



# **Met Apple Watch de cardioconditie schatten aan de hand van de $VO_2$ max**

Mei 2021

# Inhoud

<b>Overzicht</b> .....	<b>3</b>
Inleiding.....	3
Definitie.....	3
Meten en schatten.....	3
Praktisch nut.....	3
Genetische factoren.....	4
Interventies.....	4
<b>Cardioconditie op een Apple Watch</b> .....	<b>4</b>
Beschrijving van de meetwaarde.....	4
Ontwikkeling.....	7
Studieopzet.....	7
Statistische methoden.....	7
Resultaten.....	8
Discussie.....	10
<b>Conclusies</b> .....	<b>12</b>
<b>Referentiebronnen</b> .....	<b>12</b>

# Overzicht

In watchOS 7 wordt vanaf Apple Watch Series 3 een aangepast algoritme gebruikt om de cardioconditie van de gebruiker te meten aan de hand van de  $VO_2$ max-waarde, het maximumvolume zuurstof dat iemand uit ingeademde lucht kan opnemen.

Met dit aangepaste algoritme zijn de schattingen van de  $VO_2$ max naar het onderste bereik uitgebreid terwijl deze meetwaarde ook breder beschikbaar is. Verder maakt watchOS 7.2 het mogelijk dat gebruikers in de Gezondheid-app op iPhone kunnen zien in welke categorie hun cardioconditie valt (op basis van leeftijd en geslacht). Ze kunnen een melding krijgen zodra hun waarde in het onderste bereik valt. In dit document wordt dieper ingegaan op de mogelijkheden van deze features, waarbij ook de test- en validatieprocedures aan bod komen.

## Inleiding

### Definitie

$VO_2$ max is het maximumvolume zuurstof dat iemand via de cellulaire stofwisseling via ingeademde lucht kan opnemen.  $VO_2$ max is een goede algemene indicator voor de cardiorespiratoire conditie (CRC), omdat deze waarde meerdere orgaanstelsels omvat en door een aantal factoren op diverse punten wordt ingegeven, van de ademhaling tot de zuurstofverbruik bij het eindorgaan.<sup>1</sup>  $VO_2$ max-waarden worden meestal genormaliseerd op lichaamsgewicht en gemeten in milliliters zuurstof per kilogram lichaamsgewicht in één minuut (ml/kg/min.). Deze waarden dalen naarmate iemand ouder wordt en vertonen over een hele bevolking genomen verschillen tussen de biologische geslachten.<sup>2</sup>

### Metten en schatten

$VO_2$ max wordt gemeten door middel van een CPET-test (Cardiopulmonary Exercise testing). Daarbij moet iemand op een hometrainer of loopband zich steeds meer inspannen. Deze persoon draagt een masker waarmee het zuurstofgehalte bij het in- en uitademen wordt gemeten.<sup>3</sup> In de meeste gevallen blijft de hoeveelheid zuurstof die individuen opnemen tijdens het testen op hetzelfde niveau steken, zelfs al wordt de inspanning verder opgevoerd. Dit punt, de  $VO_2$ -piek, wordt als de  $VO_2$ max-waarde aangeduid, ook al is niet honderd procent zeker dat het inderdaad om het maximum gaat.<sup>4</sup>

In de praktijk is het gebruikelijker om de  $VO_2$ max of CRC te schatten op basis van metingen die bij submaximale inspanning worden gedaan. Dat soort tests zijn namelijk minder duur en minder tijdrovend dan een maximale CPET en de geteste persoon hoeft zich minder in te spannen. Bovendien bestaat er aanzienlijk bewijs voor het afleiden van de  $VO_2$ max uit submaximale inspanning.<sup>5</sup>

### Praktisch nut

De CRC, zoals deze aan de  $VO_2$ max of de soortgelijke MET-waarde (Metabolic Equivalent, 1 MET = ca. 3,5 ml/kg/min.) kan worden afgelezen, is in de afgelopen 30 jaar herhaaldelijk een goede graadmeter gebleken voor het voorspellen van het overlijdensrisico door cardiovasculaire of andere aandoeningen, en voor cardiovasculaire incidenten bij mannen en vrouwen.<sup>6,7,8</sup> In sommige studies bleek dit een op zich staande en betrouwbaardere indicator te zijn dan bekende risicofactoren voor overlijden door cardiovasculaire of andere aandoeningen, zoals hoge bloeddruk, obesitas of een hoog cholesterolgehalte.<sup>9,10,11</sup>

Vanwege dit voorspellende karakter pleit de medische en wetenschappelijke gemeenschap ervoor om metingen van de CRC standaard op te nemen in de medische praktijk, als aanvulling op<sup>12</sup> of zelfs in de plaats van traditionele risicomodellen als Framingham.<sup>13</sup> Dit voorspellende karakter kan ook buiten de algehele

bevolking worden toegepast op ziektespecifieke cohorten, zoals patiënten met hartfalen,<sup>14</sup> en op klinische besluiten bij specifieke incidenten, zoals het perioperatieve traject<sup>15,16</sup> en revalidatiedoorverwijzingen voor hartpatiënten.<sup>17</sup> Gelet op deze en andere bewijzen van het praktische nut pleitte de American Heart Association (AHA) er al in 2016 voor om de CRC routinematig te controleren, als een van de vitale functies.<sup>5</sup>

### **Genetische factoren**

Erfelijkheid staat in nauw verband met de  $VO_2\text{max}$  van een persoon en wat er bij inspanning met de  $VO_2\text{max}$  gebeurt. Standaard wordt ervan uitgegaan dat genetische factoren voor ongeveer 50 tot 70 procent de verschillen in de  $VO_2\text{max}$ -waarden tussen personen uitmaken<sup>18,19</sup> en ongeveer 20 tot 60 procent van de variaties in verbeteringen van de  $VO_2\text{max}$ -waarde door sporten.<sup>5,20</sup>

