UGESKRIFT FOR LÆGER

Statusartikel

Hjertefrekvensvariabilitet

Daniel Malmsiø, Mads Fich Lønnee, Louise Schouborg Brinth & Carina Kirstine Klarskov

Billeddiagnostisk Afdeling, Klinisk Fysiologisk og Nuklearmedicinsk Afsnit, Københavns Universitetshospital – Nordsjællands Hospital

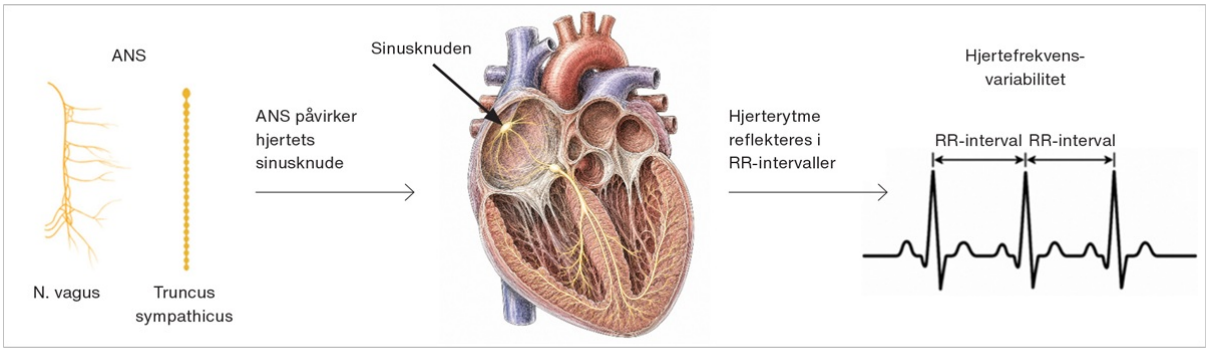
Uger Læger 2026;188:V02260140. doi: 10.61409/V02260140

HOVEDBUDSKABER

- Hjertefrekvensvariabilitet (HRV) er en uspecifik prognostisk markør for særligt kardiovaskulær sygdom og mortalitet.
- HRV måles i stigende grad med wearables, som rummer stort potentiale, men kræver videnskabelig validering.
- HRV påvirkes af mange ikkekontrollerbare faktorer, hvilket gør klinisk anvendelse og tolkning udfordrende.

Hjertefrekvens beskriver antallet af hjerteslag pr. minut. Hjertefrekvensvariabilitet (HRV) beskriver variationen i tidsintervallet mellem hjerteslag (**Figur 1**) og beregnes ud fra RR-intervaller registreret ved elektrokardiografi (ekg). HRV ville altså være nul, hvis hjertet var en metronom med præcis samme tid mellem hvert hjerteslag.

FIGUR 1 Det autonome nervesystem, sinusknuden og påvirkning af hjertefrekvens-variabilitet. Figuren er udarbejdet med kunstig intelligens (ChatGPT) og PowerPoint.



ANS = det autonome nervesystem.

Modsat en metronom er reguleringen af HRV kompleks. HRV afspejler den samlede effekt af flere interagerende fysiologiske kontrolsystemer, der hver især påvirker HRV forskelligt, og som opererer på tværs af forskellige tidsskalaer [1, 2]. Variabiliteten fra hjerteslag til hjerteslag (beat-to-beat-variation) er primært styret af hurtig, parasympatisk (vagal) modulering af sinusknuden, mens langsommere oscillationer i HRV opstår som følge af baro- og kemorefleksmedierede sympatiske-parasympatiske feedbackloops. Den vigtigste påvirkning af HRV over kort tid (sekunder) er vejrtrækningen (respiratorisk sinusarytmi). Andre bidrag såsom termoregulering, endokrine rytmer og døgnrytmeprocesser introducerer fluktuationer over længere tidsperioder i HRV [3].

