



Uso del Apple Watch para calcular la capacidad aeróbica con el VO_2 máx.

Mayo de 2021

Índice

| | |
|--------------------------------------------------|-----------|
| Descripción | 3 |
| Introducción | 3 |
| Definición..... | 3 |
| Medición y estimación | 3 |
| Utilidades..... | 3 |
| Genética | 4 |
| Intervenciones | 4 |
| Capacidad aeróbica en el Apple Watch..... | 4 |
| Descripción de la medición | 4 |
| Desarrollo | 7 |
| Diseño del estudio | 7 |
| Métodos estadísticos..... | 7 |
| Resultados | 8 |
| Debate | 10 |
| Conclusiones | 12 |
| Bibliografía..... | 12 |

Descripción

Con watchOS 7, el Apple Watch Series 3 y versiones posteriores utilizan un algoritmo actualizado para estimar la capacidad aeróbica según el VO_2 máx., el volumen máximo de oxígeno que una persona puede extraer del aire inhalado. Esta actualización amplía las estimaciones de VO_2 máx. a intervalos inferiores al mismo tiempo que amplía la disponibilidad de esta medición. Además, con watchOS 7.2, los usuarios pueden ver la clasificación de su capacidad aeróbica según su grupo de edad y su sexo en la aplicación Salud de su iPhone y recibir una notificación si se encuentra en un intervalo bajo. Este documento ofrece una explicación detallada de lo que permiten hacer estas prestaciones, incluidas las de prueba y validación.

Introducción

Definición

El VO_2 máx. es el volumen máximo de oxígeno que una persona puede extraer del aire inhalado y consumir a través del metabolismo celular. Así pues, el VO_2 máx. es un buen indicador global de la capacidad cardiorrespiratoria (CCR) porque que incorpora varios sistemas de órganos y se ve influido por diversos factores en distintos puntos del recorrido, desde la respiración hasta el consumo de oxígeno de los órganos específicos.¹ Los valores del VO_2 máx. se suelen normalizar por masa corporal y se notifican como mililitros de oxígeno por kilogramo de masa corporal en un minuto (ml/kg/min.). Suelen disminuir con el aumento de la edad y, a nivel poblacional, difieren entre sexos biológicos.²

Medición y estimación

El VO_2 máx. se mide durante la prueba de esfuerzo cardiopulmonar (PECP), un procedimiento en el que se pide a una persona que monte en una bicicleta estática o camine en una cinta a una intensidad que va en aumento mientras lleva una mascarilla, lo que permite medir directamente el oxígeno presente en el aire inhalado y exhalado.³ En la mayoría de los casos, el volumen de oxígeno que las personas consumen durante la prueba se estabiliza a pesar de que aumente su trabajo y se presupone que esta estabilización o máximo de VO_2 es el VO_2 máx. y así es como se le denomina, a pesar de que no existe la certeza de que se haya alcanzado un máximo real.⁴

En la práctica, el VO_2 máx. o la CCR se calculan con mayor frecuencia a partir de las mediciones hechas durante el esfuerzo submáximo, porque que estas pruebas son menos caras y consumen menor tiempo que la PECP máxima, exigen menos esfuerzo y son más cómodas para el paciente. Además, existen datos importantes para poder deducir el VO_2 máx. a partir de un esfuerzo submáximo.⁵

Utilidades

Durante los últimos 30 años se ha demostrado repetidamente que la CCR, medida mediante el VO_2 máx. o el equivalente metabólico relacionado (MET): (siendo 1 MET = ~3,5 ml/kg/min.) es un factor pronóstico de mortalidad cardiovascular y por cualquier causa, así como de acontecimientos cardiovasculares en hombres y en mujeres.^{6,7,8} En algunos estudios, la CCR era independiente de y un factor pronóstico más importante que algunos factores de riesgo muy conocidos de mortalidad cardiovascular y por cualquier causa, como la hipertensión, la obesidad y la hipercolesterolemia.^{9,10,11}

Debido a la utilidad de este pronóstico, los miembros de la comunidad médica y científica han defendido la inclusión de las medidas de la CCR en la práctica médica habitual como complementos¹² de, o incluso en lugar de, los modelos de riesgo tradicionales, como el de Framingham.¹³ Esta utilidad predictiva también se aplica fuera de la población general a cohortes de pacientes con enfermedades concretas, como personas

con insuficiencia cardiaca,¹⁴ y a la toma de decisiones clínicas relacionadas con episodios específicos, como el tratamiento perioperatorio^{15,16} y la derivación para la rehabilitación cardiaca.¹⁷ En respuesta a estas y otras demostraciones de utilidad, la Asociación Estadounidense de Cardiología (American Heart Association, AHA) recomendó en 2016 la evaluación de la CCR de forma más habitual y se pronunció a favor de que esta capacidad se considerase una constante vital.⁵

