

Fiabilidad y Validez de los wearables para medir la frecuencia y la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante la realización de actividad física



Autor: Carlos Enríquez González.

Tutor académico: Alejandro Javaloyes Torres.

Curso: 2023/2024.

Titulación: Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.



Índice

Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
2. Método.....	2
2.1. Criterios de elegibilidad.....	2
2.2. Fuentes de información.....	3
2.3. Estrategias de búsqueda.....	3
2.4. Proceso de selección de los estudios.....	3
3. Resultados.....	4
3.1. Características, selección y resultados de los estudios.....	4
Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA.....	4
3.2. Evaluación del riesgo de sesgo.....	9
4. Discusión.....	11
5. Limitaciones e investigación futura.....	13
6. Propuesta de intervención.....	13
7. Conclusión.....	14
8. Bibliografía.....	15

1. Introducción.

En la actualidad existe un gran número de wearables, el concepto de wearable hace referencia a los diferentes tipos de dispositivos electrónicos que realizan diferentes funciones y que se pueden llevar encima del cuerpo humano en diferentes localizaciones, estos dispositivos están siendo usados por millones de personas a diario (Lobelo et al., 2016), y está en creciente auge, por lo que se espera que cada año se incrementen el uso de estos dispositivos, estos dispositivos pueden lograr que los individuos mantengan un nivel de actividad física diaria y un estilo de vida saludable, están en constante evolución y en la actualidad son capaces de controlar numerosas capacidades sin ser invasivos y con un precio bastante económico en comparación con los gold estándar. Estos dispositivos han ganado popularidad debido a sus diversas funciones como pueden ser el monitoreo de la salud, a través de la medición de la frecuencia cardíaca y de la variabilidad de la misma, la cantidad y calidad de sueño, el número de pasos que realiza el poseedor, el gasto energético, la altitud, la saturación de O₂ sanguíneo. El tipo de wearables más conocido y del que más estudios se tiene es la pulsera inteligente y/o smartwatch (Ruby D., 2023), pero en la actualidad existen otros tipos de wearables que están siendo implantados en el mercado como puede ser el uso de los anillos inteligentes (Cao et al., 2022).

Uno de los aspectos más importantes de los wearables y que más utilidad tienen es la función de medición de la frecuencia cardíaca (FC) y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), estos parámetros nos informan sobre el estado de nuestro sistema nervioso (Shaffer, F., & Ginsberg, J. P., 2017), el cual muestra el equilibrio dinámico entre las ramas simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo, el cual actúa como regulador fisiológico a los posibles factores estresantes (Kim et al., 2018).

La rama simpática del sistema nervioso autónomo es la encargada de activar las respuestas a un factor estresante, activando al organismo para hacer frente al mismo, mientras que la rama parasimpática es la encargada de devolver al organismo a un estado de homeostasis.

Dentro de los múltiples beneficios de controlar la FC mientras se realiza actividad física, podemos destacar el uso de esta como medio de control de carga interna del deportista (Gielen J et al 2022), también sirve para establecer las bases y objetivos del entrenamiento aunque esto no es muy recomendado en la actualidad debido a que el entrenamiento a un % de la frecuencia cardíaca máxima puede que no sea equivalente a la intensidad requerida (Mann et al., 2013), por este motivo, en la actualidad se utiliza la prescripción del ejercicio en relación a los umbrales ventilatorios, reserva de VO₂ y reserva de la frecuencia cardíaca.

La FC se define como el número de veces que se contrae el corazón durante un determinado espacio de tiempo, normalmente durante un minuto, la VFC es la variación en el intervalo de tiempo entre dos latidos, lo que se conoce como RR, que es el tiempo entre ondas R en un electrocardiograma.

Conocer la VFC nos puede aportar información que sirva de prevención para el desarrollo de posibles insuficiencias cardíacas y enfermedades como pueden ser la diabetes (Mota et al., 2023), también se podría mejorar los niveles y la calidad del sueño (Burton et al., 2010) y los niveles de estrés del sujeto (Dalmeida, K. M., & Masala, G. L., 2021).

El gold estándar para la medición tanto de la FC y la VFC es el electrocardiograma, también denominado como ECG, esta prueba registra la actividad eléctrica del corazón, con esta prueba se puede observar el ritmo, frecuencia, fuerza y sincronización de las señales eléctricas, esta prueba es usada para diagnosticar y controlar diferentes tipos de enfermedades como pueden ser la arritmia, la cardiomiopatía, insuficiencia cardiaca y demás enfermedades (Breen et al., 2022), pero esta prueba tiene algunos inconvenientes como puede ser la necesidad de ser realizado por un personal capacitado y la necesidad de disponer del material necesario para la realización del protocolo.

Existe otra alternativa para controlar la FC y la VFC del cual se ha incrementado su uso en los últimos años es la PPG (Raja et al., 2019), la cual consiste en medir las oscilaciones del flujo sanguíneo a través de la piel emitiendo y absorbiendo el reflejo de luz a través de un detector del mismo, el sensor debe de estar colocado sobre la piel en las áreas donde la arteria está proximal, esta técnica es utilizada actualmente por los wearables, los cuales están disponibles en el mercado para el alcance de todos y a un precio económico.

Existen controversias en las investigaciones sobre si estos dispositivos electrónicos son fiables y válidos para medir algunos parámetros, por eso el objetivo de esta revisión sistemática es examinar la fiabilidad y validez de los wearables para medir y controlar tanto la FC como la VFC mientras se realiza actividad física, para ello se examinarán investigaciones sobre diferentes tipos de modelos o formatos (pulseras, anillos inteligentes, smartwatch...), y sobre las diferentes marcas que ofertan estos dispositivos en la actualidad.

2. Método.

2.1. Criterios de elegibilidad.

Para elaborar los criterios de elegibilidad, se diferenciaron entre criterios de exclusión y criterios de inclusión.

Criterios de inclusión:

1. El año de publicación del documento se encuentra dentro del margen establecido (2014 hasta la actualidad).
2. En el documento se estudia la fiabilidad y/o validez de los wearables para medir tanto la FC como la VFC.
3. Se incluyeron todos los tipos de marcas que ofertan este tipo de dispositivos.
4. Se incluyeron todos los documentos que estaban escritos en castellano e inglés.

Criterios de exclusión:

1. El documento se trata de una revisión sistemática, artículos de opinión y metaanálisis.
2. La población en la cual se valoraron los criterios era en sujetos no humanos.
3. Los sujetos del estudio padecían alguna enfermedad cardiovascular, cardiorrespiratoria y/o metabólica.
4. El año de publicación del documento se encuentra fuera del margen establecido (2014 hasta la actualidad).
5. En el documento no se menciona en ningún momento la validez y/o fiabilidad de los wearables para medir la FC y la VFC.

2.2. Fuentes de información.

Como fuente de información se utilizó la base de datos MEDLINE, la cual es creada por la biblioteca nacional de medicina de los estados unidos (NLM), esta base de datos se actualiza diariamente, lo que garantiza que la información publicada es actual, con la utilización de esta base de datos se asegura que los documentos seleccionados son de una alta calidad y confiabilidad, para poder realizar la búsqueda en esta base de datos de forma gratuita, se utilizara el servicio de PubMed.

2.3. Estrategias de búsqueda.

Esta revisión sistemática se ha realizado siguiendo las pautas de verificación para revisiones sistemáticas y metaanálisis "PRISMA" del año 2020 (Page, M. J et al 2021), para la realización de la búsqueda bibliográfica se establece que la antigüedad de los documentos seleccionados para su posterior análisis no podrá ser superior a los últimos 10 años, es decir, se fijó el rango de búsqueda desde el 2014 hasta la actualidad, se estableció como criterio que el idioma debía de ser el castellano o el inglés.

Para realizar la búsqueda se utilizó el buscador avanzado de MEDLINE, en el cual se estableció el rango de fechas mencionado anteriormente y se utilizó y combinaron entre sí los siguientes términos: Validity, Reliable, Heart Rate, Hrv, Wearables, Compare, Variables, Smartwatch, Apple Watch, Samsung, Garmin, Polar, Precisión, Precise, Fitbit.

2.4. Proceso de selección de los estudios.

Para la selección de los estudios que se han incluido en la elaboración de esta revisión sistemática, se realizar una búsqueda en la base de datos MEDLINE, en la cual se realizara un cribado inicial con las estrategias de búsqueda mencionadas anteriormente, seguidamente se pasara a realizar un cribado mediante título primeramente y mediante el abstract posteriormente.

El siguiente paso será pasar a realizar la lectura completa de los estudios seleccionados anteriormente, en los cuales se aplicarán los criterios de inclusión y exclusión para determinar que estudios son seleccionados para la elaboración de la revisión sistemática.

3. Resultados.

3.1. Características, selección y resultados de los estudios.

La búsqueda en la base de datos MEDLINE dio como resultado un total de 601 resultados.

Esta búsqueda se realizó el día 15/03/2024 a las 15:23.

Una vez realizado el cribado mediante título primeramente y mediante el abstract posteriormente, se obtuvo un resultado de 52 estudios elegibles. Una vez realizada la lectura completa de estos 52 artículos, en base a los criterios de exclusión definidos con anterioridad se excluyeron 21 artículos.

El resultado final tras este proceso de selección de artículos fue de 31 artículos, de los cuales posteriormente se pasó a realizar la tabla de resultados.

Todo este proceso está detallado en un diagrama de flujo PRISMA que se muestra a continuación en la figura 1.