Tilsammen danner disse systemer et ikkelineært, multiskaleret, komplekst, men *reguleret* kontrolnetværk for HRV. Det raske HRV-mønster er således ikke tilfældigt, og det opfører sig heller ikke periodisk forudsigeligt. Forsimplet gælder dog generelt, at øget parasympathicusaktivitet sænker hjertefrekvensen og er associeret med

Open Access under Creative Commons License CC BY-NC-ND 4.0

øget HRV, hvorimod øget sympathicusaktivitet er associeret med højere hjertefrekvens og en mere kompleks påvirkning af HRV, som ikke kan kvantificeres entydigt [1, 2].

HRV har i de seneste årtier vundet stigende opmærksomhed som et ikkeinvasivt mål for autonom (dys)funktion og kardiovaskulær sundhed [4]. HRV-målinger er let tilgængelige, og nedsat HRV er korreleret med mange tilstande såsom hypertension, diabetes, hjertesvigt og psykiske lidelser – og overordnet med øget morbiditet og mortalitet [2, 3, 5].

HRV er i høj grad rykket ind i mange folks hverdag med udgangspunkt i udviklingen og tilgængeligheden af wearables (f.eks. smartwatches og smart rings). Disse wearables rapporterer ofte forskellige helbredsrelaterede mål som f.eks. body battery, stress score og recovery score [6], som er proprietære »black box«-algoritmer baseret på HRV i kombination med hjertefrekvens, fysisk aktivitet og søvn.

På trods af tilgængeligheden og dermed muligheden for indsamling af store mængder HRV-data og tolkning af disse er implementeringen af HRV-måling i klinisk praksis stadig begrænset, og forskelle i målemetoder gør det svært at sammenligne resultater på tværs af studier og etablere robuste referenceværdier. En særlig udfordring er den store tilgængelighed af wearables, der giver store mængder data, som kan være svære at tolke. Der er derfor et behov for at skabe konsensus om standardiserede måleprotokoller og tolkningsrammer.

Denne statusartikel har til formål at samle den nyeste viden om HRV. Vi vil gennemgå, hvordan HRV analyseres og bruges epidemiologisk og klinisk, samt belyse nylige teknologiske fremskridt. Vi vil desuden diskutere de metodiske udfordringer, der skal overvindes for at bringe brugen af HRV-data helt ind i klinikken.

Analysemetoder

Da det er det autonome nervesystems regulering af sinusknuden, der er grundlaget for HRV (Figur 1), indgår kun slag i sinusrytme i analysen. RR-intervalserien renses derfor for artefakter og ektopiske slag (supraventrikulære og ventrikulære ekstrasystoler). Dette gøres typisk med automatiske algoritmer evt. suppleret med visuel inspektion. Identificerede afvigelser ekskluderes, og de manglende intervaller erstattes ved interpolation. Efter denne rensning kaldes RR-intervaller for NN-intervaller (»N« for »normal«) [1-3].

Tidsperioden, der måles over, spiller en vigtig rolle. Man skelner mellem very short-term (< 5 min), short-term (≈ 5 min) og long-term (> 5 min). Sidstnævnte bliver oftest målt enten over ≈ 30 min eller over ≥ 24 t., som f.eks. ved Holtermonitorering. HRV-resultater (både individuelt og populationsbaseret) er kun sammenlignelige, hvis de er målt over samme tidsperiode. Det er derfor vigtigt at vælge en relevant kombination af analysemetode og tidsperiode for målingen [1-3].

Analysen af HRV inddeles i tre typer, ud fra hvilke matematiske metoder der benyttes: 1) tidsdomæne, 2) frekvensdomæne og 3) ikkelineært domæne. Betydningen af disse domæner og deres udledte variabler kan findes i **Tabel 1** [1-3].

Open Access under Creative Commons License CC BY-NC-ND 4.0

TABEL 1 Hjertefrekvensvariabilitets tre overordnet domæner med eksempler på variabler og fortolkning.