Genética

La genética está fuertemente vinculada con el VO₂ máx. de una persona, así como con los cambios del VO₂ máx. en respuesta al ejercicio. Al inicio, se creía que los factores genéticos determinaban aproximadamente entre el 50 y el 70 % aproximadamente de las diferencias del VO₂ máx. observadas entre personas^{18,19} y entre el 20 y el 60 % aproximadamente de la variación en las mejoras del VO₂ máx. en respuesta al entrenamiento deportivo.^{5,20}

Intervenciones

La mejora o el mantenimiento del VO₂ máx. a lo largo del tiempo se asocia estrechamente a un descenso de la mortalidad. En un estudio con más de 500 hombres a los que se realizó un seguimiento durante 11 años, Laukkanen et al. hallaron que por cada aumento de 1 ml/kg/min en el VO₂ máx., se reducía el riesgo de muerte en un 9 %.²¹ A nivel del estudio, el entrenamiento a intervalos de alta intensidad produce las mayores mejoras del VO₂ máx.^{22,23,24} En general, durante el transcurso de los programas que iban de 6 a 12 semanas, las mejorías en la VO₂ máx. fueron de entre el 5 y el 10 % aproximadamente (en ml/kg/min). Es importante reseñar que se ha notificado que los descensos del VO₂ máx. con el descenso de la actividad o la inactividad son de una magnitud similar o mayor (deterioro de hasta un 27 %) en periodos de tiempo mucho más cortos (2-3 semanas).^{25,26} El aumento de la actividad física en ausencia de mejoras en el VO₂ máx. no parece otorgar el mismo beneficio para la supervivencia en aquellas personas en las que el VO₂ máx. aumenta en comparación con aquellas en la que el VO₂ no aumenta.²⁷

Capacidad aeróbica en el Apple Watch

Este documento describe el desarrollo y la validación de la medición de la capacidad aeróbica, una medición del VO₂ máx. con el Apple Watch. El público al que va dirigido este documento lo componen investigadores, profesionales sanitarios y desarrolladores que puedan estar interesados en el uso de esta estimación en su trabajo, así como clientes que deseen saber más acerca del VO₂ máx. y del modo en que se mide y se valida con el Apple Watch. Se puede encontrar más información sobre cómo configurar y ver las estimaciones del VO₂ máx. en el Apple Watch en support.apple.com/es-es/HT211856.

Descripción de la medición

La capacidad aeróbica en el Apple Watch es una estimación del VO₂ máx. de un usuario en ml/kg/min que se obtiene midiendo la respuesta de la frecuencia cardiaca del usuario a la actividad física. Las actualizaciones del algoritmo utilizado para calcular el VO₂ máx. en watchOS 7 amplían las estimaciones a intervalos inferiores de capacidad aeróbica (14-60 ml/kg/min) para los usuarios con un Apple Watch Series 3 o versiones posteriores. En la figura 1 se muestra una vista del VO₂ máx. en la app Salud de iOS 14 en capacidad aeróbica. Un valor de VO₂ máx. puede generarse tras caminar, correr o hacer senderismo en exteriores en un terreno relativamente llano (es decir, un grado de menos del 5 % de inclinación o pendiente inferior) con un GPS, una calidad de señal de la frecuencia cardiaca y un esfuerzo satisfactorios (un aumento aproximado del 30 % del intervalo al pasar de la frecuencia cardiaca en reposo a la frecuencia cardiaca máxima). El primer entreno de este tipo de un usuario no generará una estimación y el usuario debe haber llevado el Apple Watch durante un día antes de que pueda producirse una primera estimación.

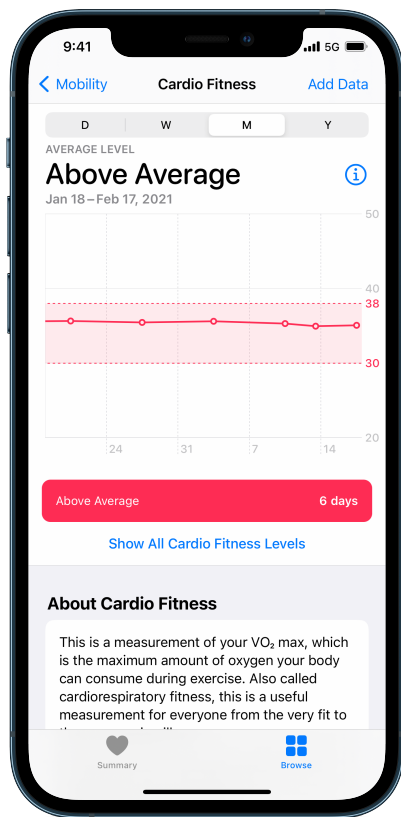


Figura 1: Capacidad aeróbica en la app Salud de iOS 14

Estas estimaciones del VO_2 máx. se basan en predicciones submáximas del VO_2 máx. en lugar de en el valor máximo del VO_2 . De este modo, los usuarios no tienen que alcanzar la frecuencia cardiaca máxima para recibir una estimación; sin embargo, hay que tener una idea de la frecuencia cardiaca máxima. Debido a esto, los usuarios que tomen medicamentos que puedan reducir su frecuencia cardiaca máxima pueden indicarlo en Datos de salud en la app Salud para permitir unos cálculos de la VO_2 máx. más precisos (ver la figura 2).