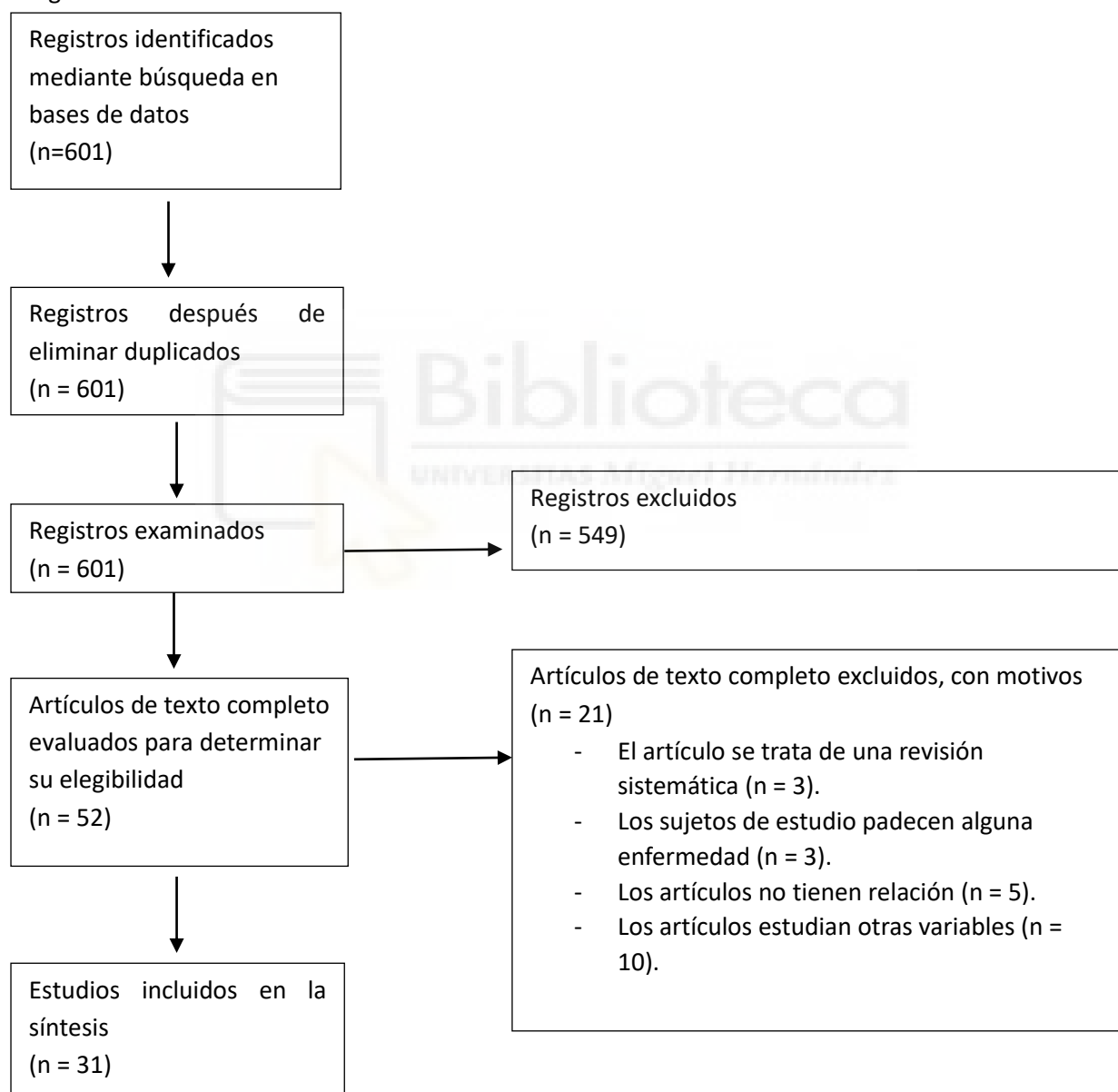


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA.

El resultado final de la búsqueda dio como resultado un total de 31 artículos para la elaboración de la revisión sistemática, a continuación, pasaremos a detallar algunos de los aspectos más relevantes de estos resultados.

Esta búsqueda aportó un total de 17 marcas diferentes de dispositivos, siendo la marca polar la que más ha sido investigada (13 estudios), seguido de la marca Fitbit (7 estudios) y Apple (5 estudios), también se encontraron otras marcas como Xiami y Scosche Rhythm (3 estudios), de las marcas Basic Peak y Jabra (2 estudios), seguidamente de las siguientes marcas que se mencionan solo se encontró un estudio de investigación: Samsung, Motiv, Suunto, Fenix, Lexin Mio, Qband, Sujetador deportivo, Dash pro, Cosinuss One y Fizzo.

Los años de las publicaciones de los estudios abarcan un rango desde 2016 hasta la actualidad, incrementándose el número de publicaciones en los últimos años (2016, n=2; 2017, n=2; 2018, n=2; 2019, n=5; 2020, n=6; 2021, n=5; 2022, n=5; 2023, n=3).

Los estudios incluidos investigaron tanto la validez como la fiabilidad de los dispositivos para medir la FC mientras se realiza actividad física, encontrándose un número reducido de estudios que estudian la fiabilidad (4 estudios) en comparación con la validez (31 estudios).

Los dispositivos pueden ser colocados en diferentes localizaciones a lo largo de todo el cuerpo para controlar la FC, varios estudios incluyen diferentes dispositivos en diferentes localizaciones, el resultado de esta búsqueda aportó hasta un total de 6 localizaciones diferentes, siendo la más utilizada la muñeca (24 estudios), seguido de la zona del brazo (6 estudios) y de la zona del pectoral (5 estudios), también se encontraron otras localizaciones menos investigadas como pueden ser el oído (3 estudios), la sien (2 estudios) y el dedo (1 estudio).

Los 31 estudios comprendieron un total de 854 participantes, con una media de 28 participantes por estudio, los cuales abarcan un rango entre 7-70.

La media de edad de todos los estudios investigados ha sido de 30 años.

Respecto al género de los sujetos de estudio, el género masculino ha tenido un total de 511 (59,83%), el género femenino ha tenido un total de 343 (40,17%).

En relación a la localización donde se llevaron a cabo los protocolos de medición y de registros de resultados, hemos diferenciado principalmente en dos localizaciones, las realizadas en un entorno controlado como los laboratorios y las realizadas fuera de un entorno controlado, como pueden ser pistas deportivas, senderos de MTB, piscinas de natación...

Esto ha dado un resultado de 14 (45,16%) estudios realizados en entornos no controlados y 17 (54,84%) estudios realizados en entornos controlados.

Una vez finalizada la lectura completa de los estudios incluidos en el proceso final de revisión, se elaboró una tabla de resultados, la cual se muestra a continuación, esta tabla incluye los datos más importantes de cada estudio (número de sujetos de estudio, marca y modelo del dispositivo investigado, objetivo de la investigación, protocolo de estudio y resultados).

Tras analizar los estudios, se procedió a elaborar una tabla de resultados, la cual se muestra a continuación, esta tabla incluye la referencia del estudio, la marca y el tipo de dispositivo empleado, el número de sujetos de estudio, el protocolo de estudio y los resultados encontrados.