Domæne	Eksempler på variabler		Enhed	Fortolkning Uddybning
Tidsrelateret	Standardafvigelsen af NN-intervaller[a]		ms	Et indeks af alle reguleringsmekanismer
	Standardafvigelsen af tidsdifferencen mellem successive NN-intervaller		ms	Et mål for korttidsvariabilitet Reflekterer primært parasympatisk aktivitet
	Kvadratroden af gennemsnittet af tidsdifferencen mellem successive NN-intervaller			Et mål for korttidsvariabilitet Reflekterer primært parasympatisk aktivitet
	Fraktionen af tidsdifferencen mellem successive NN-intervaller > 50 ms			Et mål for korttidsvariabilitet Reflekterer primært parasympatisk aktivitet
Frekvens-relateret	Højfrekvent: 0,15-0,40 Hz		ms^2	Et mål for korttidsvariabilitet Reflekterer primært parasympatisk aktivitet
	Lavfrekvent: 0,04-0,15 Hz		ms^2	Et mål mellem kort- og langtidsvariabilitet Reflekterer både sympatisk og parasympatisk aktivitet
	Meget lavfrekvent: < 0,04 Hz		ms^2	Et mål for langtidsvariabilitet Reflekterer f.eks. hormonel og termisk regulering
Ikkelineært	Poincaré plot-udledte værdier	SD1	ms	Et mål for korttidsvariabilite Reflekterer primært parasympatisk aktivitet
		SD2	ms	Et mål for både kort- og langtidsvariabilitet Reflekterer både sympatisk og parasympatisk aktivitet
	Detrended fluctuation analysis	α_1	-	Et mål for korrelationer over korte tidsskalaer Associeret med autonom kompleksitet og fysiologisk fleksibilitet
		α_2	-	Et mål for korrelationer over længere tidsskalaer Associeret med strukturel regulering og homøostase
	Entropiske mål	Sampling entropy og approximate entropy	-	Mål for uforudsigelighed og kompleksitet Lav værdi tyder på rigid autonom kontrol
		Shannon entropy	-	Mål for den samlede informationsmængde Lav værdi betyder forudsigelighed og mindre kompleksitet

a) RR-intervaller renset for artefakter.

Tidsdomæne

I tidsdomænet kvantificeres variationen i NN-intervaller over tid ved hjælp af relativt simple statistiske mål enten for den samlede variabilitet, f.eks. standardafvigelsen af NN-intervaller (SDNN), eller variationen mellem to på hinanden følgende hjerteslag, f.eks. ved at tage root mean square mellem successive NN-intervaller (RMSSD), hvor sidstnævnte formodes at være styret primært af parasympathicus (Figur 1) [1-3].

Det skal bemærkes, at HRV-mål er matematisk afhængige af den gennemsnitlige hjertefrekvens, da højere hjertefrekvens medfører kortere RR-intervaller og dermed lavere absolut variabilitet. RMSSD er mindre påvirket end SDNN, men eliminerer ikke denne afhængighed. Derfor kan forskelle i HRV delvist afspejle forskelle i hjertefrekvens snarere end autonom regulering, og det er fortsat omdiskuteret, om og hvordan HRV bør korrigeres for hjertefrekvens [7].

Frekvensdomæne

I frekvensdomænet tages udgangspunkt i, at rytmiske variationer i NN-intervallerne centrerer sig om definerede frekvensbånd, der afspejler forskellige fysiologiske processer. Dette afdækkes gennem f.eks. fast Fourier-transformation, som bruges til at »opdele« variationen i de forskellige frekvensbånd, der består af den højfrekvente variation (HF: 0,15-0,4 Hz), lavfrekvente variation (LF: 0,04-0,15 Hz) og den meget lavfrekvente variation (VLF: < 0,04 Hz). HF menes at reflektere parasympathicusaktivitet, hvorimod LF reflekterer barorefleksen, som reguleres af blodtrykket og altså påvirkes af både sympathicus og parasympathicus. VLF bør teoretisk fange trends over længere tid i HRV. Herunder kan nævnes temperaturregulering og hormonel indflydelse (f.eks. renin-angiotensin-aldosteron-systemet) [1-3].