Gracias a la función introducida en iOS 14.3, los usuarios de 20 años o más tienen la opción de recibir notificaciones si su capacidad aeróbica, medida mediante el VO_2 máx. estimado, es baja de una manera lo suficientemente sistemática y fiable como para sugerir un riesgo de problemas de salud a largo plazo o la limitación actual en las actividades cotidianas. En el caso de los usuarios de entre 20 y 59 años, este umbral de notificación es el quintil más bajo para el sexo y la edad por década, determinado mediante el Registro de capacidad y la Base de datos Nacional sobre la Importancia del Ejercicio;² para los usuarios de 60 años o más, se usan los umbrales absolutos de VO_2 máx. de 18 y 15 ml/kg/min para hombres y mujeres, respectivamente, según los datos que sugieren que estos son los umbrales para la vida independiente en los extremos de edad en ambos sexos.²⁸ Los usuarios que deseen recibir las notificaciones de baja capacidad aeróbica deben seleccionar la opción de inclusión voluntaria, lo que requiere cumplimentar el proceso de incorporación en la app Salud que describe la función; recoge información como la edad, el sexo y los medicamentos importantes necesarios para ofrecer un aviso preciso; resume los factores que pueden reducir su capacidad aeróbica y ofrece contenido formativo opcional que describe la importancia del VO_2 máx. y las posibles causas de una notificación (figura 3).

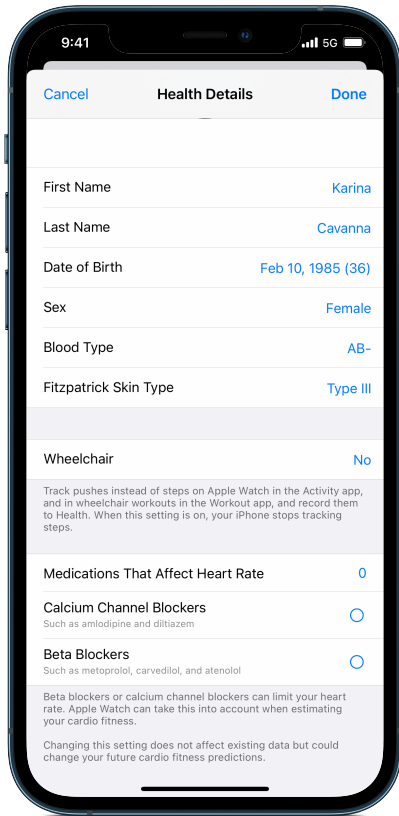


Figura 2: Los medicamentos que afectan a la frecuencia cardiaca pueden anotarse en Datos de salud en la app Salud de iOS 14