Referencia	Modelo y marca dispositivo	N.º de sujetos de estudio	¿Qué evaluó? / Objetivo del estudio	Protocolo	Resultado
(Dükin et al., 2020)	Apple Watch Series 4, Polar Vantage V, Garmin Fenix 5 y Fitbit Versa.	25 personas.	La validez de FC mientras está sentado o realizando actividad física (andando y corriendo a diferentes velocidades).	El protocolo consistió en la realización de 35 minutos con cada dispositivo en los cuales se realizaron: 5 minutos sentados, 5 minutos caminando, 5 minutos corriendo a diferentes velocidades 1.1, 1.9, 2.7, 3.6, 4.1 m/s.	El Apple Watch Series 4, el Polar Vantage V, el Garmin Fenix 5 y Fitbit Versa son adecuados para mediciones válidas de frecuencia cardíaca en las intensidades probadas, las correlaciones fueron de 0.97, 0.89, 0.85 y 0.57 respectivamente.
(Thomson et al., 2019)	Apple Watch y Fitbit Charge HR 2.	30 personas.	Validez de los dispositivos mientras se realiza actividades de intensidades ligeras, moderadas y vigorosas.	Los participantes realizaron el Protocolo Bruce.	Estos hallazgos indican que la precisión de la monitorización de la frecuencia cardíaca en tiempo real realizada por el Apple Watch y el Fitbit Charge HR2 se reduce a medida que aumenta la intensidad del ejercicio. Sin embargo, Apple Watch tuvo un mejor rendimiento que Fitbit Charge HR 2 según las tasas de error (Apple Watch: del 2 % al 5,73 % frente a Fitbit Charge HR 2: del 9 % al 13 %).
(Khushhal et al., 2017)	Apple watch.	21 personas.	Validez y fiabilidad del Apple Watch para medir la frecuencia cardíaca durante el ejercicio.	El ejercicio implicó series de 5 minutos de caminata, trote y carrera a velocidades de 4, 7 y 10 km/h, seguidos de 11 min de descanso entre series.	La confiabilidad intra dispositivo es buena durante la caminata y en la recuperación de la caminata y mejora con la mayor intensidad del ejercicio asociado con trotar y correr, las correlaciones fueron durante la marcha 0.97, jogging 0.92, carrera 0.86.
(Støve et al., 2022)	Apple watch series 6 y whoop band 3.0.	29 personas.	Precisión del Apple Watch Series 6 y Whoop Band 3.0 para evaluar la frecuencia cardíaca durante ejercicios de resistencia.	Los participantes completaron cinco ejercicios de resistencia; Sentadilla trasera con barra, peso muerto con barra, curl con mancuernas hasta press de cabeza, remo con cable sentado y burpees.	Los resultados sugieren que el Apple Watch Series 6 es adecuado para medir la frecuencia cardíaca durante la prescripción de ejercicio o controlar el rendimiento del ejercicio de resistencia, Apple obtuvo una concordancia de 0.83 y Whoop Band 3.0 de 0.60.
(Abt et al., 2018)	Apple Watch.	15 personas.	Validez y variabilidad entre dispositivos del Apple Watch (un dispositivo en cada muñeca) para medir la frecuencia cardíaca mientras se realiza actividad física.	Los participantes realizaron una prueba de consumo máximo de oxígeno en un laboratorio.	Hubo correlaciones buenas a muy buenas entre los relojes y el criterio (izquierda: $r = 0,87$, derecha: $r = 0,98$). El error típico estandarizado de la estimación para los relojes izquierdo y derecho en comparación con el criterio fue de 0,51 (IC del 90%: 0,38 a 0,80; moderado) y 0,22 (IC del 90%: 0,16 a 0,34; pequeño). El error típico estandarizado entre dispositivos fue 0,46 (IC 90%: 0,36 a 0,68; moderado), CCI = 0,84 (IC 90%: 0,65 a 0,93).
(Chow et al., 2020)	Polar h7, Garming Vivosmart HR y Xiaomi Mi Band 2.	20 adultos jóvenes y 20 adultos mayores.	Comparación de la medición de la FC del Polar h7 con Garming Vivosmart HR+ y Xiaomi Mi Band 2, durante la realización de actividad física moderada.	Los participantes realizaron la siguiente prueba: caminar en cinta durante 6 minutos, jogging en cinta durante 6 minutos, descanso de 3 minutos sentados, bicicleta estática durante 6 minutos, 3 minutos de descanso sentados, máquina elíptica durante 6 minutos y 3 minutos de descanso sentados.	los valores MAPE estuvieron por debajo del 10% (el umbral designado) en ambos dispositivos (Garmin Young =3,77%; Garmin Senior =4,73%; Xiaomi Young =7,69%; y Xiaomi Senior =6,04%). Las puntuaciones de la prueba de confiabilidad de CCC para Garmin fueron 0,92 (Joven) y 0,80 (Senior), mientras que las de Xiaomi fueron 0,76 (Joven) y 0,73 (Senior). Sin embargo, los resultados obtenidos mediante el análisis de Bland-Altman indicaron que ambos dispositivos ópticos de prueba subestimaron la frecuencia cardíaca promedio.
(Budig et al., 2021)	Polar Ignite; Garmin Forerunner 945.	36 personas.	Comparación de los dispositivos con la banda de pecho Polar H10 para medir FC mientras se realiza actividad física.	Una batería de pruebas que consistía en caminar y correr 3 km, una carrera a intervalos de 1,6 km (estadio estándar al aire libre de 400 m), una carrera forestal de 3 km (al aire libre), 500/ Pruebas de 1.000 m de natación y 4,3/31,5 km de ciclismo.	El estudio refleja una correlación CCC excelente para todas las pruebas 0.90 respectivamente, el MAPE fue de 2.85% y cuando se incluía la natación 7.18%, esto refleja que los dispositivos son válidos para ambas actividades, siendo un poco menos preciso en las actividades acuáticas.
(Carrier et al., 2023)	Fenix 5, Polar A360, un dispositivo de antebrazo (Rhythm+), un dispositivo de auricular (Jabra) y dos correas para el pecho (Polar H7, Suunto).	20 personas.	Validez de los dispositivos para medir FC mientras se realizan pruebas de MTB.	Dos pruebas de MTB de 3,22 KM.	El único dispositivo que tuvo un MAPE dentro de los valores fue el reloj Suunto Spartan Sport, con un MAPE del 0,66 % y un CCC de 0,99. Los resultados para los dispositivos Fenix 5, Polar A360, Rhythm+, Jabra fueron los siguientes respectivamente: MAPE (11,12%-13,2%-10,9%-26,5%), y los CCC (0,22-0,29 -0,19- -0,2)
(Hettiarachchi et al., 2019)	Polar OH1.	24 personas.	Validación del Oh1 para medir FC en diferentes localizaciones del cuerpo respecto al ECG mientras realizan actividad física.	El protocolo consistió en caminar en una cinta rodante durante 3 minutos a una velocidad diferente (4,5,5.5 km/h) seguido de un descanso superior a 5 minutos, seguidamente, se realizó los mismos bloques, pero con una inclinación en la cinta seguido de un descanso de más de 5 minutos, por último, se realizó bicicleta estática durante 3 minutos a 65 rpm y 3 minutos a 80 rpm.	Polar OH1 demuestra un alto nivel de concordancia con el criterio de medida ECG HR, por lo que puede usarse como una medida válida de HR en entornos de laboratorio y de campo durante actividades físicas de intensidad moderada y alta. La correlación intraclass entre el ECG y Polar OH1, para los datos agregados, fue de 0.99 y el sesgo medio estimado osciló entre 0,27 y 0,33 ppm, el sesgo medio estimado estuvo en el rango -0,15 a 0,55 ppm, 0,01 a 0,53 ppm y -0,37 a 0,48 ppm, para las ubicaciones del antebrazo, la parte superior del brazo y la sien, respectivamente.
(Schaffarczyk et al., 2022)	Polar H10.	25 personas.	Validación de la correa polar H10 para medir FC con un ECG mientras se realiza actividad física.	Se realizó una rampa incremental en una bicicleta con freno mecánico con una cadencia mantenida entre 60 y 80 rpm. El protocolo consistió en una carga de trabajo inicial de 50 Watts durante tres minutos seguida de un aumento de 1 vatio cada 3,6 s (equivalente a 50 Watts/3 min) hasta el agotamiento voluntario del voluntario.	Las mediciones lineales de la VFC derivadas del dispositivo de correa para el pecho Polar H10 muestran una fuerte concordancia, con un ICC DE 0.95 en reposo y un ICC-0.93 durante el ejercicio, y un pequeño sesgo de -0,1 a -0,2 ms con LoA de 0,3 a -0,5 ms durante baja intensidad y de 0,4 a -0,7 ms durante alta intensidad en comparación con los registros de ECG y pueden recomendarse a los profesionales. Sin embargo, con respecto al análisis de fluctuaciones sin tendencia a corto plazo, los valores en el rango no están correlacionados y durante intensidades de ejercicio más altas tienden a provocar un sesgo mayor y una LoA más amplia.
(Hermand et al., 2019)	Polar OH1 y banda polar H7.	70 atletas entrenados.	Validación del polar OH1 para medir FC en diferentes deportes en entornos fuera de laboratorio.	Se realizaron carreras, andar en bicicleta y caminar en diversos terrenos, alternando entre llanuras, colinas y descensos, lo que indujo un amplio espectro de FC de bajo a alto. Tenis, crossfit y fútbol se realizaron en terreno llano o en agua, pero también mostraron FC altas y bajas debido a pausas sucesivas y aceleraciones o repeticiones repentinas.	La confiabilidad era alta para deportes de resistencia (> 99 %) y menor para deportes que involucran movimientos del brazo (92-95%). Los sesgos fueron ligeramente negativos para todos los deportes, mientras que la amplitud de los límites de acuerdo variaba de 7 a 20 ppm. Por tanto, OH1 representa una herramienta válida para monitorear la FC instantánea y la carga de entrenamiento, especialmente para deportes de resistencia.
(Hernando et al., 2018)	Polar rs800.	23 personas.	Comparación del dispositivo con ECG mientras realiza actividad física.	Primeramente, se completaron 5 minutos en reposo, seguidamente la fase de ejercicio comenzó en el cicloergómetro con una carga de trabajo de 75 W, aumentando a un ritmo de 25 W-min -1. La frecuencia de cadencia se fijó en 80 rpm. Esta fase duró hasta que el sujeto alcanzó su frecuencia cardíaca máxima del 90%, después la carga de trabajo se mantuvo constante durante 2 minutos más. La fase de recuperación consistió en 5 minutos de pedaleo a cadencia libre.	La concordancia entre las series RR obtenidas del dispositivo Polar y del ECG es alta a lo largo de toda la prueba, aunque cuanto más corta es la RR, es decir, frecuencias cardíacas más altas, más diferencias existen. Ambos métodos son intercambiables cuando se analiza la VFC en reposo. A alta intensidad de ejercicio, HRM y PLF aún presentaron una alta correlación ($p > 0,8$) y excelentes índices de confiabilidad y concordancia (por encima de 0,9). Sin embargo, las mediciones de PHF del Polar mostraron coeficientes de confiabilidad y concordancia alrededor de 0,5 o menos cuando el nivel del ejercicio aumenta (para niveles de O 2 superiores al 60%).