Ikkelineært domæne

Ikkelineære analyser er nyere metoder til beregning af HRV, der endnu ikke er lige så godt valideret som de

Open Access under Creative Commons License CC BY-NC-ND 4.0

førstnævnte metoder. De matematiske metoder er importeret fra bl.a. kaosteori, entropi, fraktalanalyse og klimaforskning, da det antages, at nogle af de samme reguleringsmønstre, som findes i disse systemer, også gør sig gældende for HRV. De ikkelineære analyser bruges til at karakterisere komplekse, dynamiske mønstre i HRV, som ikke fanges af lineære modeller. Som eksempler kan nævnes Poincaré plot-analyse, detrended fluctuation analysis, sampling entropy, approximate entropy og Shannon entropy [3, 8].

Epidemiologi og klinik

Indledningsvist bør det nævnes, at føtal HRV målt ved kardiotokografi har været brugt gennem flere årtier til at vurdere fosterets tilstand [9], og det skal understreges, at nedenstående ikke beskæftiger sig med føtal HRV.

Da HRV er et resultat af mange interagerende fysiologiske systemer, betragter man HRV som et generelt udtryk for fysiologisk tilpasningsevne. I overensstemmelse hermed er nedsatte HRV'er associeret med en lang række sygdomme inden for bl.a. neurologi, kardiologi, endokrinologi og psykiatri samt både kardiovaskulær og samlet mortalitet [1, 5, 10-13].

Trods dette anvendes HRV kun i begrænset omfang klinisk. Udredningen af autonom dysfunktion baseres i dag primært på standardiserede autonome funktionstests såsom dyb respiration, Valsalvas manøvre, ortostatisk blodtryksmåling og vippelejetest. HRV indgår altså ikke rutinemæssigt i denne udredning, sandsynligvis fordi HRV primært opfattes som en uspecifik risikomarkør – analogt til alder, blodtryk og kolesterol – kombineret med betydelig inter- og intraindividuel variation og manglende referenceværdier. HRV kan få en mulig plads i udredningen af patienter med autonom dysfunktion, såfremt relevante valideringsstudier udføres.

En barriere for brugen af HRV i både forskning og klinisk praksis har været fraværet af valide nationale referenceværdier. Dette er imidlertid delvist imødekommet ved publiceringen af et stort, dansk referencemateriale baseret på knap 7.000 raske personer bredt fordelt på alder og køn, som kan danne grundlag for mere klinisk anvendelse af HRV [14].

Ud over sygdomsrelaterede forhold påvirkes HRV af en række almenfysiologiske faktorer. HRV falder med alderen, varierer mellem køn og påvirkes af en lang række forhold – bl.a. respiration, søvn, stress, alkoholindtag og tobak (**Tabel 2**) [15].

Open Access under Creative Commons License CC BY-NC-ND 4.0

TABEL 2 Faktorer, der påvirker hjertefrekvensvariabilitet.

Faktor	Påvirkning af HRV
Fysiologi	
Vejrtrækning	Øger korttids-HRV: respiratorisk sinusarytmi
Baroreceptor	Modulerer HRV afhængigt af trykforhold
Kemoreceptor	Modulerer HRV afhængigt af O_2/CO_2-forhold
Thyroideahormon	Hypertyreose sænker HRV
RAAS	Øget aktivitet associeret med lavere HRV
Fysisk aktivitet	Regelmæssig fysisk aktivitet øger HRV
Hydreringsstatus	Dehydrering sænker HRV
Kropsholdning	Liggende stilling øger HRV
Søvn	Søvn, især dyb, øger HRV
Temperatur	Høj temperatur og feber sænker HRV
Livsstil og adfærd	
Medicin	Afhængigt af præparat
Tobak	Sænker HRV
Koffeinindtag	Kan sænke, afhængigt af dosis og habituering
Alkoholindtag	Sænker HRV
Demografi	
Køn	Kvinder har ofte højere total HRV
Alder	Sænker HRV
BMI	Øget BMI er associeret med lavere HRV

HRV = hjertefrekvensvariabilitet; RAAS = renin-angiotensin-aldosteron-systemet.