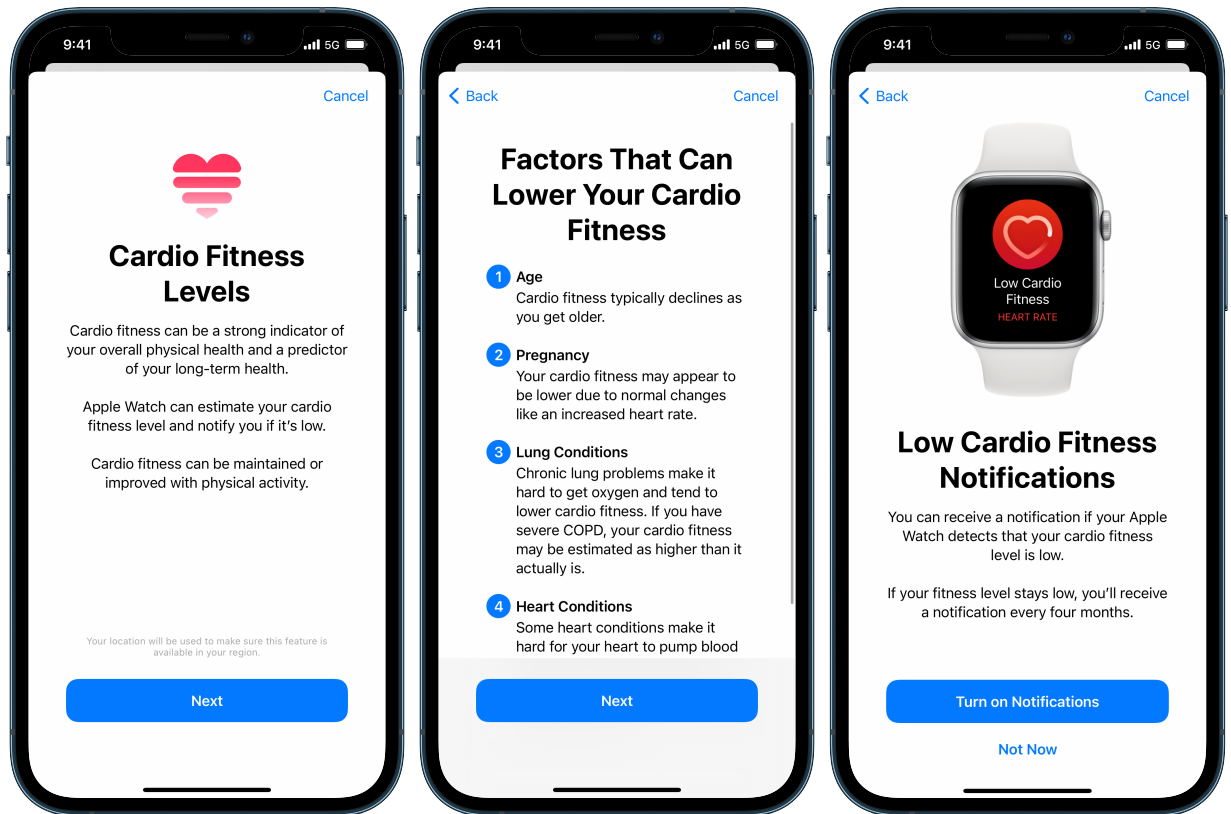


Figura 3: Proceso de incorporación para las notificaciones de baja capacidad aeróbica en la app Salud de iOS 14

Desarrollo

Diseño del estudio

Apple recogió datos para el diseño y la validación de la medición del VO_2 máx. en varios estudios, autorizados por un comité de revisión institucional (CRI), en los que participaron pacientes que dieron su consentimiento para la recogida y el uso de sus datos con esta finalidad.

Los participantes en el estudio hicieron las pruebas de VO_2 máx. o VO_2 submáx. o ambas, denominadas pruebas de esfuerzo cardiopulmonar (PECP) mientras llevaban puesto un Apple Watch Series 4. Se utilizó una gran variedad de protocolos de PECP, en los que se incluyeron tanto la cinta como cicloergómetros. Cada participante realizó hasta seis PECP durante los estudios, con al menos 10 días de distancia entre pruebas consecutivas para garantizar que los participantes tuvieran tiempo suficiente para descansar y que hubiera periodos suficientes para recoger los datos antes y después de las PECP personales. Los datos de las PECP se utilizaron para confirmar que el protocolo se llevaba a cabo de forma correcta y que los participantes alcanzaban como mínimo el 60 % de la frecuencia cardiaca máxima prevista. Las pruebas en las que había una anomalía en el intercambio de gases, una señal de frecuencia cardiaca de baja calidad, se detectaba arritmia o se notifica dolor o una falta de eficacia biomecánica se excluyeron del resto de análisis. En la creación del algoritmo se utilizaron las pruebas que cumplieron los pasos de verificación. Para obtener el VO_2 máx. de referencia de cada participante se hicieron proyecciones lineales con la frecuencia cardiaca y el VO_2 en el intervalo submáximo a fin de determinar el VO_2 máx. a partir de la frecuencia cardiaca máxima prevista por edad. La frecuencia cardiaca máxima prevista se redujo en el caso de los usuarios que tomaban medicamentos limitantes de la frecuencia cardiaca, como betabloqueantes, en consonancia con las previsiones publicadas.²⁹

Además de llevar un Apple Watch durante las PECP supervisadas, los participantes llevaron el Apple Watch y un iPhone durante sus actividades cotidianas durante los estudios. Estas actividades incluyeron entrenos registrados por los participantes. Durante este periodo se recogieron los datos de una gran variedad de sensores del Apple Watch (fotopletismógrafo, acelerómetro, giroscopio, barómetro y GPS), que se utilizaron para diseñar el algoritmo del VO_2 máx.

Se retiró a un subgrupo de participantes del estudio de todos los datos de diseño del algoritmo para comprobar la precisión del algoritmo y para proteger frente a un sobreajuste. El rendimiento del algoritmo se calculó comparando la última estimación válida del VO_2 máx. en el Apple Watch con el promedio de las predicciones submáximas de todas las PECP seleccionadas correspondientes a cada participante, salvo que se especifique lo contrario.