(Olstad, B. H., & Zinner, C. (2020))	Polar OH1 y Polar M600.	26 nadadores.	Validación de los dispositivos para medir la FC mientras se realiza el deporte de natación.	se desarrolló una sesión de 75-90 minutos de entrenamiento.	No fueron evidentes diferencias en FC máxima, FC media y FC mínima entre H10 y OH1. La FC máxima y la FC media obtenidas por el M600 fueron significativamente menores que las obtenidas por H10 y OH1 ($p < 0,05$). El ICC mostró acuerdos en su mayoría excelentes entre H10-OH1 con un 0,97 y acuerdos de pobres a buenos con un 0,57 entre H10-M600. El gráfico de Bland-Altman para M600 frente a H10 indica límites de concordancia superior e inferior de -53,0 a 33,9 latidos por minuto. Para OH1 frente a H10, los límites de concordancia superior e inferior fueron de -26,9 a 24,7 latidos por minuto.
(Muggeridge et al., 2021)	Polar OH1 y Fitbit Charge 3.	20 personas.	Validez de los dispositivos Polar OH1 y Fitbit Charge 3 para medir la frecuencia cardíaca durante el reposo y el ejercicio ligero, moderado, vigoroso y de tipo sprint.	La prueba 1 se dividió en 3 componentes: actividades sedentarias de 15 minutos, ciclismo de 10 minutos en una bicicleta ergómetro y prueba de ejercicio incremental hasta el agotamiento en una cinta rodante motorizada (18-42 minutos). La prueba 2 se dividió en 2 componentes: 4 esprints máximos de 15 segundos en una bicicleta ergométrica y 4 esprints de 30 a 50 m en una cinta de correr de resistencia no motorizada.	En general, hubo una muy buena correlación entre los dispositivos Polar OH1 y Polar H10 ($r = 0,95$), con un sesgo medio de -1 latidos-min -1 y límites de concordancia de -20 a 19 latidos-min -1. El dispositivo Fitbit Charge 3 subestimó la frecuencia cardíaca en 7 latidos-min -1 en comparación con Polar H10, con un límite de concordancia de -46 a 33 latidos-min -1 y una correlación pobre ($r = 0,8$). El error porcentual absoluto medio para ambos dispositivos se consideró aceptable (<5%). Polar OH1 tuvo un buen desempeño en cada fase de la prueba 1; sin embargo, la validez fue peor para las actividades del ensayo 2. Fitbit Charge 3 funcionó bien solo durante el descanso y las actividades en cinta sin sprint.
(Shumate et al., 2021)	Polar Vantage M.	30 personas.	Validez del dispositivo respecto a la ECG mientras se realiza actividad física.	Los participantes realizaron el protocolo Bruce Treadmill.	Este estudio reveló que la vigilancia PVM tuvo una fuerte correlación ($p < 0,05$, $r^2 = 0,87$) con el ECG durante todo el Protocolo Bruce; sin embargo, el nivel de concordancia (LoA) se dispersa ampliamente a medida que aumentan las intensidades del ejercicio. Debido a la gran LoA entre el ECG y el reloj PVM, no es recomendable utilizar este dispositivo en poblaciones clínicas en las que las mediciones precisas de la FC son esenciales para la seguridad del paciente; sin embargo, el reloj se puede utilizar en entornos donde la frecuencia cardíaca menos precisa no es fundamental para la seguridad de una persona mientras hace ejercicio.
(Hernández-Vicente et al., 2021)	Polar h7.	67 personas.	Validez del sensor de frecuencia cardíaca Polar H7 para el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio en diferentes grupos de edad, composición corporal y nivel de condición física.	El protocolo consistió en la realización de 3 segmentos consecutivos: reposo (SREST), ciclismo (SCY) y recuperación (SREC). Durante SREST, los voluntarios fueron monitoreados mientras estaban sentados en reposo durante 5 minutos, seguidamente el sujeto se montó en el cicloergómetro con freno eléctrico a 50 W carga de trabajo y eligió una cadencia que se mantuvo durante toda la prueba de acuerdo con la carga de trabajo, SCY fue una prueba submáxima en cicloergómetro dividida en tres etapas de 5 minutos de duración cada una, al 60,70 y 80% de la FC máxima.	La evaluación de la FC y la VFC en una muestra relativamente grande y heterogénea ha confirmado que PolarH7 puede medir con precisión la FC media y las oscilaciones de baja frecuencia (hasta 0,15 Hz) de la FC en reposo y durante el ejercicio. Sin embargo, existe desacuerdo entre PolarH7 y ECG al evaluar las oscilaciones de frecuencia cardíaca de alta frecuencia durante el ejercicio de intensidad moderada a alta. El análisis de agrupamiento muestra que la concordancia entre PolarH7 y los dispositivos de ECG varía dependiendo de las características de los sujetos en cuanto a edad, composición corporal y nivel de condición física.
(Navalta et al., 2023)	Polar Verity Sense y OH1.	17 personas.	Validez y fiabilidad de los dispositivos portátiles Polar Verity Sense y OH1 usados en bíceps midiendo FC.	Se pidió a los participantes que completaran una carrera de ida y vuelta a su propio ritmo en el sendero Thunderbird Gardens Lightning Switch en Cedar City, UT. Los participantes corrieron por el sendero durante 10 minutos en una dirección generalmente cuesta arriba y luego regresaron al comienzo del sendero.	El Polar Verity Sense cumplió con los umbrales de confiabilidad ($CV < 5\%$, $ICC > 0,7$) y validez ($MAPE < 5\%$, $CCC > 0,9$) en todos los casos. El OH1 alcanzó los umbrales de confiabilidad en todos los casos excepto en el promedio de la sesión completa ($ICC = 0,57$). El OH1 cumplió el umbral de validez MAPE en todos los casos (3,3-4,1%), pero no el CCC (0,6-0,86).
(Jo et al., 2016)	Basis Peak (BPK) y Fitbit Charge HR (FB).	24 adultos jóvenes.	Validación y comparación de la FC del Basis Peak y Fitbit con un ECG en actividades físicas.	Cada participante completó un período de descanso inicial de 15 minutos seguido de períodos de 5 minutos de cada una de las siguientes actividades: ciclismo de 60W y 120W, caminar, trotar, correr, elevaciones de brazos resistidas, estocadas resistidas y plancha isométrica. Entre cada tarea de ejercicio hubo un período de descanso de 5 minutos.	Al examinar los datos en conjunto, hubo una fuerte correlación entre la BPK y el ECG para la FC ($r = 0,92$, $p < 0,001$) con un sesgo medio de -2,5 ppm (95 % LoA 19,3, -24,4). El FB demostró una correlación moderadamente fuerte con el ECG para la FC ($r = 0,83$, $p < 0,001$) con un sesgo medio promedio de -8,8 ppm (95 % LoA 24,2, -41,8). Durante los esfuerzos físicos que provocaron FC en el ECG > 116 ppm, la BPK demostró un $r = 0,77$ y un sesgo medio = -4,9 ppm (95% LoA 21,3, -31,0), mientras que el FB demostró un $r = 0,58$ y un sesgo medio = -12,7 ppm (95 % LoA 28,6, -54,0). La BPK cumplió con los criterios de validez para los monitores de FC, el FB no cumplió con los criterios de validez.
(Nissen et al., 2022)	Fitbit Charge 4 y Samsung Galaxy Watch Active2.	23 personas.	Comparación con ECG de la FC en actividad física.	El protocolo consistió en la realización de 5 fases de ejercicio, 2 fases de ejercicio de baja intensidad y 3 de alta intensidad, con una duración promedio de 19 minutos y 27 segundos.	El Fitbit Charge 4 subestimó ligeramente la frecuencia cardíaca, mientras que el Samsung Galaxy Watch Active2 la sobreestimó (-1,66 latidos por minuto [ppm]/3,84 ppm). El Fitbit Charge 4 logró un error absoluto medio más bajo durante el reposo y las actividades sedentarias, mientras que el Samsung Galaxy Watch Active2 tuvo un mejor rendimiento durante y después de actividades de baja y alta intensidad. A lo largo de todo el procedimiento experimental, ambos dispositivos lograron resultados de apenas <10% MAPE y, por lo tanto, presentaron capacidades aceptables de medición de la FC.
(Stahl et al., 2016)	Scosche Rhythm (SR), Mio Alpha (MA), Fitbit Charge HR (FH), Basis Peak (BP), Microsoft Band (MB) y TomTom Runner Cardio (TT).	50 personas.	Validez y precisión para medir la FC mientras realizan la actividad de caminar y correr.	Se completó un protocolo en cinta rodante de una serie de 30 minutos de caminata y carrera continuas a 3,2, 4,8, 6,4, 8,0 y 9,6 km/h (5 minutos a cada velocidad del protocolo) con la FC registrada manualmente cada minuto.	Para las comparaciones de grupos, los valores de error porcentual absoluto medio fueron: 3,3%, 3,6%, 4,0%, 4,6%, 4,8% y 6,2% para TT, BP, RH, MA, MB y FH, respectivamente. Se observó el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson (r): $r = 0,959$ (TT), $r = 0,956$ (MB), $r = 0,954$ (BP), $r = 0,933$ (FH), $r = 0,930$ (RH) y $r = 0,929$ (MAMA). Los resultados de las pruebas de equivalencia del 95% mostraron que los monitores eran equivalentes a los del criterio FC. Los resultados demuestran que los rastreadores de actividad portátiles proporcionan una medición precisa de la frecuencia cardíaca durante las actividades de caminar y correr.
(Gorny et al., 2017)	Fitbit Charge HR.	10 personas.	Precisión y sensibilidad para medir la frecuencia cardíaca mientras se realiza actividad física moderada a vigorosa (MVPA) en condiciones de vida libre.	Se pidió a los 10 participantes que usaran los 3 dispositivos durante al menos 3 y como máximo 6 horas continuas de actividades sin dormir. Se les animó a continuar con sus actividades habituales, excluidos los deportes acuáticos.	El ICC general que compara las medidas de Fitbit fue de 0,83 (IC del 95 %: 0,63 a 0,91). En promedio, el rastreador Fitbit subestimó las medidas de frecuencia cardíaca en -5,96 ppm (error estándar, SE=0,18). En la zona de frecuencia cardíaca de baja intensidad, la subestimación fue menor: -4,22 ppm (SE = 0,15). Esta subestimación creció a -16,2 ppm (SE=0,74) en la zona de frecuencia cardíaca MVPA.
(Navalta et al., 2020)	Reloj de pulsera Garmin Fenix 5, Auriculares Jabra Elite Sport, Anillo Motiv, Banda para el antebrazo Scosche Rhythm+, Reloj Suunto Spartan Sport.	21 personas.	Comparación de la precisión para medir la FC con la banda de pecho polar H7.	Los participantes realizaron una carrera de montaña de 3,6 km, los primeros 1,8 km cuesta arriba y los siguiente de vuelta fueron cuesta abajo.	Las medidas de validez generales son las siguientes: Garmin Fenix 5 (MAPE = 13 %, LOA = -32 a 162, r C = 0,32), Jabra Elite Sport (MAPE = 23 %, LOA = -464 a 503, r C = 0,38), Anillo Motiv (MAPE = 16 %, LOA = -52 a 96, r C = 0,29), Scosche Rhythm+ (MAPE = 6 %, LOA = -114 a 120, r C = 0,79), Suunto Spartan Sport (MAPE = 2 %, LOA = -62 a 61, r C = 0,96). Todos los dispositivos basados en fotopleiografía (PPG) mostraron una mala concordancia de la frecuencia cardíaca durante la carrera de senderos de intensidad variable excepto el reloj de pulsera (Suunto Spartan Sport) que proporcionaba una concordancia aceptable para la frecuencia cardíaca.
(Støve et al., 2019)	Gaarming Forerunner 235 (GF).	29 personas.	Validación del dispositivo para la evaluación de la frecuencia cardíaca durante el reposo y la actividad física.	La FC se midió con el (GF) durante el reposo y tres condiciones de ejercicio submáximo; andar en bicicleta, caminar en cinta rodante, correr y movimientos rápidos de brazos. El GF tuvo una alta concordancia con el PL durante el reposo ($r = 0,997$), ciclismo a 150 W (Rho = 0,889), carrera en cinta a 8,7 km/h ($r = 0,906$) y 12,1 km/h ($r = 0,845$).	El resultado actual indica que el GF generalmente subestimó el HR en comparación con la medida de criterio, El GF tuvo una alta concordancia durante el reposo ($r = 0,997$), ciclismo a 150 W (Rho = 0,889), carrera en cinta a 8,7 km/h ($r = 0,906$) y 12,1 km/h ($r = 0,845$). El presente estudio demostró que el Garmin Forerunner 235 produjo medidas válidas de FC durante el descanso, la carrera en cinta, el movimiento rápido del brazo y el ciclismo a 150 W, aunque los resultados varían según las condiciones e intensidad del ejercicio y la latencia de la medición puede afectar potencialmente su aplicación.