### **Interventies**

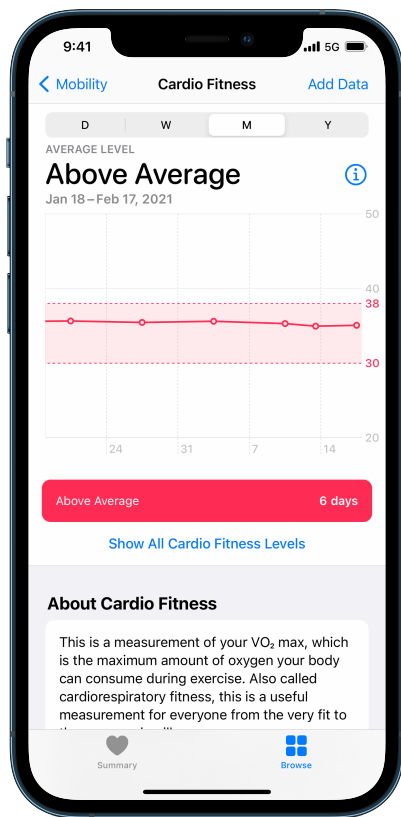
Het in de loop der jaren verbeteren of in ieder geval op hetzelfde peil houden van de  $VO_2\text{max}$  wordt nauw in verband gebracht met een lagere overlijdenskans. Laukkanen et al. constateerden bij een onderzoek onder ruim 500 mannen die 11 jaar lang werden gevolgd, dat het overlijdensrisico met 9 procent afnam voor elke 1 ml/kg/min. dat de  $VO_2\text{max}$  toenam.<sup>21</sup> Uit onderzoek blijkt dat HIIT (High Intensity Interval Training) de grootste verbetering van de  $VO_2\text{max}$  oplevert.<sup>22,23,24</sup> In de loop van programma's van 6 tot 12 weken werd over het algemeen een verbetering van de  $VO_2\text{max}$  van ongeveer 5 tot 10 procent (in ml/kg/min.) gemeten. Het is belangrijk te vermelden dat in veel kortere tijdsperioden (2 tot 3 weken) bij minder of geen beweging een afname van de  $VO_2\text{max}$  van een soortgelijke of grotere orde van grootte werd gemeten (afname tot 27 procent).<sup>25,26</sup> Het verhogen van de fysieke inspanning bij het ontbreken van verbeteringen van de  $VO_2\text{max}$  lijkt qua levensduur niet hetzelfde effect te hebben voor degenen bij wie de  $VO_2\text{max}$  steeg ten opzichte van degenen bij wie de  $VO_2\text{max}$  niet steeg.<sup>27</sup>

## **Cardioconditie op een Apple Watch**

In dit document worden de ontwikkeling en validatie beschreven van de meetwaarde voor de cardioconditie die op Apple Watch wordt gebruikt om de  $VO_2\text{max}$  te schatten. Dit document is voor twee doelgroepen bestemd. De eerste doelgroep wordt gevormd door onderzoekers, zorgverleners en ontwikkelaars die deze schatting wellicht beroepsmatig willen gebruiken. De tweede doelgroep wordt gevormd door klanten die meer over  $VO_2\text{max}$  willen weten, zoals hoe deze waarde op een Apple Watch wordt gemeten en gevalideerd. Meer informatie over het instellen en bekijken van de geschatte  $VO_2\text{max}$ -waarden op een Apple Watch is te vinden op [support.apple.com/nl-nl/HT211856](https://support.apple.com/nl-nl/HT211856).

### **Beschrijving van de meetwaarde**

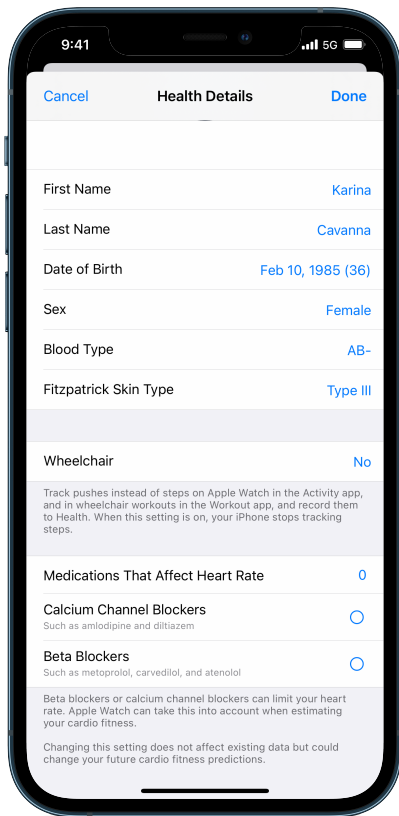
Cardioconditie (ook wel cardiofitness genoemd) op Apple Watch is de geschatte  $VO_2\text{max}$ -waarde (in ml/kg/min.) van de gebruiker. Deze schatting komt tot stand door de hartslag bij lichamelijke inspanning te meten. Het algoritme waarmee de  $VO_2\text{max}$  wordt geschat, is in watchOS 7 aangepast, waardoor op een Apple Watch Series 3 of nieuwer ook lagere cardioconditieniveaus kunnen worden gemeten (14 tot 60 ml/kg/min.). Figuur 1 toont de  $VO_2\text{max}$  in de Gezondheid-app in iOS 14 onder Cardioconditie. Een  $VO_2\text{max}$ -waarde kan worden gegenereerd na een poosje buiten wandelen of hardlopen over relatief vlak terrein (dat wil zeggen hoogteverschillen van minder dan 5 procent). Het signaal van de gps en de hartslag moet sterk genoeg zijn en de inspanning moet minimaal ongeveer 30 procent bedragen van het bereik tussen de hartslag bij rust en bij maximale inspanning. Bij de allereerste work-out van de gebruiker kan deze schatting nog niet worden gegeven. Verder moet de gebruiker Apple Watch minimaal één dag hebben gedragen voordat de eerste schatting kan worden gegenereerd.