Métodos estadísticos

La validez del VO_2 máx. en el Apple Watch se calculó como la media y la desviación estándar de los errores entre la media de la última estimación válida del VO_2 máx. en el Apple Watch y la media de la proyección submáxima del VO_2 máx. de todas las PECP seleccionadas de cada participante. La fiabilidad, notificada como coeficiente de correlación intraclase (CCI), se evaluó mediante el cálculo de la concordancia absoluta por participante entre la última estimación válida del VO_2 máx. en el Apple Watch y un valor del VO_2 máx. anterior en el Apple Watch estimado como mínimo 28 días antes. La coherencia del VO_2 máx. en el Apple Watch se expresó como la mediana y el percentil 90 de la desviación estándar por participante de todas las estimaciones del VO_2 máx. en el Apple Watch correspondientes a los participantes que tuvieron como mínimo cinco estimaciones. Por último, la disponibilidad de VO_2 máx. se calcula en el Apple Watch de dos maneras distintas: como el porcentaje de todos los entrenos a pie en exteriores de más de 5,75 minutos de duración de todos los participantes que produjeron una estimación del VO_2 máx. en el Apple Watch y el porcentaje de participantes que completaron como mínimo diez entrenos a pie en exteriores de más de 5,75 minutos de duración que recibieron como mínimo una estimación del VO_2 máx. en el Apple Watch tras diez entrenos.

Resultados

En la tabla 1 se resumen las características basales de los participantes cuyos datos se utilizaron para el diseño y la validación.

Tabla 1. Características de los participantes

| | Diseño (N = 534) | Validación (N = 221) |
|------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Sexo: número (%) | | |
| Mujer | 191 (36) | 94 (43) |
| Hombre | 343 (64) | 127 (57) |
| Edad: años* (media ± DE) | 53 ± 18 | 55 ± 17 |
| Distribución por edades: número (%) | | |
| < 45 años | 207 (39) | 74 (33) |
| 45-54 años | 67 (13) | 26 (12) |
| 55-65 años | 57 (11) | 36 (16) |
| > 65 años | 203 (38) | 85 (38) |
| VO₂ máx. de referencia: ml/kg/min (media ± DE) | 31,7 ± 10,6 | 29,7 ± 10,5 |
| Duración de la observación: días (media ± DE) | 441 ± 137 | 390 ± 138 |
| Comorbilidades: número (%) | | |
| Artritis | 51 (10) | 17 (8) |
| Diabetes | 38 (7) | 23 (10) |
| Antecedentes de accidente cerebrovascular | 9 (2) | 5 (2) |
| Arteriopatía coronaria | 41 (8) | 24 (11) |
| Antecedentes de infarto de miocardio | 34 (6) | 16 (7) |
| EPOC | 4 (1) | 3 (1) |
| Insuficiencia cardiaca | 10 (2) | 5 (2) |
| Hipertensión | 121 (22) | 47 (21) |
| Tabaquismo (cigarrillos): número (%) | | |
| Fumador actual | 5 (1) | 1 (1) |
| Antiguo fumador | 63 (12) | 37 (17) |
| Nunca ha fumado | 300 (56) | 129 (58) |
| Tabaquismo desconocido | 166 (31) | 54 (24) |
| Categoría por IMC: número (%) | | |
| Delgadez (IMC < 18,5) | 1 (< 1) | 2 (< 1) |
| Normopeso (18,5 ≤ IMC < 25,0) | 215 (40) | 99 (45) |
| Sobrepeso (25,0 ≤ IMC < 30,0) | 220 (41) | 77 (35) |
| Obesidad (IMC ≥ 30,0) | 98 (18) | 43 (19) |
| * Según el año de nacimiento. | | |

En la tabla 2 se recoge el rendimiento del algoritmo para los conjuntos de datos de diseño y validación. En la figura 4 se muestra un gráfico de referencia (VO_2 máx. promedio extraído de las PECP por usuario comparado con el VO_2 máx. final estimado en el Apple Watch) para los participantes en el diseño y la validación. El rendimiento del algoritmo se evaluó en los datos recogidos durante los entrenos. Para un subgrupo de participantes (132 del grupo de diseño y 62 del de validación), también se calculó el VO_2 máx. al margen de los entrenos durante periodos de caminatas en exteriores para evaluar la capacidad de calcular el VO_2 máx. cuando no se ha iniciado un entreno en el Apple Watch. En estos usuarios, las estimaciones ajenas a los entrenos eran, de media, 0,32 ml/kg/min mayores que las estimaciones en los entrenos del grupo de diseño. No se detectó una diferencia significativa entre las estimaciones durante el entreno y fuera del entreno en el grupo de validación.

