises pour faciliter l'utilisation. Grâce à cette approche, l'erreur estimée pour les utilisateurs de la cohorte de validation qui prennent des bêta-bloquants ou des inhibiteurs calciques est passée de $11,8 \pm 4,0$ ml/kg/min à $1,6 \pm 3,1$ ml/kg/min lorsque l'information de la section Profil santé reflétait bien la prise de leurs médicaments. Les utilisateurs qui prennent des médicaments limitant leur fréquence cardiaque et qui ne saisissent pas cette information recevront des estimations surévaluées, et ceux qui prennent de faibles doses de ces médicaments ou les utilisent au besoin sans une réduction systématique de leur fréquence cardiaque maximale (p. ex. propranolol contre l'anxiété de performance) recevront vraisemblablement des estimations plus justes même s'ils ne saisissent pas cette information. Compte tenu de l'utilisation répandue de ces médicaments³⁵, il est essentiel d'en tenir compte pour bien estimer le VO₂ max, en particulier pour les utilisateurs plus âgés.

Dans certaines cas, il peut arriver que les estimations du VO₂ max d'un utilisateur soient inexactes. Par exemple, les estimations du VO₂ max seront systématiquement inexactes si un utilisateur ne saisit pas bien son âge, son sexe ou son poids dans l'app Santé. Les changements physiologiques normaux associés à une grossesse peuvent aussi fausser les estimations. Par ailleurs, celles-ci peuvent être faibles si les données du capteur sont enregistrées lorsque l'utilisateur réalise un effort supplémentaire qui ne peut pas être bien détecté par l'Apple Watch. Cela peut notamment être le cas si l'utilisateur transporte un poids important, comme un sac à dos chargé ou un enfant, ou bien qu'il marche ou court sur un sol meuble qui accroît la résistance, comme du sable. De même, l'utilisation d'un appareil fonctionnel ou le fait de promener un enfant en poussette peut réduire la disponibilité ou l'exactitude des estimations du VO₂ max sur l'Apple Watch. Les facteurs qui augmentent la fréquence cardiaque, comme la déshydratation, la consommation de caféine, une chaleur extrême ou l'arrivée récente dans une zone dont l'altitude est élevée, peuvent aussi mener à des sous-estimations. L'exactitude des estimations du VO₂ max sur l'Apple Watch peut être accrue en allant souvent marcher à l'extérieur, en fournissant un effort plus important durant les entraînements et en portant l'Apple Watch en continu pendant la journée, pas seulement lors des séances d'entraînement.

Les utilisateurs qui présentent une incompétence chronotrope, définie comme l'impossibilité d'accélérer la fréquence cardiaque pour satisfaire les besoins métaboliques³⁶, peuvent avoir un résultat de VO₂ max surestimé. L'incompétence chronotrope est principalement associée à une insuffisance cardiaque, qui touche environ de 30 % à 80 % des patients qui en sont atteints (selon les critères de diagnostic)³⁷. Elle a aussi été liée à une proportion importante des patients atteints d'une maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC)³⁸, de lupus³⁹ et d'autres troubles auto-immuns⁴⁰.

Outre l'incompétence chronotrope, divers troubles médicaux peuvent fausser les estimations du VO₂ max sur l'Apple Watch. Il peut s'agir de troubles médicaux ou de la nécessité d'utiliser des appareils qui dissocient la fréquence cardiaque des mouvements ou de l'exercice (p. ex. douleur, arythmie, stimulateur cardiaque ou dispositif d'assistance); de troubles médicaux qui limitent grandement la tolérance à l'exercice, ce qui empêche les patients d'atteindre une fréquence cardiaque s'approchant de la fréquence maximale prévue (p. ex. maladie artérielle périphérique); ainsi que de troubles médicaux qui limitent grandement la capacité ambulatoire, comme des troubles squelettiques ou neuromusculaires causant des difficultés à marcher (p. ex. sclérose en plaques, paralysie cérébrale).

Conclusions

Avec watchOS 7 sur l'Apple Watch Series 3 et les modèles ultérieurs, les estimations du VO₂ max ont été élargies aux plages inférieures de forme cardiaque, et les utilisateurs ont maintenant l'option de recevoir une notification si leur niveau de forme cardiaque est faible pour leur âge ou leur sexe. Cette application élargie ainsi que la disponibilité accrue des estimations et la possibilité pour les personnes prenant des médicaments qui limitent la fréquence cardiaque d'obtenir des estimations plus justes qu'auparavant peuvent aider les chercheurs et les cliniciens à mieux mesurer cet indicateur pour le suivi de la forme cardiaque des patients plus âgés et de ceux atteints de comorbidités.