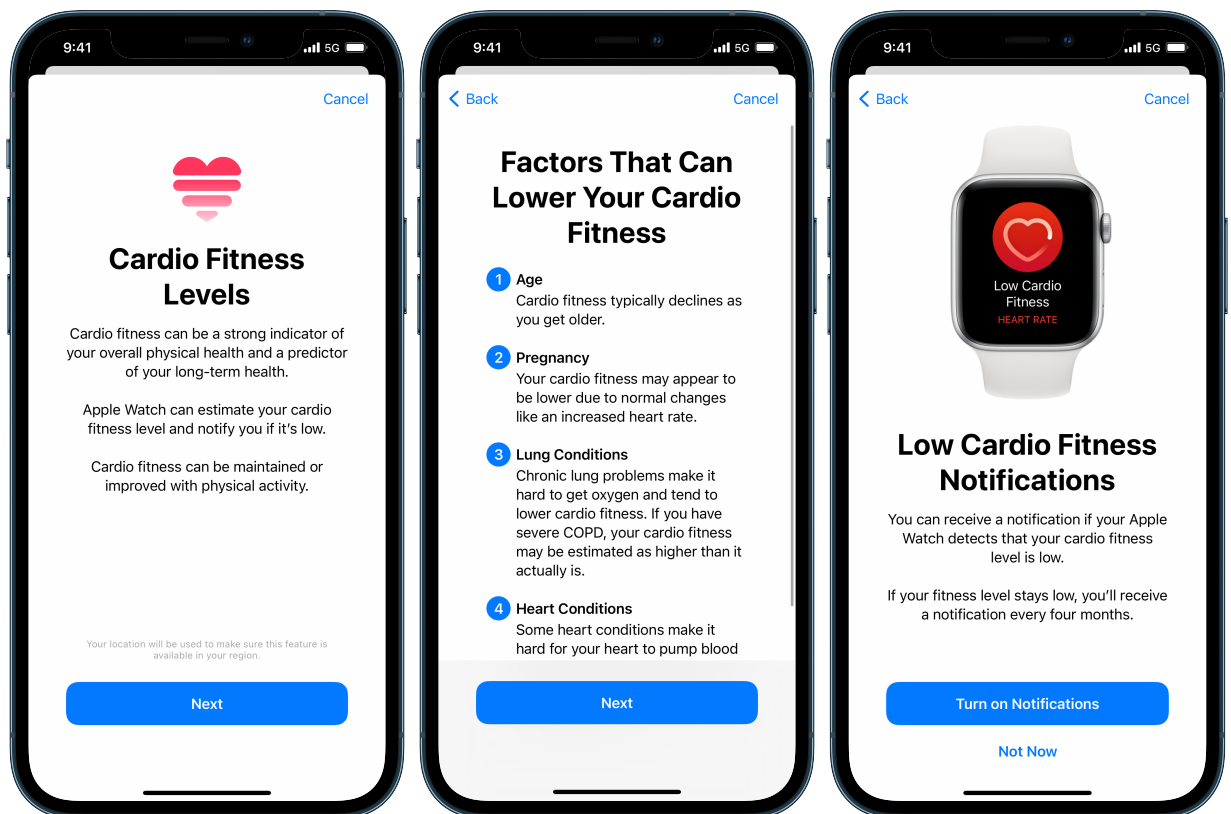
**Figuur 1: Cardioconditie in de Gezondheid-app in iOS 14**

Deze schattingen van de  $VO_2$ max zijn gebaseerd op submaximale voorspellingen van de  $VO_2$ max, niet op de  $VO_2$ -piekwaarde. Gebruikers hoeven voor een schatting dan ook geen maximale hartslag te halen. Een basiswaarde als uitgangspunt voor de piekhartslag is echter wel nodig. Daarom kunnen Watch-bezitters die medicijnen gebruiken die hun piekhartslag kunnen verlagen, dit aangeven in de Gezondheid-app, zodat een nauwkeurigere  $VO_2$ max-schatting kan worden gegeven (zie figuur 2).

Met een functie die in iOS 14.3 is geïntroduceerd, kunnen gebruikers vanaf 20 jaar ervoor kiezen om een melding te ontvangen wanneer hun cardioconditieniveau (volgens de geschatte  $VO_2$ max) aanhoudend laag genoeg is om een aanwijzing van een langlopende aandoening of van een beperking van de dagelijkse activiteiten te zijn. Als drempelwaarde voor het sturen van een melding geldt voor gebruikers van 20 tot 59 jaar het laagste kwintiel voor geslacht en leeftijd zoals bepaald in de Fitness Registry and Importance of Exercise National Database.<sup>2</sup> Voor gebruikers vanaf 60 jaar worden de absolute  $VO_2$ max-drempelwaarden van 18 en 15 ml/kg/min. voor respectievelijk mannen en vrouwen aangehouden, gebaseerd op gegevens die erop wijzen dat dit de drempelwaarden voor zelfstandig wonen van hoogbejaarde mannen en vrouwen zijn.<sup>28</sup> Gebruikers die bij een lage cardioconditie een melding willen ontvangen, moeten zich hiervoor aanmelden. Zij moeten daarvoor de stappen voor het instellen van de Gezondheid-app volgen. Ze krijgen dan een beschrijving van deze feature te zien en moeten informatie als leeftijd, geslacht en relevante medicatie opgeven. Daarbij wordt ook vermeld welke factoren de cardioconditie verlagen en er wordt verwezen naar optioneel extra voorlichtingsmateriaal over het belang van de  $VO_2$ max en potentiële oorzaken voor een melding (zie figuur 3).