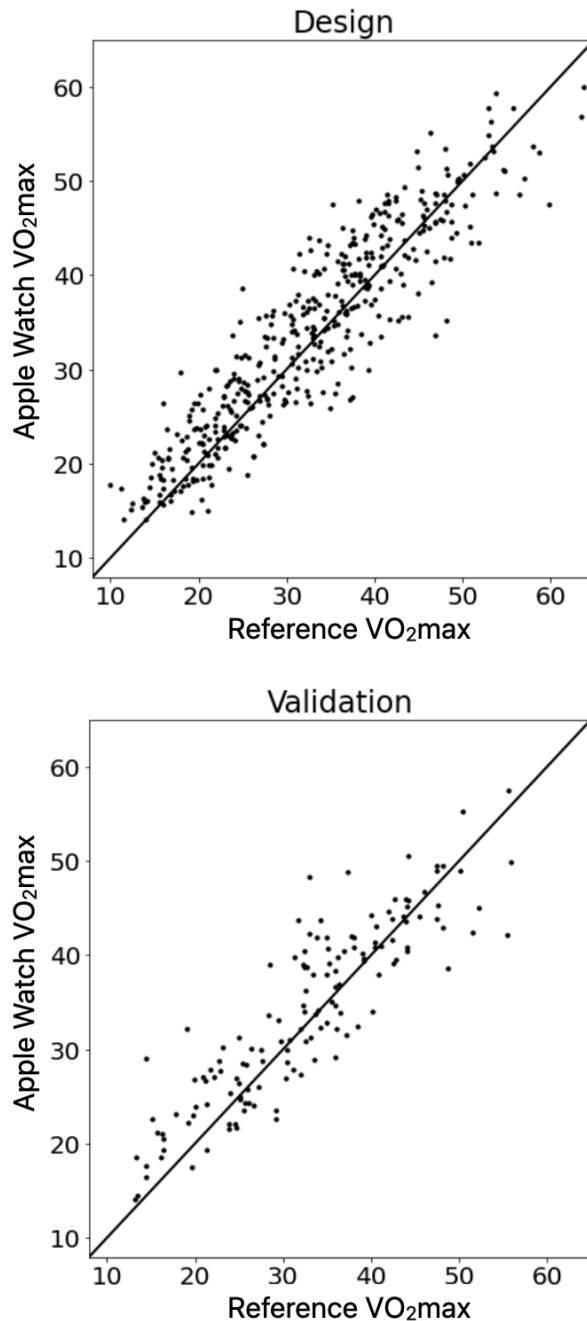


Figura 4: Referencia en comparación con el VO_2 máx. (ml/kg/min) estimado para los participantes de los grupos de diseño y de validación

Tabla 2. Rendimiento del VO₂ máx.

| Medición | Descripción | Diseño (N = 534) | Validación (N = 221) |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|
| Validez | Error (media del VO ₂ máx. estimado: media del valor de referencia submáximo previsto): ml/kg/min (media ± DE) | 1,2 ± 4,4 | 1,4 ± 4,7 |
| Fiabilidad | Comparación del CCI A-1 de la última estimación del VO ₂ máx. con datos y metadatos solo de esa sesión y de una estimación del VO ₂ máx. de hace más de 28 días con los datos y metadatos solo de esa sesión: CCI [intervalo de confianza] | 0,89 [0,86, 0,91] | 0,86 [0,80, 0,90] |
| Coherencia | DE de VO _{p2} máx. por usuario: ml/kg/min (% de VO _{p2} máx.) | | |
| | Mediana | 1,2 (3,7 %) | 1,2 (3,4 %) |
| | Percentil 90 | 2,6 (7,6 %) | 2,6 (7,2 %) |
| Disponibilidad | Porcentaje de entrenos a pie y en exteriores de más de 5,75 minutos de duración que recibieron una estimación | 79% | 78% |
| | Porcentaje de participantes que completaron al menos 10 ejercicios a pie y en exteriores durante más de 5,75 minutos y recibieron al menos una estimación en sus 10 primeros entrenos | 93% | 93% |

Debate

La evaluación de la CCR con el VO₂ máx. recibe cada vez más atención como medio de estratificación del riesgo e incluso hay quien aboga por que se considere una constante vital.⁵ En la práctica, y a pesar de las ventajas demostradas de su aplicación, la medición objetiva de la CCR con PECP sigue siendo infrecuente, en parte debido a los gastos, la carga para el participante y su limitada aceptación como procedimiento diagnóstico habitual en varias especialidades.³⁰ La estimación precisa del VO₂ máx. mediante la tecnología «ponible» podría ampliar la detección sistemática de la CCR a un amplio segmento de la población con un menor coste y permitir la monitorización a distancia de los pacientes entre visitas al médico en programas como la rehabilitación cardíaca. Estas estimaciones del VO₂ máx., precisas y disponibles, también pueden emplearse para orientar la estratificación del riesgo y la respuesta a programas diseñados para reducir dicho riesgo, como la evaluación preoperatoria y la rehabilitación.³¹