Références

- ¹ Stringer WW. Cardiopulmonary exercise testing: current applications. *Expert Review of Respiratory Medicine*. 2010; 4(2): 179–188. doi: 10.1586/ers.10.8.
- ² Kaminsky LA, Arena R, Myers J. Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured With Cardiopulmonary Exercise Testing: Data From the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database. *Mayo Clinic Proceedings*. 2015; 90(11): 1515–1523. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.07.026.
- ³ American Thoracic Society, American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2003; 167(2): 211–277. doi: 10.1164/rccm.167.2.211.
- ⁴ Balady GJ, Arena R, Sietsema K, et coll. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010; 122(2): 191–225. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181e52e69.
- ⁵ Ross R, Blair SN, Arena R, et coll. 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(24): e653–e699. doi: 10.1161/CIR.0000000000000461.
- ⁶ Blair SN, Kohl HW, Paffenbarger RS, et coll. Physical Fitness and All-Cause Mortality: A Prospective Study of Healthy Men and Women. *JAMA*. 1989; 262(17): 2395–2401. doi: 10.1001/jama.1989.03430170057028.
- ⁷ Mandsager K, Harb S, Cremer P, Phelan D, Nissen SE, Jaber W. Association of Cardiorespiratory Fitness With Long-term Mortality Among Adults Undergoing Exercise Treadmill Testing. *JAMA Network Open*. 2018; 1(6): e183605. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2018.3605.
- ⁸ Clausen JSR, Marott JL, Holtermann A, Gyntelberg F, Jensen MT. Midlife Cardiorespiratory Fitness and the Long-Term Risk of Mortality: 46 Years of Follow-Up. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018; 72(9): 987–995. doi: 10.1016/j.jacc.2018.06.045.
- ⁹ Mora S, Redberg RF, Cui Y, et coll. Ability of exercise testing to predict cardiovascular and all-cause death in asymptomatic women: a 20-year follow-up of the lipid research clinics prevalence study. *JAMA*. 2003; 290(12): 1600–1607. doi: 10.1001/jama.290.12.1600.

- ¹⁰ Laukkanen JA, Kurl S, Salonen R, Rauramaa R, Salonen JT. The predictive value of cardiorespiratory fitness for cardiovascular events in men with various risk profiles: a prospective population-based cohort study. *European Heart Journal*. 2004; 25(16): 1428–1437. doi: 10.1016/j.ehj.2004.06.013.
- ¹¹ Myers J, Nead KT, Chang P, Abella J, Kokkinos P, Leeper NJ. Improved reclassification of mortality risk by assessment of physical activity in patients referred for exercise testing. *The American Journal of Medicine*. 2015; 128(4): 396–402. doi: 10.1016/j.amjmed.2014.10.061.
- ¹² Kodama S, Saito K, Tanaka S, et coll. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA*. 2009; 301(19): 2024–2035. doi: 10.1001/jama.2009.681.
- ¹³ Nauman J, Nes BM, Lavie CJ, et coll. Prediction of Cardiovascular Mortality by Estimated Cardiorespiratory Fitness Independent of Traditional Risk Factors: The HUNT Study. *Mayo Clinic Proceedings*. 2017; 92(2): 218–227. doi: 10.1016/j.mayocp.2016.10.007.
- ¹⁴ Orimoloye OA, Kambhampati S, Hicks AJ, et coll. Higher cardiorespiratory fitness predicts long-term survival in patients with heart failure and preserved ejection fraction: the Henry Ford Exercise Testing (FIT) Project. *Archives of Medical Science*. 2019; 15(2): 350–358. doi: 10.5114/aoms.2019.83290.
- ¹⁵ Begum SSS, Papagiannopoulos K, Falcoz PE, Decaluwe H, Salati M, Brunelli A. Outcome after video-assisted thoracoscopic surgery and open pulmonary lobectomy in patients with low VO₂ max: a case-matched analysis from the ESTS database[†]. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2016; 49(4): 1054–1058. doi: 10.1093/ejcts/ezv378.
- ¹⁶ Bhagwat M, Paramesh K. Cardio-pulmonary exercise testing: An objective approach to pre-operative assessment to define level of perioperative care. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2010; 54(4): 286–291. doi: 10.4103/0019-5049.68369.
- ¹⁷ Holmes AA, Phillips LM. Cardiopulmonary exercise testing and SPECT myocardial perfusion imaging: Pre-test probability is the key. *Journal of Nuclear Cardiology*. 2019; 26(1): 107–108. doi: 10.1007/s12350-017-0996-7.
- ¹⁸ Schutte NM, Nederend I, Hudziak JJ, Bartels M, de Geus EJC. Twin-sibling study and meta-analysis on the heritability of maximal oxygen consumption. *Physiological Genomics*. 2016; 48(3): 210–219. doi: 10.1152/physiolgenomics.00117.2015.
- ¹⁹ Bouchard C, An P, Rice T, et coll. Familial aggregation of VO₂(max) response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*. 1999; 87(3): 1003–1008. doi: 10.1152/jappl.1999.87.3.1003.
- ²⁰ Zadro JR, Shirley D, Andrade TB, Scurrah KJ, Bauman A, Ferreira PH. The Beneficial Effects of Physical Activity: Is It Down to Your Genes? A Systematic Review and Meta-Analysis of Twin and Family Studies. *Sports Medicine - Open*. 2017; 3(1): 4. doi: 10.1186/s40798-016-0073-9.
- ²¹ Laukkanen JA, Zaccardi F, Khan H, Kurl S, Jae SY, Rauramaa R. Long-term Change in Cardiorespiratory Fitness and All-Cause Mortality: A Population-Based Follow-up Study. *Mayo Clinic Proceedings*. 2016; 91(9): 1183–1188. doi: 10.1016/j.mayocp.2016.05.014.
- ²² Gist NH, Fedewa MV, Dishman RK, et coll. Sprint Interval Training Effects on Aerobic Capacity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2014; 44: 269–279. doi: 10.1007/s40279-013-0115-0.
- ²³ Sultana RN, Sabag A, Keating SE, et coll. The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2019; 49: 1687–1721. doi: 10.1007/s40279-019-01167-w.
- ²⁴ Helgerud J, Høydal K, Wang E, et coll. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007; 39(4): 665–671. doi: 10.1249/mss.0b013e3180304570.
- ²⁵ Krogh-Madsen R, Thyfault JP, Broholm C, et coll. A 2-wk reduction of ambulatory activity attenuates peripheral insulin sensitivity. *Journal of Applied Physiology*. 2010; 108(5): 1034–1040. doi: 10.1152/jappphysiol.00977.2009.
- ²⁶ Taylor HL. The effects of rest in bed and of exercise on cardiovascular function. *Circulation*. 1968; 38(6): 1016–1017. doi: 10.1161/01.cir.38.6.1016.
- ²⁷ Williams PT. Physical fitness and activity as separate heart disease risk factors: a meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001; 33(5): 754–761. doi: 10.1097/00005768-200105000-00012.
- ²⁸ Paterson DH, Cunningham DA, Koval JJ, St Croix CM. Aerobic fitness in a population of independently living men and women aged 55–86 years. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1999; 31(12): 1813–1820. doi: 10.1097/00005768-199912000-00018.
- ²⁹ Brawner CA, Ehrman JK, Schairer JR, et coll. Predicting maximum heart rate among patients with coronary heart disease receiving beta-adrenergic blockade therapy. *American Heart Journal*. 2004; 148(5): 910–914. doi: 10.1016/j.ahj.2004.04.035.
- ³⁰ Forman DE, Myers J, Lavie CJ, et coll. Cardiopulmonary Exercise Testing: Relevant but Underused. *Postgraduate Medicine*. 2010; 122(6): 68–86. doi: 10.3810/pgm.2010.11.2225.
- ³¹ Older PO, Levett DZH. Cardiopulmonary Exercise Testing and Surgery. *Annals of the American Thoracic Society*. 2017; 14(Supplement_1): S74–S83. doi: 10.1513/AnnalsATS.201610-780FR.
- ³² Bent B, Goldstein BA, Kibbe WA, Dunn JP. Investigating sources of inaccuracy in wearable optical heart rate sensors. *npj Digital Medicine*. 2020; 3(1): 18. doi: 10.1038/s41746-020-0226-6.