**Figuur 2: Medicijnen die de hartslag beïnvloeden, kunnen in het venster 'Gezondheidsdetails' in de Gezondheid-app in iOS 14 worden ingevoerd**



**Figuur 3: Meldingen over de cardioconditie instellen in de Gezondheid-app in iOS 14**

# Ontwikkeling

## Studieopzet

Apple heeft door middel van meerdere studies gegevens verzameld voor het ontwerp en de validatie van de  $VO_2\text{max}$ -meetwaarde. Deze zijn goedgekeurd door een institutionele toetsingscommissie (IRB). De deelnemers hebben ons toestemming gegeven om hun gegevens voor dit doel te verzamelen en te gebruiken.

De deelnemers hebben  $VO_2\text{max}$ -, submaximale  $VO_2$ -tests of beide gedaan (CPET genoemd, Cardiopulmonary Exercise Testing), waarbij zij een Apple Watch Series 4 droegen. Er zijn diverse CPET-testprotocollen gebruikt, zowel met een loopband als met een fietsergometer. Elke deelnemer heeft in de loop van de studies tot zes keer een CPET gedaan. Tussen elke test zaten minimaal 10 dagen om de deelnemers voldoende rust te gunnen en de onderzoekers voor en na elke CPET voldoende tijd te geven om gegevens te verzamelen. Aan de hand van de CPET-gegevens werd geverifieerd of het protocol naar behoren was gevolgd en of de deelnemers minimaal 60 procent van de voorspelde maximumhartslag behaalden. Tests waarbij sprake was van een afwijkende gaswisseling, een slecht hartslagsignaal, een hartritmestoornis, pijn of biomechanische inefficiëntie, werden van verdere analyse uitgesloten. Tests die positief werden geverifieerd, werden voor de ontwikkeling van het algoritme gebruikt. Om de referentiewaarde van de  $VO_2\text{max}$  van elke deelnemer te bepalen, zijn op basis van de hartslag en de  $VO_2$  in het submaximale bereik lineaire ramingen gedaan om de  $VO_2\text{max}$  te bepalen op basis van de voor de leeftijdsgroep voorspelde maximumhartslag. De voorspelde maximumhartslag werd op basis van gepubliceerde voorspellingen naar beneden bijgesteld voor gebruikers die medicijnen gebruikten die hun hartslag verlaagden (zoals bètablokkers).<sup>29</sup>

Naast de Apple Watch die de deelnemers tijdens de begeleide CPET's droegen, droegen ze gedurende de looptijd van de studies ook een Apple Watch en iPhone bij alle activiteiten in hun dagelijks leven. Daaronder vielen ook de work-outs die de deelnemers bijhielden. Tijdens deze periode werden gegevens van diverse Apple Watch-sensoren (fotoplethysmograaf, versnellingsmeter, gyroscoop, barometer en gps) verzameld en gebruikt voor het ontwerpen van het  $VO_2\text{max}$ -algoritme.

Een subset van deelnemers is buiten alle gegevens voor het ontwerpen van het algoritme gehouden. Zo kon de nauwkeurigheid van het algoritme worden geverifieerd en werden te gerichte analyses vermeden. De prestaties van het algoritme werden berekend door de laatste geldige  $VO_2\text{max}$ -schatting op Apple Watch te vergelijken met het gemiddelde van de voorspelde submaximale waarden uit alle geselecteerde CPET's voor elke deelnemer (tenzij anders aangegeven).

## Statistische methoden

De validiteit van de  $VO_2\text{max}$  op Apple Watch werd berekend als het gemiddelde en de standaardafwijking van fouten tussen de laatste geldige gemiddelde  $VO_2\text{max}$ -schatting op Apple Watch en de gemiddelde submaximale  $VO_2\text{max}$ -schatting van alle geselecteerde CPET's voor elke deelnemer. De betrouwbaarheid (aangegeven als de ICC, Intraclass Correlation Coefficient) is geëvalueerd door per deelnemer de absolute overeenstemming te berekenen tussen de laatste geldige  $VO_2\text{max}$ -schatting op Apple Watch en een  $VO_2\text{max}$  op Apple Watch van minimaal 28 dagen eerder. De consistentie van de  $VO_2\text{max}$  op Apple Watch wordt uitgedrukt als de mediane en 90e percentiele standaardafwijking per deelnemer van alle  $VO_2\text{max}$ -schattingen op Apple Watch voor deelnemers met minimaal vijf schattingen. De beschikbaarheid van de  $VO_2\text{max}$  op Apple Watch tot slot werd op twee manieren berekend: als het percentage van alle wandelwork-outs buiten van langer dan 5,75 minuten van alle deelnemers die een  $VO_2\text{max}$ -schatting op Apple Watch opleverden, en als het percentage deelnemers dat minimaal 10 wandelwork-outs buiten van langer dan 5,75 minuten had gedaan en dat na 10 work-outs minimaal één  $VO_2\text{max}$ -schatting op Apple Watch had ontvangen.