El algoritmo mejorado para la estimación del VO₂ máx. en el Apple Watch aquí descrito se diseñó para y se validó en una población con un VO₂ máx. de referencia que abarcaba una amplia gama de grados de capacidad aeróbica, como se muestra en la figura 4. Prácticamente la mitad de los participantes en el estudio tenían más de 55 años y aproximadamente el 10 % padecía arteriopatía coronaria conocida. La diversidad étnica y racial de la población del estudio no se aproximaba a la de la población de EE. UU.; no obstante, la frecuencia cardíaca, un dato clave para las estimaciones del VO₂ máx. en el Apple Watch, ha demostrado ser sistemáticamente homogénea en varios tonos de piel en estudios tanto internos como externos.³²

La ampliación de las estimaciones del VO₂ máx. a intervalos más bajos en watchOS 7 en combinación con la estimación al margen de los entrenos incrementa la disponibilidad de esta medición para las personas con una baja capacidad aeróbica. Más del 90 % de los participantes con al menos una caminata en exteriores, carrera al aire libre o entreno de senderismo de más de 3 minutos y monitorizado con la app Entreno recibieron como mínimo una estimación del VO₂ máx. en el Apple Watch. El aumento de los entrenos a pie en exterior aumentará la probabilidad y la precisión de una estimación del VO₂ máx. en el Apple Watch.

La estimación del VO_2 máx. mediante el Apple Watch es precisa y fiable en comparación con los métodos de medición del VO_2 máx. utilizados habitualmente, con un error promedio inferior a 1 MET y un CCI superior a 0,85. La precisión del VO_2 máx. en el Apple Watch se aproxima a la de los valores de referencia; los protocolos de las pruebas de esfuerzo submáximo se han medido previamente para tener aproximadamente una media de error igual a cero y un error estándar de 1 MET.³³ En términos de fiabilidad prueba-repetición de la prueba, el VO_2 máx. en el Apple Watch tiene un CCI de 0,87 en los datos de validación en comparación con 0,75 en la prueba de la cinta submáxima.³⁴

Con el nuevo algoritmo, las estimaciones de VO_2 máx. correspondientes a los usuarios que toman medicamentos para reducir la frecuencia cardíaca —como betabloqueantes y bloqueadores de los canales de calcio— y lo notifican en la app Salud del iPhone vinculado al Apple Watch deben ser más exactas en comparación con las estimaciones hechas en versiones anteriores de iOS y watchOS. La manipulación de estos medicamentos no diferencia la pauta posológica, la cardioselectividad ni la actividad simpaticomimética intrínseca de algunos betabloqueantes. Todos ellos podrían haber sido datos significativos, pero se han omitido a favor de la usabilidad. Con este enfoque, el error estimado para los usuarios de la cohorte de validación que tomaban betabloqueantes y bloqueantes del canal de calcio se redujo de $11,8 \pm 4,0$ ml/kg/min a $1,6 \pm 3,1$ ml/kg/min cuando se señaló adecuadamente el uso de la medicación en la aplicación. Los usuarios que tomen medicamentos para reducir la frecuencia cardíaca y no introduzcan esta información recibirán estimaciones superiores a los valores reales; es probable que aquellos que tomen las dosis necesarias o dosis bajas de estos medicamentos que no reduzcan de forma homogénea la frecuencia cardíaca máxima (por ejemplo, propranolol para la ansiedad de rendimiento) recibirán cálculos más precisos si no introducen esta información. Dada la gran prevalencia de uso de estos medicamentos,³⁵ tenerlos en cuenta de manera apropiada es esencial para estimar de manera precisa el VO_2 máx., especialmente en los usuarios de edad avanzada.

En algunas enfermedades, la estimación del VO_2 máx. del usuario puede ser imprecisa. Los usuarios que introduzcan incorrectamente su edad, sexo o peso en la app Salud pueden tener estimaciones de VO_2 máx. imprecisas de manera sistemática. Los cambios fisiológicos normales asociados al embarazo pueden ocasionar estimaciones imprecisas. Las estimaciones individuales pueden ser bajas si los datos del sensor se registran durante conductas que aumentan el esfuerzo del usuario de maneras que el Apple Watch no puede detectar con exactitud. Ejemplos frecuentes de estos comportamientos son el acarreo de un peso importante más allá del peso corporal, como una mochila pesada o un hijo, y caminar o correr en un terreno que incremente el esfuerzo del usuario, como la arena. De manera similar, usar un dispositivo de ayuda o empujar un carrito puede reducir la disponibilidad o la precisión de las estimaciones de VO_2 máx. en el Apple Watch. Los factores que incrementan la frecuencia cardíaca, como la deshidratación, la ingesta de cafeína, el calor extremo o la transición reciente a grandes altitudes, también pueden ocasionar subestimaciones. Se puede aumentar la precisión del VO_2 máx. en el Apple Watch realizando entrenos frecuentes a pie en el exterior, haciendo un mayor esfuerzo durante los entrenos y llevando el Apple Watch de forma constante durante todo el día más allá de las sesiones de entreno habituales.