- ³³ Foster C, Jackson AS, Pollock ML, et coll. Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. *American Heart Journal*. 1984; 107(6): 1229-1234. doi: 10.1016/0002-8703(84)90282-5.
- ³⁴ Eng JJ, Dawson AS, Chu KS. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*. 2004; 85(1): 113-118. doi: 10.1016/s0003-9993(03)00436-2.
- ³⁵ Argulian E, Bangalore S, Messerli FH. Misconceptions and Facts About Beta-Blockers. *The American Journal of Medicine*. 2019; 132(7): 816-819. doi: 10.1016/j.amjmed.2019.01.039.
- ³⁶ Brubaker PH, Kitzman DW. Chronotropic incompetence: causes, consequences, and management. *Circulation*. 2011; 123(9): 1010-1020. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.940577.
- ³⁷ Zweerink A, van der Lingen A-LCJ, Handoko ML, van Rossum AC, Allaart CP. Chronotropic Incompetence in Chronic Heart Failure. *Circulation: Heart Failure*. 2018; 11(8): e004969. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.118.004969.
- ³⁸ González-Costello J, Armstrong HF, Jorde UP, et al. Chronotropic incompetence predicts mortality in severe obstructive pulmonary disease. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2013; 188(2): 113-118. doi: 10.1016/j.resp.2013.05.002.
- ³⁹ Prado, DM Leite do, et coll. Abnormal chronotropic reserve and heart rate recovery in patients with SLE: a case-control study. *Lupus*. 2011; 20(7): 717-720. doi: 10.1177/0961203310397081.
- ⁴⁰ Pecanha T, Rodrigues R, Pinto AJ, et coll. Chronotropic Incompetence and Reduced Heart Rate Recovery in Rheumatoid Arthritis. *Journal of Clinical Rheumatology*. 2018; 24(7): 375-380, doi: 10.1097/RHU.0000000000000745.