## Resultaten

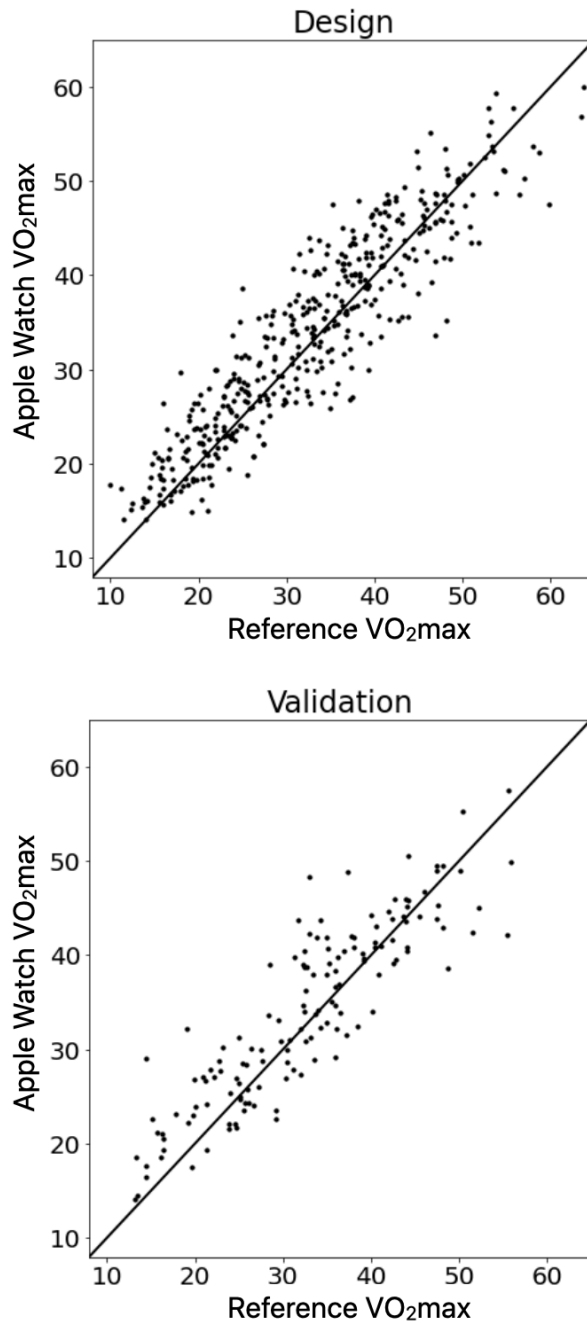
In tabel 1 staan de uitgangswaarden van de deelnemers van wie de gegevens voor het ontwerp en de validatie zijn gebruikt.

**Tabel 1. Kenmerken deelnemers**

	Ontwerp (N = 534)	Validatie (N = 221)
<b>Geslacht – aantal (%)</b>		
Vrouw	191 (36)	94 (43)
Man	343 (64)	127 (57)
<b>Leeftijd – jaar* (gem. ± st.afw.)</b>	<b>53 ± 18</b>	<b>55 ± 17</b>
<b>Verdeling leeftijden – aantal (%)</b>		
< 45 jaar	207 (39)	74 (33)
45–54 jaar	67 (13)	26 (12)
55–65 jaar	57 (11)	36 (16)
> 65 jaar	203 (38)	85 (38)
<b>VO<sub>2</sub>max-referentiewaarde – ml/kg/min. (gem. ± st.afw.)</b>	<b>31,7 ± 10,6</b>	<b>29,7 ± 10,5</b>
<b>Duur waarneming – dagen (gem. ± st.afw.)</b>	<b>441 ± 137</b>	<b>390 ± 138</b>
<b>Comorbiditeit – aantal (%)</b>		
Artritis	51 (10)	17 (8)
Diabetes	38 (7)	23 (10)
Beroerte in de geschiedenis	9 (2)	5 (2)
Aandoening aan de kransslagaders	41 (8)	24 (11)
Myocardinfarct in de geschiedenis	34 (6)	16 (7)
COPD	4 (1)	3 (1)
Hartfalen	10 (2)	5 (2)
Hoge bloeddruk	121 (22)	47 (21)
<b>Roken (sigaretten) – aantal (%)</b>		
Rookt	5 (1)	1 (1)
Vroeger gerookt	63 (12)	37 (17)
Nooit gerookt	300 (56)	129 (58)
Onbekend	166 (31)	54 (24)
<b>BMI-categorie – aantal (%)</b>		
Ondergewicht (BMI < 18,5)	1 (< 1)	2 (< 1)
Gezond gewicht (18,5 ≤ BMI < 25,0)	215 (40)	99 (45)
Overgewicht (25,0 ≤ BMI < 30,0)	220 (41)	77 (35)
Obesitas (BMI ≥ 30,0)	98 (18)	43 (19)
* Gebaseerd op geboortejaar.		



De algoritmeprestaties voor de ontwerp- en validatiegegevenssets zijn in tabel 2 vermeld. Figuur 4 toont een referentiegrafiek voor de deelnemers in de ontwerp- en validatiegroepen (gemiddelde uit de CPET's afgeleide  $VO_2\text{max}$  per gebruiker ten opzichte van de definitieve schatting van de  $VO_2\text{max}$  op Apple Watch). De algoritmeprestaties zijn beoordeeld op basis van de gegevens die tijdens de work-outs zijn verzameld. Voor een subset van de deelnemers (132 voor het ontwerp en 62 voor de validatie) werd de  $VO_2\text{max}$  ook buiten de work-outs om geschat gedurende wandelsessies buiten. Dit werd gedaan om het inschattingsvermogen van de  $VO_2\text{max}$  te onderzoeken wanneer een work-out niet op een Apple Watch was ingezet. Bij deze gebruikers vielen de schattingen bij niet-work-outs gemiddeld 0,32 ml/kg/min. hoger uit dan de schattingen bij de work-outs in de ontwerpgroep. In de validatiegroep zijn geen significante verschillen geconstateerd tussen de schattingen bij work-outs en bij niet-work-outs.