Los usuarios con incompetencia cronotrópica, una afección en la que la frecuencia cardíaca no aumenta de manera adecuada para compensar la demanda,³⁶ pueden recibir sobrestimaciones del VO_2 máx. La incompetencia cronotrópica se asocia principalmente a la insuficiencia cardíaca, que se produce en aproximadamente entre el 30 y el 80 % (dependiendo de los criterios diagnósticos) de los pacientes con esta afección.³⁷ También se ha vinculado a proporciones significativas de pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC),³⁸ lupus³⁹ y otras enfermedades autoinmunes.⁴⁰

Además de la incompetencia cronotrópica, también otras enfermedades pueden disminuir la precisión de las estimaciones del VO_2 máx. en el Apple Watch. Estas son afecciones o dispositivos que separan la frecuencia cardíaca de los movimientos o el ejercicio (por ejemplo, dolor, arritmias, marcapasos o dispositivos de ayuda cardíaca); dolencias que limitan gravemente la tolerancia al ejercicio e impiden a los pacientes alcanzar una

frecuencia cardíaca próxima a la frecuencia cardíaca máxima prevista (por ejemplo, la arteriopatía periférica) y dolencias que aumentan de manera significativa la dificultad de deambulación, como enfermedades neuromusculares o esqueléticas que causan la ineficacia de la marcha (por ejemplo, la esclerosis múltiple o la parálisis cerebral).

Conclusiones

Con watchOS 7 en el Apple Watch Series 3 y versiones posteriores, las estimaciones del VO₂ máx. se han ampliado hasta intervalos inferiores de capacidad aeróbica, al mismo tiempo que se proporciona a los usuarios la opción de recibir una notificación si su capacidad aeróbica es baja para su edad y su sexo. Esta ampliación del intervalo, junto con el aumento de la disponibilidad de las estimaciones y la opción de que los usuarios que toman medicamentos limitantes de la frecuencia cardíaca reciban estimaciones más precisas que las disponibles con anterioridad, puede aumentar la capacidad de los investigadores y los médicos de utilizar esta medición para realizar un seguimiento de la forma física en adultos de edad avanzada y en presencia de enfermedades concomitantes.

Bibliografía

¹Stringer WW. Cardiopulmonary exercise testing: current applications. *Expert Review of Respiratory Medicine*. 2010; 4(2): 179–188. doi: 10.1586/ers.10.8.

²Kaminsky 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.

³American 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.

⁴Balady 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(2): 191–225. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181e52e69.

⁵Ross 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(24): e653–e699. doi: 10.1161/CIR.0000000000000461.

⁶Blair SN, Kohl HW, Paffenbarger RS, et al. 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.

⁷Mandsager 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.

⁸Clausen 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.

⁹Mora S, Redberg RF, Cui Y, et al. 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.

¹⁰Laukkanen 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.

¹¹Myers 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.

¹²Kodama S, Saito K, Tanaka S, et al. 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.

¹³Nauman J, Nes BM, Lavie CJ, et al. 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.

- ¹⁴Orimoloye OA, Kambhampati S, Hicks AJ, et al. 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.
- ¹⁵Begum 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.
- ¹⁶Bhagwat 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.
- ¹⁷Holmes 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.
- ¹⁸Schutte 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.
- ¹⁹Bouchard C, An P, Rice T, et al. 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.
- ²⁰Zadro 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.
- ²¹Laukkanen 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.
- ²²Gist NH, Fedewa MV, Dishman RK, et al. 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.
- ²³Sultana RN, Sabag A, Keating SE, et al. 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.
- ²⁴Helgerud J, Høydal K, Wang E, et al. 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.
- ²⁵Krogh-Madsen R, Thyfault JP, Broholm C, et al. 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.
- ²⁶Taylor 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.
- ²⁷Williams 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.
- ²⁸Paterson 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.
- ²⁹Brawner CA, Ehrman JK, Schairer JR, et al. 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.
- ³⁰Forman DE, Myers J, Lavie CJ, et al. Cardiopulmonary Exercise Testing: Relevant but Underused. *Postgraduate Medicine*. 2010; 122(6): 68–86. doi: 10.3810/pgm.2010.11.2225.
- ³¹Older 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.
- ³²Bent 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.
- ³³Foster C, Jackson AS, Pollock ML, et al. 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.
- ³⁴Eng 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.
- ³⁵Argulian 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.
- ³⁶Brubaker PH, Kitzman DW. Chronotropic incompetence: causes, consequences, and management. *Circulation*. 2011; 123(9): 1010–1020. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.940577.

³⁷Zweerink 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.

³⁸González-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.

³⁹Prado, DM Leite do, et al. 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.

⁴⁰Pecanha T, Rodrigues R, Pinto AJ, et al. Chronotropic Incompetence and Reduced Heart Rate Recovery in Rheumatoid Arthritis. *Journal of Clinical Rheumatology*. 2018; 24(7): 375–380, doi: 10.1097/RHU.0000000000000745.