(Gigen-Ammann et al., 2021)	Un sistema ActiHeart, Everion, MetaMax 3B, Garmin Fenix 3, Hidalgo EQ02 y PADIS 2.0.	23 participantes masculinos.	Validación de dispositivos de monitorización ambulatoria para medir el gasto energético y la frecuencia cardíaca en un entorno militar.	Veintitrés participantes masculinos que cumplían su servicio militar obligatorio realizaron, en primer lugar, nueve actividades militares específicas diferentes en interiores y, en segundo lugar, una rutina militar normal al aire libre.	Los resultados indicaron que la evaluación de la FC osciló entre $-0,1 (\pm 2,1)$ b.min -1 y $0,8 (\pm 3,0)$ b.min -1 para los sistemas PADIS 2.0 y ActiHeart, respectivamente. Todos los dispositivos investigados informaron un MAPE general $<1,4$ % en la evaluación de FC. El presente estudio demostró una validez excelente en todos los dispositivos investigados en términos de evaluación de FC.
(Paradiso et al., 2020)	Xiaomi Mi band2.	14 personas.	La validez y confiabilidad del dispositivo portátil Mi Band para medir pasos y frecuencia cardíaca.	Los participantes completaron una prueba de 6MWT en un recorrido interior de 30 metros que estaba marcado en el suelo con cinta adhesiva y conos muy visibles. Después de la 6MWT, se invitó a los participantes a completar la prueba de caminata en cinta rodante a tres velocidades diferentes: 1,28 km/h, 1,92 km/h, y 2,88 km/h. Al finalizar la prueba en cinta rodante, los participantes realizaron una prueba de subir escaleras. Los participantes debían subir y bajar dos tramos de escaleras tres veces consecutivas.	Los ICC para medir la frecuencia cardíaca usando Mi Bands durante el reposo (ICC: supino = 0,72; sentado = 0,69) fueron mayores en comparación con las condiciones de ejercicio (ICC: Bicicleta a 0,5 kpm = 0,47; Bicicleta a 1,0 kpm = 0,66; Bicicleta a 1,5 kpm = 0,67 y Bicicleta a 2,0 kpm = 0,71). La menor fiabilidad de Mi Band 2 para medir la frecuencia cardíaca durante el ejercicio que en reposo puede deberse a que la fotoplethismografía no mide directamente la frecuencia cardíaca sino la tasa de perfusión de la piel. Por lo tanto, Mi Band puede requerir mejores algoritmos para medir los cambios en la perfusión de la piel durante el ejercicio.
(Cai et al., 2022)	Pulsera lexin MIO.	65 personas.	Validación del dispositivo para medir la FC mientras se realiza actividad física y si influye la mano dominante/no dominante.	La prueba consistió en 6 minutos corriendo al 30% VO2 máx, descanso 1 min, 6 minutos al 60% VO2 máx, un minuto descanso, 6 minutos al 90% Vo2 máx, y 10 minutos caminando a 3km/h.	En términos de confiabilidad de la medición de la FC, la pulsera inteligente Mio mostró una buena confiabilidad en una prueba izquierda versus derecha y una buena confiabilidad test-retest ($p > 0,05$; error porcentual absoluto medio (MAPE) $< 10\%$; coeficiente de correlación intraclase (ICC) $> 0,4$), en cuanto a la validez, la pulsera inteligente Mio mostró buena validez para la medición de la FC ($p > 0,05$; MAPE $< 10\%$; ICC $> 0,4$). La pulsera inteligente Mio mostró una buena validez para la medición de la FC. Sin embargo, a medida que aumentó el nivel de actividad física, su validez disminuyó ligeramente; la validez fue relativamente pobre a alta intensidad.
(Wang et al., 2023)	Pulsera Q-Band Q-69.	20 personas.	Validación del dispositivo para medir la FC mientras se realiza actividad física.	Los participantes realizaron una carrera de 1600 metros.	Los resultados mostraron que, durante la fase de carrera, el MAPE para mujeres se registró en 13.35 (SD 13.47). En cambio, para los hombres, el MAPE fue más bajo, 8,54 (DE 10,49). En la condición de caminar, el MAPE para las mujeres fue de 7,79 (DE 8,59), mientras que para los hombres fue mayor, de 10,65 (DE 16,55). En particular, en todos los demás estados de actividad evaluados, el MAPE de la pulsera se mantuvo constantemente por debajo del 10%, lo que indica un nivel generalmente alto de precisión en estas condiciones. Se observó notablemente una precisión reducida durante la carrera. Los hallazgos enfatizan las limitaciones y posibles imprecisiones de la tecnología portátil, especialmente en actividades físicas de alta intensidad.
(Navalta et al., 2020)	Sujetador deportivo Adidas Smart, el sujetador deportivo Berlei y el sujetador deportivo biométrico Sensoria Fitness.	24 mujeres.	Validación del dispositivo para medir la FC mientras se realiza actividad física en tres sujetadores deportivos disponibles comercialmente al caminar y correr.	Los sujetos realizaron dos veces un protocolo de ejercicio al aire libre que incluía trotar a ~ 8 km/h (10 min), subir y bajar escaleras (1 min), caminata nórdica (4 min), ejercicio de la parte superior del cuerpo (tocar los dedos de los pies y las manos hacia arriba; 1 min.) y rotación de la parte superior del cuerpo con bastón en los hombros (1 min), con un total de 20 min.	El sujetador deportivo Adidas Smart fue válido solo durante el descanso (coeficiente de correlación intraclase [ICC] = 0,79, error porcentual absoluto medio [MAPE] = 4,5%, límites de concordancia [LoA] = -8 a 8). El sujetador deportivo Berlei fue válido en todas las condiciones (ICC = 0,99, MAPE = 0,66 %, LoA = -19 a 19), y el sujetador biométrico Sensoria fue válido durante el reposo y la caminata (ICC = 0,96, MAPE = 1,9 %, LoA = -15 a 12). Los fabricantes de sujetadores deportivos que diseñan prendas con tecnología portátil deben considerar la capacidad de devolver datos biométricos precisos y al mismo tiempo proporcionar la función y la comodidad necesarias a las mujeres que realizan actividad física.
(Giggins et al., 2022)	El Withings ScanWatch.	7 personas.	La precisión de las mediciones de FC producidas por Withings ScanWatch durante actividades de vida libre.	El protocolo consistió en que los participantes usaran el ScanWatch durante un periodo de 12 horas en su muñeca no dominante mientras realizaban sus actividades diarias.	En todos los dominios de actividad, ScanWatch midió la FC con valores MAPE $<10\%$, excepto en el dominio de actividad de compras (MAPE=10,8%). Los dominios de actividad que eran de naturaleza más sedentaria (p. ej., trabajo de escritorio, comer o beber y sentarse) produjeron las mediciones de FC más precisas con un pequeño sesgo medio y valores MAPE $<5\%$. Se observaron correlaciones de moderadas a fuertes (CCC=0,526-0,783) entre dispositivos para todos los dominios de actividad, excepto durante el dominio de actividad de caminar, que demostró una correlación débil (CCC=0,164) entre los dispositivos. En general, el ScanWatch fue menos preciso al medir la FC durante actividades ambulatorias (p. ej., caminar, jardinería y actividades domésticas) en comparación con actividades más sedentarias (p. ej., trabajar en el escritorio, comer o beber y sentarse).
(Passler et al., 2019)	El Dash Pro y el CosinusOne.	20 personas.	Validación de los dispositivos fotoplethismográficos (PPG) de medición de la frecuencia del pulso (PR).	El protocolo comenzó con una medición de descanso de 10 minutos en posición acostada, se realizó un calentamiento de 3 minutos pedaleando a 50 W. A continuación, se inició la prueba. El número de vatios por kilogramo de peso corporal por minuto aumentó uniformemente en 0,4 W y 0,3 W en sujetos masculinos y femeninos, respectivamente, a partir de 50 W. Para garantizar que los participantes no se detuvieran prematuramente debido al agotamiento máximo, la duración del protocolo se fijó en 20 minutos.	Ambos dispositivos alcanzaron un MAPE $\leq 5\%$. A pesar de niveles de concordancia excelentes a buenos, los gráficos de Bland-Altman mostraron que ambos dispositivos inaudidos tienden a subestimar ligeramente los valores de FC del ECG. Se puede concluir que la medición de PPG PR en oído es una técnica prometedora que muestra resultados precisos pero imprecisos en condiciones controladas. Sin embargo, la medición de PPG PR en el oído es sensible a los artefactos de movimiento. Por lo tanto, la exactitud y precisión de la PR medida dependen en gran medida del lugar de medición, la situación de estrés y el ejercicio.
(Sun et al., 2020)	Pulsera inteligente FIZZO.	35 personas.	La confiabilidad y validez de la pulsera inteligente Fizzo (Fizzo) para medir la frecuencia cardíaca (FC) en el laboratorio y durante las lecciones de educación física.	en el estudio 1, completaron dos veces una prueba que implicaba correr en una cinta rodante a 6 km/h durante 12 minutos y a 12 km/h durante 5 minutos. En el Estudio 2, visitamos 10 escuelas y medimos la FC de 24 estudiantes (edad media 14,0 años, IQR 2,0 años) durante las clases de educación física.	El Fizzo mostró una confiabilidad y validez excelentes en el laboratorio y una validez moderada en una lección de educación física. En el Estudio 1, la confiabilidad fue excelente (ICC $>0,97$; MD $<0,7$; SEM $<0,56$; MAPE $<1,45\%$). La validez determinada comparando el Fizzo de muñeca izquierda y Fizzo de muñeca derecha fue excelente (ICC $>0,98$; MAPE $<1,85\%$). Los gráficos de Bland-Altman mostraron una fuerte correlación entre las mediciones de Fizzo en la muñeca izquierda (sesgo = 0,48, LOA = $-3,94$ a 4,89 latidos por minuto) y las mediciones de Fizzo en la muñeca derecha (sesgo = 0,56, LOA = $-4,60$ a 5,72 latidos por minuto). En el Estudio 2, la validez del Fizzo fue menor en comparación con la encontrada en el Estudio 1, pero aún moderada (ICC $>0,70$; MAPE $<9,0\%$). El Fizzo mostró una LOA más amplia en los gráficos de Bland-Altman durante las lecciones de educación física (sesgo = $-2,60$, LOA = $-38,89$ a 33,69 latidos por minuto).