**Figuur 4: Referentiewaarde ten opzichte van geschatte  $VO_2\text{max}$  (ml/kg/min.) voor deelnemers in de ontwerp- en validatiesets**

**Tabel 2. Prestaties VO<sub>2</sub>max**

Meetwaarde	Beschrijving	Ontwerp (N = 534)	Validatie (N = 221)
<b>Validiteit</b>	Fout (gemiddelde geschatte VO <sub>2</sub> max – gemiddelde voorspelde submax-referentiewaarde) – ml/kg/min. (gem. ± st.afw.)	1,2 ± 4,4	1,4 ± 4,7
<b>Betrouwbaarheid</b>	ICC A-1 vergelijking van laatste VO <sub>2</sub> max-schatting met gebruikmaking van gegevens en metagegevens uit alleen die sessie met een VO <sub>2</sub> max-schatting van langer dan 28 dagen eerder met gebruikmaking van gegevens en metagegevens uit alleen die sessie – ICC [betrouwbaarheidsinterval]	0,89 [0,86, 0,91]	0,86 [0,80, 0,90]
<b>Consistentie</b>	Standaardafwijking van pVO <sub>2</sub> max per gebruiker – ml/kg/min. (% van pVO <sub>2</sub> max)		
	Mediaan	1,2 (3,7%)	1,2 (3,4%)
	90e percentiel	2,6 (7,6%)	2,6 (7,2%)
<b>Beschikbaarheid</b>	Percentage wandelwork-outs buiten van langer dan 5,75 minuten waarvoor een schatting is gegenereerd	79%	78%
	Percentage deelnemers dat minimaal 10 wandelwork-outs buiten van langer dan 5,75 minuten had gedaan en dat bij de eerste 10 work-outs minimaal één schatting had ontvangen	93%	93%

## Discussie

De beoordeling van de CRC aan de hand van de VO<sub>2</sub>max geniet steeds meer belangstelling als risicostratificatie-instrument. Sommigen pleiten er zelfs voor om dit tot de vitale functies te rekenen.<sup>5</sup> In de praktijk vindt objectieve meting van de CRC door middel van een CPET-test maar sporadisch plaats, ondanks de bewezen concrete voordelen. Dat is deels te wijten aan de kosten, de belasting van de geteste persoon en de beperkte acceptatie als standaard zorgoptie in allerlei specialismen.<sup>30</sup> Een nauwkeurige schatting van de VO<sub>2</sub>max van een gebruiker door middel van draagbare technologie kan de screening van de CRC tegen lagere kosten binnen het bereik van een groot deel van de bevolking brengen. Verder kunnen patiënten zo tussen consulten door op afstand worden gemonitord, bijvoorbeeld in revalidatieprogramma's voor hartpatiënten. Dergelijke nauwkeurige en beschikbare schattingen van de VO<sub>2</sub>max kunnen ook van pas komen bij risicostratificatie en respons bij programma's voor het inperken van risico's, zoals een pre-operatieve beoordeling en revalidatie.<sup>31</sup>

Het verbeterde algoritme voor het inschatten van de VO<sub>2</sub>max op Apple Watch dat hier wordt beschreven, is ontworpen voor en gevalideerd in een populatie met VO<sub>2</sub>max-referentiewaarden die een breed scala aan cardioconditieniveaus vertegenwoordigden, zoals te zien is in figuur 4. Bijna de helft van de studiedeelnemers was ouder dan 55 jaar en ongeveer 10 procent had een eerder geconstateerde aandoening aan de kransslagaders. Qua raciale en etnische diversiteit was de studiepopulatie geen afspiegeling van de Amerikaanse bevolking. De hartslag, een belangrijke inputwaarde voor de schattingen van de VO<sub>2</sub>max op Apple Watch, blijkt echter consistent nauwkeurig te zijn voor meerdere huidskleuren in zowel binnenlandse als buitenlandse studies.<sup>32</sup>

Door de schatting van de VO<sub>2</sub>max in watchOS 7 naar een lager bereik uit te breiden en buiten work-outs om schattingen te genereren, kan deze meetwaarde ook worden gebruikt door gebruikers met een lage cardioconditie. Ruim 90 procent van de deelnemers die minimaal één keer langer dan drie minuten buiten hadden gewandeld of hardgelopen en daarbij de Work-out-app gebruikten, heeft minimaal één schatting

van de VO<sub>2</sub>max op Apple Watch ontvangen. Naarmate meer wandelwork-outs buiten plaatsvinden, wordt ook de kans op en nauwkeurigheid van een VO<sub>2</sub>max-schatting op Apple Watch hoger.

De schatting van de VO<sub>2</sub>max op Apple Watch is relatief nauwkeurig en betrouwbaar in vergelijking met gangbare VO<sub>2</sub>max-meetmethoden met een foutgemiddelde van minder dan 1 MET en een ICC van meer dan 0,85. De nauwkeurigheid van de VO<sub>2</sub>max op Apple Watch komt in de buurt van de referentienauwkeurigheid. Van tevoren zijn testprotocollen voor submaximale inspanningen gemeten die een foutgemiddelde van bijna nul hadden en een standaardfout van 1 MET.<sup>33</sup> Wat de test-hertestbetrouwbaarheid betreft, heeft de VO<sub>2</sub>max op Apple Watch een ICC van 0,87 in de validatiegegevens in vergelijking met 0,75 bij submaximale tests op een loopband.<sup>34</sup>

Gebruikers die medicijnen gebruiken die hun hartslag verlagen (zoals bètablokkers of calciumantagonisten) en dit aangeven in de Gezondheid-app op hun iPhone die aan Apple Watch gekoppeld is, kunnen dankzij dit nieuwe algoritme schattingen van hun VO<sub>2</sub>max ontvangen die nauwkeuriger zijn dan in eerdere iOS- en watchOS-versies. Bij deze medicatie wordt niet gekeken naar de dosering, cardioselectiviteit of intrinsiek sympathomimetische activiteit van bepaalde bètablokkers. Hoewel dit nuttige inputwaarden kunnen zijn, zijn ze ten gunste van de bruikbaarheid buiten beschouwing gelaten. Door deze benadering nam de geschatte fout voor gebruikers in het validatiecohort die bètablokkers en calciumantagonisten namen, van 11,8 +/- 4,0 ml/kg/min. af tot 1,6 +/- 3,1 ml/kg/min. wanneer de instellingen voor de gezondheidsdetails hun medicijngebruik correct weerspiegelden. Gebruikers die medicijnen gebruiken die hun hartslag verlagen en dit niet invoeren, krijgen hogere schattingen dan de feitelijke waarden te zien. Degenen die slechts een lage of incidentele dosis van dit soort medicijnen gebruiken (bijvoorbeeld propranolol voor faalangst) die hun hartslag niet systematisch verlaagt, krijgen waarschijnlijk nauwkeurigere schattingen als zij deze informatie niet invoeren. Aangezien deze medicijnen vaak worden gebruikt,<sup>35</sup> is het belangrijk ze op de juiste manier in te calculeren bij het schatten van de VO<sub>2</sub>max, vooral bij oudere gebruikers.

Bij sommige aandoeningen is de VO<sub>2</sub>max-schatting van een gebruiker soms niet nauwkeurig. Gebruikers die niet hun juiste leeftijd, geslacht of gewicht in de Gezondheid-app hebben ingevoerd, krijgen waarschijnlijk steeds onnauwkeurige schattingen van hun VO<sub>2</sub>max-waarde. Normale fysiologische veranderingen die bij een zwangerschap horen, kunnen onnauwkeurige schattingen opleveren. Schattingen kunnen incidenteel laag uitvallen als sensorgegevens worden vastgelegd wanneer de inspanning van de gebruiker tijdens de meting werd verhoogd door gedrag dat Apple Watch niet goed kan detecteren. Denk bijvoorbeeld aan het meedragen van extra gewicht, zoals een zware rugzak of een kind, of rennen over een zware ondergrond, zoals zand. Het gebruik van een hulpmiddel of het duwen van een wandelwagen kan de beschikbaarheid of nauwkeurigheid van een VO<sub>2</sub>max-schatting op Apple Watch ook beïnvloeden. Factoren die de hartslag verhogen, zoals dehydratie, geconsumeerde cafeïne, extreme hitte of een recente overgang naar een hoger gelegen gebied, kunnen ook in te lage schattingen resulteren. De nauwkeurigheid van de VO<sub>2</sub>max-waarde op Apple Watch kan worden verhoogd door regelmatig te gaan wandelen, door je meer in te spannen bij een work-out en door je Apple Watch de hele dag te dragen, dus ook als je niet aan het sporten of bewegen bent.

Bij gebruikers met chronotrope incompetentie, een aandoening waarbij de hartslag onvoldoende oploopt bij inspanning,<sup>36</sup> kan de schatting van de VO<sub>2</sub>max te hoog uitvallen. Chronotrope incompetentie wordt primair geassocieerd met hartfalen, wat bij ongeveer 30 tot 80% van deze patiënten voorkomt (afhankelijk van de diagnostische criteria).<sup>37</sup> Deze aandoening wordt ook in verband gebracht met een significant aantal patiënten met de longziekte COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease),<sup>38</sup> lupus<sup>39</sup> en andere auto-immuunziekten.<sup>40</sup>

Naast chronotrope incompetentie kunnen ook andere medische aandoeningen de nauwkeurigheid van VO<sub>2</sub>max-schattingen op Apple Watch verlagen. Dat zijn onder meer medische aandoeningen of devices die de hartslag loskoppelen van beweging of inspanning (bijvoorbeeld pijn, hartritestoornissen of pacemakers); medische aandoeningen die de tolerantie voor inspanning aanzienlijk beperken waardoor patiënten de voorspelde maximumhartslag niet bereiken (bijvoorbeeld een perifere arteriële aandoening); en medische aandoeningen die het bewegingsapparaat sterk beïnvloeden (bijvoorbeeld multiple sclerose of hersenverlamming).

# Conclusies

Met watchOS 7 op Apple Watch Series 3 of nieuwer is de schatting van de VO<sub>2</sub>max uitgebreid naar het lagere bereik van de cardioconditie, en krijgen gebruikers een melding wanneer hun cardioconditieniveau te laag is voor hun leeftijd en geslacht. Dankzij dit grotere bereik, de bredere beschikbaarheid van deze schattingen en de nauwkeurigere schattingen voor gebruikers die medicijnen gebruiken die hun hartslag verlagen, kunnen onderzoekers en medici deze meetwaarde mogelijk vaker gebruiken om de lichamelijke conditie van oudere volwassenen en gevallen van comorbide aandoeningen te monitoren.

# Referentiebronnen

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

<sup>2</sup>Kaminsky LA, Arena R, Myers J. Reference Standards for Cardiorespiratory Fitness Measured With Cardiopulmonary Exercise Testing: Data From the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database. *Mayo Clinic Proceedings*. 2015; 90(11): 1515–1523. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.07.026.

<sup>3</sup>American Thoracic Society, American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2003; 167(2): 211–277. doi: 10.1164/rccm.167.2.211.

<sup>4</sup>Balady GJ, Arena R, Sietsema K, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010; 122(2): 191–225. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181e52e69.

<sup>5</sup>Ross R, Blair SN, Arena R, et al. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2016; 134(24): e653–e699. doi: 10.1161/CIR.0000000000000461.

<sup>6</sup>Blair 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.

<sup>7</sup>Mandsager K, Harb S, Cremer P, Phelan D, Nissen SE, Jaber W. Association of Cardiorespiratory Fitness With Long-term Mortality Among Adults Undergoing Exercise Treadmill Testing. *JAMA Network Open*. 2018; 1(6): e183605. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2018.3605.

<sup>8</sup>Clausen JSR, Marott JL, Holtermann A, Gyntelberg F, Jensen MT. Midlife Cardiorespiratory Fitness and the Long-Term Risk of Mortality: 46 Years of Follow-Up. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018; 72(9): 987–995. doi: 10.1016/j.jacc.2018.06.045.