3.2. Evaluación del riesgo de sesgo.

Para la valoración de la calidad de los artículos incluidos en la revisión sistemática, se utilizará la evaluación STROBE, la cual es utilizada para evaluar el sesgo metodológico de los artículos elegibles siguiendo la adaptación de (O'Reilly et al., 2018). Cada uno de los artículos incluidos recibió una puntuación de diez ítems. Cada estudio fue calificado cualitativamente siguiendo la metodología de (O'Reilly et al., 2018), la cual califica de la siguiente manera: de 0 a 6 puntos, el estudio se consideró con riesgo de sesgo (baja calidad), y, de 7 a 10 puntos, el estudio se consideró con bajo riesgo de sesgo (alta calidad). Los resultados de aplicar esta evaluación fueron muy satisfactorios, solo un artículo de los evaluados recibió la calificación de baja calidad, a continuación, se presenta los resultados de esta evaluación, así como la explicación de cada ítem evaluado.

Referencia	Ítems										Calidad
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
(Dükin et al., 2020)	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	Alta
(Thomson et al., 2019)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
(Khushhal et al., 2017)	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	Baja
(Støve et al., 2022)	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	Alta
(Abt et al., 2018)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
(Chow et al., 2020)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Budig et al., 2021)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
(Carrier et al., 2023)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
(Hettiarachchi et al., 2019)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Schaffarczyk et al., 2022)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
(Hermant et al., 2019)	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	Alta
(Hernando et al., 2018)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Olstad, B. H., & Zinner, C. (2020))	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	Alta
(Muggeridge et al., 2021)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Shumate et al., 2021)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Hernández-Vicente et al., 2021)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Navalta et al., 2023)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta

(Jo et al., 2016)	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	Alta
(Nissen et al., 2022)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Stahl et al., 2016)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
(Gorny et al., 2017)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
(Navalta et al., 2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	Alta
(Støve et al., 2019)	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	Alta
(Gilgen-Ammann et al., 2021)	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	Alta
(Paradiso et al., 2020)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Cai et al., 2022)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Wang et al., 2023)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Navalta et al., 2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
(Giggins et al., 2022)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
(Passler et al., 2019)	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	Alta
(Sun et al., 2020)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta

Descripción de los ítems:

- Ítem 1: Proporcione en el resumen un resumen informativo y equilibrado de lo que se hizo y lo que se encontró.
- Ítem 2: Proporcione objetivos específicos del estado, incluida cualquier hipótesis preespecificada.
- Ítem 3: Proporcione los criterios de elegibilidad y las fuentes y métodos de selección de los participantes.
- Ítem 4: Para cada variable de interés, proporcione fuentes de datos y detalles de los métodos de evaluación (medición). Describa la comparabilidad de los métodos de evaluación si hay más de un grupo.
- Ítem 5: Explique cómo se manejaron las variables cuantitativas en los análisis. Si corresponde, describa qué agrupaciones se eligieron y por qué.
- Ítem 6: Indique las características de los participantes del estudio.
- Ítem 7: Resumir los resultados clave con referencia a los objetivos del estudio, discutir las limitaciones del estudio, considerando fuentes de posible sesgo o imprecisión.
- Ítem 8: Discuta tanto la dirección como la magnitud de cualquier sesgo potencial.
- Ítem 9: Dar una interpretación general cautelosa de los resultados considerando los objetivos, las limitaciones, la multiplicidad de análisis, los resultados de estudios similares y otras pruebas relevantes.
- Ítem 10: Indique la fuente de financiación y el papel de los financiadores para el presente estudio y, si corresponde, para el estudio original en el que se basa el presente artículo.

4. Discusión.

El objetivo de esta revisión sistemática fue evaluar la validez y fiabilidad de los wearables para medir frecuencia cardíaca mientras se realiza actividad física, esta revisión incluyó wearables de x marcas diferentes, lo cual es interesante para poder comparar entre ellas y establecer que dispositivos son más adecuados para su uso en los entrenamientos, esto también nos permite discutir que dispositivos son más adecuados en relación calidad-precio, en este ámbito existen revisiones recientes las cuales también evaluaban la validez y fiabilidad de estos dispositivos [41] [42], pero una de las limitaciones de estas revisiones fue que no se detallaron los protocolos de cada artículo para realizar las mediciones, así como tampoco se informó de la precisión de estos dispositivos según el tipo de actividad física que se realice así como de su intensidad.

Las marcas de los dispositivos que más se han investigado mientras se ha realizado actividad física han sido Apple, Garming, Fitbit y Polar, el Apple Watch en todas sus versiones mostró unos resultados excelentes en comparación con otros dispositivos mientras se realizaban actividades físicas de actividad ligera, mostrando correlaciones >0.9 [12] [13] [14], excepto en algunas investigaciones donde los resultados fueron muy buenos [15] [16].

Polar mostró muy buenos resultados en todos sus modelos dando siempre unos resultados de correlaciones $>0,9$ [12] [20] [21] [22] [26], excepto en algunos estudios [19] [23], en los cuales los resultados no fueron excelentes pero sí que fueron buenos, en bastantes investigaciones, los investigadores definieron como criterio de referencia la marca polar, específicamente los modelos que se colocan en el pectoral como banda de frecuencia cardíaca [17] [18] [24] [25], un estudio hace especial hincapié en que los resultados de las evaluaciones pueden estar afectadas según las características de los sujetos en cuanto a edad, composición corporal y nivel de condición física [27].

Garming obtuvo muy buenos resultados en todas las mediciones, mostrando mayor ICC en personas jóvenes que en adultos y personas mayores [17], los resultados de esta marca indican que los dispositivos tienden a subestimar la FC respecto al criterio de referencia, así como un incremento de la tasa de error a medida que se aumenta la intensidad de la actividad física [17] [15].

Fitbit también obtuvo buenos resultados en todas las evaluaciones de los diferentes modelos de dispositivos, mostrando siempre un ICC >0.8 , y con un MAPE inferior al 10% [30] [32].

Los wearables mostraron diferentes resultados según el nivel de intensidad de la actividad física en la cual se evaluaron, a medida que se incrementa la intensidad de la actividad física, el porcentaje y el tamaño del error se incrementa [13] [17] [21] [27] [29] [32] [35] [43], dando como resultado una menor validez de estos dispositivos, aun así los dispositivos consiguen mantener una adecuada validez para controlar la frecuencia cardíaca en estas condiciones, las actividades físicas sedentarias o de bajo nivel de intensidad obtienen unos resultados excelentes como puede ser caminar, ir a la compra, limpieza del hogar... [14], un estudio reveló que cuando las actividades superan el 60% Vo2 máximo [23], la precisión de los dispositivos disminuye, al igual que cuando se trata de realizar actividades de alta intensidad de tipo intermitente [25], como pueden ser unos sprints repetidos, la tasa de error aumenta y por lo tanto disminuye la validez de los dispositivos para la medición de la frecuencia cardíaca.

El entorno donde se realiza la evaluación de los wearables también influye en los resultados, los protocolos que se llevan a cabo en entornos controlados, como puede ser una prueba realizada en un laboratorio clínico, tienen mejores resultados de validez, precisión y fiabilidad de los dispositivos para la evaluación de la frecuencia cardíaca mientras se realiza actividad física, en cambio, cuando los protocolos de medición se realiza en entornos no controlados, como puede ser una instalación al aire libre, pista deportiva y/o de competición, los resultados no son tan buenos, cuando la actividad física se desarrolla en un medio acuático como puede ser la natación, el resultado indica un menor ICC y un MAPE mayor [18], en los deportes al aire libre como puede ser una carrera al aire libre, también refleja unos resultados no tan buenos como si se realizara la prueba en un entorno controlado [33], otra investigación comparo el mismo dispositivo en un entorno controlado (laboratorio clínico) y en un entorno no controlado (clase de educación física en adolescentes), aportando unos resultados diferentes, los resultados del entorno no controlado mostraron un ICC menor y una tasa de error mayor en la medición de la frecuencia cardíaca mientras se realiza actividad física [44].

En esta revisión existe una gran cantidad que evalúan la validez de los wearables pero son escasas las investigaciones acerca de la fiabilidad de estos dispositivos, dentro de las investigaciones encontradas y examinadas, las evaluaciones de fiabilidad que se realizaron en los dispositivos, se llevaron a cabo en las mismas personas colocando el mismo modelo de dispositivo en diferentes muñecas, obteniéndose resultados de ICC y de correlación de Pearson que variaron desde 0,7 hasta 0,99 [37] y un ICC desde 0,81 hasta 0,97 [14].

Según la localización de los wearables en las diferentes partes del cuerpo, se obtienen diferentes resultados a la hora de evaluar la precisión de los dispositivos, una investigación concluyo que los wearables son más precisos y validos cuando se colocan en la zona de la muñeca que en cualquier otra parte del cuerpo [19], otro estudio concluyo que las actividades físicas que requieren un mayor movimiento de las extremidades superiores del cuerpo, tienden a tener una tasa de error mayor que las actividades físicas que no requieren tanto movimiento de las extremidades superiores [22], una investigación concluyo que el dispositivo colocado en el bíceps (OH1) obtuvo unos resultados buenos en cuanto a validez y fiabilidad pero no cumplió con el CCC adecuado en el promedio de toda la sesión de actividad física [28], los dispositivos que son colocados en la zona de la sien, obtuvieron muy buenos resultados en cuanto a validez, fiabilidad y coeficientes de correlación con el criterio de referencia establecido [24], sin embargo, otra investigación contradice estos resultados, concluyendo que la zona de la sien es la zona que más tasa de error reflejaba respecto a otras localizaciones en el cuerpo de los sujetos de estudio [20].

Respecto a las novedades de los wearables en el mercado, se encuentra los wearables que se colocan en la región auricular, cuyos resultados son prometedores, una investigación mostro unos resultados muy buenos [43], donde se cumplieron los objetivos de validación y donde se obtuvo un MAPE aceptable, sin embargo, estos dispositivos son sensibles al movimiento, por lo que los resultados de la evaluación dependen en gran medida del contexto y del tipo de actividad física que se realice.

Con respecto a la validez de estos dispositivos para medir frecuencia cardíaca en actividades físicas de una intensidad elevada, todos los estudios concluyen que a medida que se aumenta la intensidad de la actividad, disminuye la precisión y validez de los mismos, se incrementa el porcentaje y el tamaño del error respecto al criterio de referencia.

5. Limitaciones e investigación futura.

Esta revisión sistemática no estuvo exenta de limitaciones, una de las limitaciones de esta revisión fue que existía una gran variabilidad en el tamaño de los sujetos de estudio en las investigaciones realizadas, encontrando estudios donde existía un gran número de participantes y otros donde la participación fue escasa, otra limitación fue la falta de transparencia en el procesamiento y análisis de datos de los dispositivos utilizados en las investigaciones, es decir, la mayoría de los estudios no proporcionaban una descripción detallada de los algoritmos que poseen los dispositivos para procesar y analizar los datos recibidos, esto puede ser un impedimento para poder sacar conclusiones acerca de la validez e fiabilidad de los mismos y para poder comparar entre diferentes dispositivos e investigaciones, como ultima limitación del estudio a destacar, se destaca que la tecnología de estos dispositivos evoluciona rápidamente, desarrollando nuevas formas de procesar la información y nuevas funciones de los mismos, aunque los años de publicación de las investigaciones incluidas en esta revisión sean recientes, hay que tener en cuenta que estas investigaciones se basaron en los dispositivos y las tecnologías disponibles en el momento de su realización, esto puede llevar a cabo que los resultados obtenidos de estos estudios no sean relevantes para los dispositivos y tecnologías que se usan en la actualidad.

Como aspectos a tener en cuenta para investigaciones futuras, se destaca que una de ellas puede ser la diferente localización de los dispositivos, lo cual nos aporta resultados sobre qué zona es más válida para la utilización de los mismos, también debido a que la tecnología avanza vertiginosamente, esta nos aporta constantemente nuevos procesamiento de algoritmos de los dispositivos así como nuevas zonas para su localización, como puede ser la región auricular, la zona de la sien y zona de los dedos, donde aún no se tiene la suficiente información como para poder confirmar que estas nuevas zonas son válidas para la utilización de los dispositivos.

6. Propuesta de intervención.

Una vez finalizada la revisión la revisión y teniendo en cuenta las conclusiones a las que se ha llegado y las limitaciones de los estudios evaluados, se procede a realizar una propuesta de intervención para subsanar todos los inconvenientes mencionados anteriormente.

La propuesta de intervención consiste inicialmente en establecer unos criterios para realizar la medición de los dispositivos mientras se realiza actividad física, para ello se les pasara un cuestionario inicial a los posibles sujetos de participar en el estudio, en el cual se descarte que los sujetos padecen alguna enfermedad o patología que pueda influir en los resultados.

Seguidamente se establece un mínimo de sujetos de estudios, en este caso será de 30 personas, debido a que la gran mayoría de los estudios incluidos en esta revisión no llegaban a este numero de personas, también se establece que un 40% de la participación debe perteneces al sexo femenino, para así poder comparar diferencias entre géneros.

Una vez establecidos los sujetos que participaran en el estudio, se realizara una prueba de esfuerzo en un laboratorio en una cinta rodante, esto definirá los umbrales de cada sujeto, con los cuales después se prescribirá la intensidad de trabajo, esto se realiza para poder asegurar que todos los participantes entrenaron al mismo nivel de intensidad y poder comparar los resultados de una manera más exacta.

Debido a que se han encontrado pocos estudios donde se evalúe la fiabilidad Inter dispositivo en la misma persona de un mismo dispositivo, en el protocolo se utilizaran los dispositivos que se colocan en la muñeca, se utilizara el mismo modelo tanto en la muñeca derecha como izquierda, para así

poder comparar entre dispositivos, como criterio de referencia se utilizará el ECG (electrocardiograma).

A continuación, se pasa a detallar el protocolo:

Gracias a la realización de la prueba de esfuerzo, se pudo delimitar los umbrales ventilatorios, el protocolo consistió en realizar ejercicio a tres diferentes intensidades, la primera situada antes del primer umbral ventilatorio o también denominado umbral aeróbico, la segunda situada entre umbrales ventilatorios, y la última zona de intensidad situada por encima del segundo umbral ventilatorio o también llamado umbral anaeróbico.

Como hemos mencionado anteriormente, el protocolo consistiría en una visita de un día al laboratorio, donde la prueba de evaluación para medir la fiabilidad y validez del dispositivo mientras se realiza actividad física se realizaría en una cinta rodante a diferentes velocidades, a continuación, se detallan las tres partes de la prueba:

- El calentamiento consistirá en realizar 10 minutos a una velocidad en la cual los sujetos se encuentren cómodos.
- Primera parte: consistirá en realizar 10 minutos a una velocidad que se ajuste con el 50% VO₂ máx.
- Segunda parte: consistirá en realizar 10 minutos a una velocidad que se ajuste con el 75% VO₂ máx.
- Tercera parte: consistirá en realizar 3 minutos a una velocidad que se ajuste con el 95% VO₂ máx.

Entre la terminación de una parte y el comienzo de la siguiente se dejará a los participantes un tiempo de reposo con una duración de 20 minutos.

7. Conclusión.

Esta revisión incluyó 31 estudios, dentro de los cuales 27 evaluaron la validez de los wearables para medir la frecuencia cardíaca mientras se realiza actividad física y 4 estudios evaluaron la fiabilidad de los dispositivos.

Las marcas más estudiadas fueron Polar, Fitbit y Apple, donde la gran mayoría cumplía las condiciones establecidas de validez y fiabilidad tanto intra como inter dispositivos, respecto a los resultados de los wearables para medir la frecuencia cardíaca mientras se realiza actividad física, se destaca que estos tienen a subestimar la frecuencia cardíaca en general, sin embargo, cuando se evaluó en condiciones de reposo o actividad física de baja intensidad son muy válidos, sin embargo, a medida que aumenta la intensidad de la actividad tienen mayor tasa de error.

Respecto a el contexto y a la ubicación del dispositivo donde se evaluaban las mediciones, las mediciones realizadas en entornos no controlados aportaban mayor tasa de error, así como las evaluaciones donde el dispositivo era colocado en la zona de la muñeca eran las que menor tamaño de error presentaban.

Como conclusión final se destaca que los dispositivos incluidos en esta revisión cumplen con las condiciones en mayor o menor medida de validez y fiabilidad para medir la frecuencia cardíaca mientras se realiza actividad física.

8. Bibliografia

1. Lobelo, F., Kelli, H. M., Tejedor, S. C., Pratt, M., McConnell, M. V., Martin, S. S., & Welk, G. J. (2016). The Wild Wild West: A Framework to Integrate mHealth Software Applications and Wearables to Support Physical Activity Assessment, Counseling and Interventions for Cardiovascular Disease Risk Reduction. *Progress in cardiovascular diseases*, 58(6), 584–594. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2016.02.007>
2. Cao, R., Azimi, I., Sarhaddi, F., Niela-Vilen, H., Axelin, A., Liljeberg, P., & Rahmani, A. M. (2022). Accuracy Assessment of Oura Ring Nocturnal Heart Rate and Heart Rate Variability in Comparison With Electrocardiography in Time and Frequency Domains: Comprehensive Analysis. *Journal of medical Internet research*, 24(1), e27487. <https://doi.org/10.2196/27487>
3. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in public health*, 5, 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
4. Kim, H. G., Cheon, E. J., Bai, D. S., Lee, Y. H., & Koo, B. H. (2018). Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry investigation*, 15(3), 235–245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>
5. Mann, T., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2013). Methods of prescribing relative exercise intensity: physiological and practical considerations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(7), 613–625. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0045-x>
6. Mota, G. A. F., Gatto, M., Pagan, L. U., Tanni, S. E., & Okoshi, M. P. (2023). Diabetes Mellitus, Physical Exercise and Heart Rate Variability. *Diabetes Mellitus, Exercício Físico e Variabilidade da Frequência Cardíaca. Arquivos brasileiros de cardiologia*, 120(1), e20220902. <https://doi.org/10.36660/abc.20220902>
7. Burton, A. R., Rahman, K., Kadota, Y., Lloyd, A., & Vollmer-Conna, U. (2010). Reduced heart rate variability predicts poor sleep quality in a case-control study of chronic fatigue syndrome. *Experimental brain research*, 204(1), 71–78. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2296-1>
8. Dalmeida, K. M., & Masala, G. L. (2021). HRV Features as Viable Physiological Markers for Stress Detection Using Wearable Devices. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(8), 2873. <https://doi.org/10.3390/s21082873>
9. Breen, C. J., Kelly, G. P., & Kernohan, W. G. (2022). ECG interpretation skill acquisition: A review of learning, teaching and assessment. *Journal of electrocardiology*, 73, 125–128. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2019.03.010>
10. Raja, J. M., Elsagr, C., Roman, S., Cave, B., Pour-Ghaz, I., Nanda, A., Maturana, M., & Khouzam, R. N. (2019). Apple Watch, Wearables, and Heart Rhythm: where do we stand?. *Annals of translational medicine*, 7(17), 417. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.06.79>