<sup>9</sup>Mora 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.

<sup>10</sup>Laukkanen JA, Kurl S, Salonen R, Rauramaa R, Salonen JT. The predictive value of cardiorespiratory fitness for cardiovascular events in men with various risk profiles: a prospective population-based cohort study. *European Heart Journal*. 2004; 25(16): 1428–1437. doi: 10.1016/j.ehj.2004.06.013.

<sup>11</sup>Myers J, Nead KT, Chang P, Abella J, Kokkinos P, Leeper NJ. Improved reclassification of mortality risk by assessment of physical activity in patients referred for exercise testing. *The American Journal of Medicine*. 2015; 128(4): 396–402. doi: 10.1016/j.amjmed.2014.10.061.

<sup>12</sup>Kodama 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.

<sup>13</sup>Nauman 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.

<sup>14</sup>Orimoloye 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.

<sup>15</sup>Begum SSS, Papagiannopoulos K, Falcoz PE, Decaluwe H, Salati M, Brunelli A. Outcome after video-assisted thoracoscopic surgery and open pulmonary lobectomy in patients with low VO<sub>2</sub> 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.

<sup>16</sup>Bhagwat M, Paramesh K. Cardio-pulmonary exercise testing: An objective approach to pre-operative assessment to define level of perioperative care. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2010; 54(4): 286–291. doi: 10.4103/0019-5049.68369.

- <sup>17</sup>Holmes AA, Phillips LM. Cardiopulmonary exercise testing and SPECT myocardial perfusion imaging: Pre-test probability is the key. *Journal of Nuclear Cardiology*. 2019; 26(1): 107–108. doi: 10.1007/s12350-017-0996-7.
- <sup>18</sup>Schutte NM, Nederend I, Hudziak JJ, Bartels M, de Geus EJC. Twin-sibling study and meta-analysis on the heritability of maximal oxygen consumption. *Physiological Genomics*. 2016; 48(3): 210–219. doi: 10.1152/physiolgenomics.00117.2015.
- <sup>19</sup>Bouchard C, An P, Rice T, et al. Familial aggregation of VO<sub>2</sub>(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.
- <sup>20</sup>Zadro JR, Shirley D, Andrade TB, Scurrah KJ, Bauman A, Ferreira PH. The Beneficial Effects of Physical Activity: Is It Down to Your Genes? A Systematic Review and Meta-Analysis of Twin and Family Studies. *Sports Medicine - Open*. 2017; 3(1): 4. doi: 10.1186/s40798-016-0073-9.
- <sup>21</sup>Laukkanen JA, Zaccardi F, Khan H, Kurl S, Jae SY, Rauramaa R. Long-term Change in Cardiorespiratory Fitness and All-Cause Mortality: A Population-Based Follow-up Study. *Mayo Clinic Proceedings*. 2016; 91(9): 1183–1188. doi: 10.1016/j.mayocp.2016.05.014.
- <sup>22</sup>Gist 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.
- <sup>23</sup>Sultana 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.
- <sup>24</sup>Helgerud J, Høydal K, Wang E, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007; 39(4): 665–671. doi: 10.1249/mss.0b013e3180304570.
- <sup>25</sup>Krogh-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.
- <sup>26</sup>Taylor HL. The effects of rest in bed and of exercise on cardiovascular function. *Circulation*. 1968; 38(6): 1016–1017. doi: 10.1161/01.cir.38.6.1016.
- <sup>27</sup>Williams PT. Physical fitness and activity as separate heart disease risk factors: a meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001; 33(5): 754–761. doi: 10.1097/00005768-200105000-00012.
- <sup>28</sup>Paterson DH, Cunningham DA, Koval JJ, St Croix CM. Aerobic fitness in a population of independently living men and women aged 55–86 years. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1999; 31(12): 1813–1820. doi: 10.1097/00005768-199912000-00018.
- <sup>29</sup>Brawner 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.
- <sup>30</sup>Forman 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.
- <sup>31</sup>Older PO, Levett DZH. Cardiopulmonary Exercise Testing and Surgery. *Annals of the American Thoracic Society*. 2017; 14(Supplement\_1): S74–S83. doi: 10.1513/AnnalsATS.201610-780FR.
- <sup>32</sup>Bent B, Goldstein BA, Kibbe WA, Dunn JP. Investigating sources of inaccuracy in wearable optical heart rate sensors. *npj Digital Medicine*. 2020; 3(1): 18. doi: 10.1038/s41746-020-0226-6.
- <sup>33</sup>Foster 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.
- <sup>34</sup>Eng JJ, Dawson AS, Chu KS. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*. 2004; 85(1): 113–118. doi: 10.1016/s0003-9993(03)00436-2.
- <sup>35</sup>Argulian E, Bangalore S, Messerli FH. Misconceptions and Facts About Beta-Blockers. *The American Journal of Medicine*. 2019; 132(7): 816–819. doi: 10.1016/j.amjmed.2019.01.039.
- <sup>36</sup>Brubaker PH, Kitzman DW. Chronotropic incompetence: causes, consequences, and management. *Circulation*. 2011; 123(9): 1010–1020. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.940577.
- <sup>37</sup>Zweerink A, van der Lingen A-LCJ, Handoko ML, van Rossum AC, Allaart CP. Chronotropic Incompetence in Chronic Heart Failure. *Circulation: Heart Failure*. 2018; 11(8): e004969. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.118.004969.
- <sup>38</sup>González-Costello J, Armstrong HF, Jorde UP, et al. Chronotropic incompetence predicts mortality in severe obstructive pulmonary disease. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2013; 188(2): 113–118. doi: 10.1016/j.resp.2013.05.002.
- <sup>39</sup>Prado, 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.
- <sup>40</sup>Pecanha 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.