11. Downs, S. H., & Black, N. (1998). The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *Journal of epidemiology and community health*, 52(6), 377–384. <https://doi.org/10.1136/jech.52.6.377>
12. Düking, P., Giessing, L., Frenkel, M. O., Koehler, K., Holmberg, H. C., & Sperlich, B. (2020). Wrist-Worn Wearables for Monitoring Heart Rate and Energy Expenditure While Sitting or Performing Light-to-Vigorous Physical Activity: Validation Study. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(5), e16716. <https://doi.org/10.2196/16716>
13. Thomson, E. A., Nuss, K., Comstock, A., Reinwald, S., Blake, S., Pimentel, R. E., Tracy, B. L., & Li, K. (2019). Heart rate measures from the Apple Watch, Fitbit Charge HR 2, and electrocardiogram across different exercise intensities. *Journal of sports sciences*, 37(12), 1411–1419. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1560644>
14. Khushhal, A., Nichols, S., Evans, W., Gleadall-Siddall, D. O., Page, R., O'Doherty, A. F., Carroll, S., Ingle, L., & Abt, G. (2017). Validity and Reliability of the Apple Watch for Measuring Heart Rate During Exercise. *Sports medicine international open*, 1(6), E206–E211. <https://doi.org/10.1055/s-0043-120195>
15. Støve, M. P., & Hansen, E. C. K. (2022). Accuracy of the Apple Watch Series 6 and the Whoop Band 3.0 for assessing heart rate during resistance exercises. *Journal of sports sciences*, 40(23), 2639–2644. <https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2180160>
16. Abt, G., Bray, J., & Benson, A. C. (2018). The validity and inter-device variability of the Apple Watch™ for measuring maximal heart rate. *Journal of sports sciences*, 36(13), 1447–1452. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1397282>
17. Chow, H. W., & Yang, C. C. (2020). Accuracy of Optical Heart Rate Sensing Technology in Wearable Fitness Trackers for Young and Older Adults: Validation and Comparison Study. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(4), e14707. <https://doi.org/10.2196/14707>
18. Budig, M., Keiner, M., Stoohs, R., Hoffmeister, M., & Höltnke, V. (2021). Heart Rate and Distance Measurement of Two Multisport Activity Trackers and a Cellphone App in Different Sports: A Cross-Sectional Validation and Comparison Field Study. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(1), 180. <https://doi.org/10.3390/s22010180>
19. Carrier, B., Salatto, R. W., Davis, D. W., Sertic, J. V. L., Barrios, B., McGinnis, G. R., Girouard, T. J., Burroughs, B., & Navalta, J. W. (2023). Assessing the Validity of Several Heart Rate Monitors in Wearable Technology While Mountain Biking. *International journal of exercise science*, 16(7), 1440–1450.
20. Hettiarachchi, I. T., Hanoun, S., Nahavandi, D., & Nahavandi, S. (2019). Validation of Polar OH1 optical heart rate sensor for moderate and high intensity physical activities. *PloS one*, 14(5), e0217288. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217288>

21. Schaffarczyk, M., Rogers, B., Reer, R., & Gronwald, T. (2022). Validity of the Polar H10 Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Resting State and Incremental Exercise in Recreational Men and Women. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(17), 6536. <https://doi.org/10.3390/s22176536>
22. Hermand, E., Cassirame, J., Ennequin, G., & Hue, O. (2019). Validation of a Photoplethysmographic Heart Rate Monitor: Polar OH1. *International journal of sports medicine*, 40(7), 462–467. <https://doi.org/10.1055/a-0875-4033>
23. Hernando, D., Garatachea, N., Almeida, R., Casajús, J. A., & Bailón, R. (2018). Validation of Heart Rate Monitor Polar RS800 for Heart Rate Variability Analysis During Exercise. *Journal of strength and conditioning research*, 32(3), 716–725. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001662>
24. Olstad, B. H., & Zinner, C. (2020). Validation of the Polar OH1 and M600 optical heart rate sensors during front crawl swim training. *PLoS one*, 15(4), e0231522. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231522>
25. Muggeridge, D. J., Hickson, K., Davies, A. V., Giggins, O. M., Megson, I. L., Gorely, T., & Crabtree, D. R. (2021). Measurement of Heart Rate Using the Polar OH1 and Fitbit Charge 3 Wearable Devices in Healthy Adults During Light, Moderate, Vigorous, and Sprint-Based Exercise: Validation Study. *JMIR mHealth and uHealth*, 9(3), e25313. <https://doi.org/10.2196/25313>
26. Shumate, T., Link, M., Furness, J., Kemp-Smith, K., Simas, V., & Climstein, M. (2021). Validity of the Polar Vantage M watch when measuring heart rate at different exercise intensities. *PeerJ*, 9, e10893. <https://doi.org/10.7717/peerj.10893>
27. Hernández-Vicente, A., Hernando, D., Marín-Puyalto, J., Vicente-Rodríguez, G., Garatachea, N., Pueyo, E., & Bailón, R. (2021). Validity of the Polar H7 Heart Rate Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Exercise in Different Age, Body Composition and Fitness Level Groups. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(3), 902. <https://doi.org/10.3390/s21030902>
28. Navalta, J. W., Davis, D. W., Malek, E. M., Carrier, B., Bodell, N. G., Manning, J. W., Cowley, J., Funk, M., Lawrence, M. M., & DeBeliso, M. (2023). Heart rate processing algorithms and exercise duration on reliability and validity decisions in biceps-worn Polar Verity Sense and OH1 wearables. *Scientific reports*, 13(1), 11736. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38329-w>
29. Jo, E., Lewis, K., Directo, D., Kim, M. J., & Dolezal, B. A. (2016). Validation of Biofeedback Wearables for Photoplethysmographic Heart Rate Tracking. *Journal of sports science & medicine*, 15(3), 540–547.
30. Nissen, M., Slim, S., Jäger, K., Flaucher, M., Huebner, H., Danzberger, N., Fasching, P. A., Beckmann, M. W., Gradl, S., & Eskofier, B. M. (2022). Heart Rate Measurement Accuracy of Fitbit Charge 4 and Samsung Galaxy Watch Active2: Device Evaluation Study. *JMIR formative research*, 6(3), e33635. <https://doi.org/10.2196/33635>

31. Stahl, S. E., An, H. S., Dinkel, D. M., Noble, J. M., & Lee, J. M. (2016). How accurate are the wrist-based heart rate monitors during walking and running activities? Are they accurate enough?. *BMJ open sport & exercise medicine*, 2(1), e000106. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2015-000106>
32. Gorny, A. W., Liew, S. J., Tan, C. S., & Müller-Riemenschneider, F. (2017). Fitbit Charge HR Wireless Heart Rate Monitor: Validation Study Conducted Under Free-Living Conditions. *JMIR mHealth and uHealth*, 5(10), e157. <https://doi.org/10.2196/mhealth.8233>
33. Navalta, J. W., Montes, J., Bodell, N. G., Salatto, R. W., Manning, J. W., & DeBeliso, M. (2020). Concurrent heart rate validity of wearable technology devices during trail running. *PLoS one*, 15(8), e0238569. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238569>
34. Støve, M. P., Haucke, E., Nymann, M. L., Sigurdsson, T., & Larsen, B. T. (2019). Accuracy of the wearable activity tracker Garmin Forerunner 235 for the assessment of heart rate during rest and activity. *Journal of sports sciences*, 37(8), 895–901. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1535563>
35. Gilgen-Ammann, R., Roos, L., Wyss, T., Veenstra, B. J., Delves, S. K., Beeler, N., Buller, M. J., & Friedl, K. E. (2021). Validation of ambulatory monitoring devices to measure energy expenditure and heart rate in a military setting. *Physiological measurement*, 42(8), 10.1088/1361-6579/ac19f9. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ac19f9>
36. Paradiso, C., Colino, F., & Liu, S. (2020). The Validity and Reliability of the Mi Band Wearable Device for Measuring Steps and Heart Rate. *International journal of exercise science*, 13(4), 689–701.
37. Cai, Y., Wang, Z., Zhang, W., Kong, W., Jiang, J., Zhao, R., Wang, D., Feng, L., & Ni, G. (2022). Estimation of Heart Rate and Energy Expenditure Using a Smart Bracelet during Different Exercise Intensities: A Reliability and Validity Study. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(13), 4661. <https://doi.org/10.3390/s22134661>
38. Wang, T. L., Wu, H. Y., Wang, W. Y., Chen, C. W., Chien, W. C., Chu, C. M., & Wu, Y. S. (2023). Assessment of Heart Rate Monitoring During Exercise With Smart Wristbands and a Heart Rhythm Patch: Validation and Comparison Study. *JMIR formative research*, 7, e52519. <https://doi.org/10.2196/52519>
39. Navalta, JW, Ramírez, GG, Maxwell, C. *et al.* Validez y confiabilidad de tres sujetadores deportivos inteligentes disponibles comercialmente durante la caminata y la carrera en cinta rodante. *Representante científico* 10, 7397 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64185-z>
40. Giggins, O. M., Doyle, J., Smith, S., Crabtree, D. R., & Fraser, M. (2022). Measurement of Heart Rate Using the Withings ScanWatch Device During Free-living Activities: Validation Study. *JMIR formative research*, 6(9), e34280. <https://doi.org/10.2196/34280>

41. Feehan, L. M., Geldman, J., Sayre, E. C., Park, C., Ezzat, A. M., Yoo, J. Y., Hamilton, C. B., & Li, L. C. (2018). Accuracy of Fitbit Devices: Systematic Review and Narrative Syntheses of Quantitative Data. *JMIR mHealth and uHealth*, 6(8), e10527. <https://doi.org/10.2196/10527>
42. Fuller, D., Colwell, E., Low, J., Orychock, K., Tobin, M. A., Simango, B., Buote, R., Van Heerden, D., Luan, H., Cullen, K., Slade, L., & Taylor, N. G. A. (2020). Reliability and Validity of Commercially Available Wearable Devices for Measuring Steps, Energy Expenditure, and Heart Rate: Systematic Review. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(9), e18694. <https://doi.org/10.2196/18694>
43. Passler, S., Müller, N., & Senner, V. (2019). In-Ear Pulse Rate Measurement: A Valid Alternative to Heart Rate Derived from Electrocardiography?. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(17), 3641. <https://doi.org/10.3390/s19173641>
44. Sun, J., & Liu, Y. (2020). Using Smart Bracelets to Assess Heart Rate Among Students During Physical Education Lessons: Feasibility, Reliability, and Validity Study. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(8), e17699. <https://doi.org/10.2196/17699>
45. O'Reilly, M., Caulfield, B., Ward, T. *et al.* Wearable Inertial Sensor Systems for Lower Limb Exercise Detection and Evaluation: A Systematic Review. *Sports Med* 48, 1221–1246 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0878-4>
46. Gielen, J., Mehuys, E., Berckmans, D., Meeusen, R., & Aerts, J. M. (2022). Monitoring Internal and External Load During Volleyball Competition. *International journal of sports physiology and performance*, 17(4), 640–645. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2021-0217>
47. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical research ed.)*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
48. Ruby, D. (2023). Smartwatch statistics 2023: How many people use smartwatches?. *Demand Sage*. Retrieved March, 11, 2023.