Inden for træningsfysiologi anvendes HRV desuden som mål for træningsparathed og restitution, idet lav HRV dagen(e) efter træning tolkes som utilstrækkelig restitution [16]. Nyere studier peger på, at visse ikkelineære HRV-variabler kan bruges under fysisk aktivitet til at estimere den anaerobe tærskel [17].

Udbredelsen af wearables har øget patienters fokus på HRV. Enhederne bruger typisk fotopletysmografi til at måle pulsfrekvensvariabilitet som surrogat for HRV [18], overvejende via tidsdomænevariabler som RMSSD eller SDNN [19, 20], der primært afspejler parasympatisk aktivitet relateret til restitution.

HRV fra wearables kan ikke i sig selv stille en diagnose og bør ikke opfattes som et sygdomssignal, men snarere som en indikator for stress og restitution. Værdierne påvirkes betydeligt af f.eks. søvn, psykisk belastning,

Open Access under Creative Commons License CC BY-NC-ND 4.0

alkohol, infektion og træningsbelastning. Ændringer over tid hos den enkelte er mere informative end enkeltmålinger.

Korrelationen til ekg-baseret HRV varierer og påvirkes især af bevægeartefakter [21]. Problemet er størst ved håndleddet [6, 22], mindre ved ringe på fingeren [23], og brystbælter er mest præcise – dog fortsat under ekg-niveau [24]. Desuden er wearables følsomme over for perfusionsforhold [25]. Målinger under søvn og hvile er derfor mere pålidelige end under aktivitet. De fleste af HRV's prædiktive egenskaber ved sygdom er dokumenteret i kontrollerede ekg-studier, hvorfor wearabledata bør tolkes med forsigtighed i klinisk sammenhæng (**Tabel 3**).

TABEL 3 Gode råd til klinikere vedrørende hjertefrekvens-variabilitet (HRV).

Område	Råd
Faktorer	HRV er et meget følsomt og dynamisk mål, som påvirkes af en lang række faktorer, herunder søvn, fysisk aktivitet, stress, alkohol, infektion, respiration og måleforhold. Variationen er særlig stor ved målinger foretaget med wearables
Tolkning	Tolkning af HRV bør primært baseres på udvikling over tid hos den enkelte person frem for enkeltmålinger eller sammenligning med andre
Lav HRV	Lav HRV er ikke i sig selv diagnostisk og bør ikke i sig selv – uden ledsagende symptomer eller øvrige kliniske fund – føre til henvisning til yderligere udredning. Patienter bør informeres om, at lav HRV ikke nødvendigvis er udtryk for sygdom, og at HRV-data fra wearables skal tolkes med betydelig forsigtighed i en klinisk kontekst
Vedvarende lav HRV	Ved vedvarende lav HRV kan det være relevant at fokusere på modificerbare faktorer som søvn-kvalitet, fysisk aktivitet, restitution, alkoholindtag, stressbelastning og generel livsstil

Fremtidsperspektiv

HRV er et meget aktivt forskningsfelt, og antallet af publikationer stiger årligt [4, 6]. Forskningen på området kan inddeles i tre felter: 1) den kliniske og epidemiologiske brug af HRV, 2) udviklingen af matematiske metoder til

Open Access under Creative Commons License CC BY-NC-ND 4.0

kvantificering af HRV og 3) den teknologiske udvikling af hardware og software til monitorering af HRV, herunder wearables.

Klinisk og epidemiologisk

I den førstnævnte kategori bruges HRV til: 1) kliniske forsøg med HRV som diagnostisk redskab og som opfølgning på behandling, 2) at undersøge, hvorvidt der er et element af autonom dysfunktion ved sygdomme, som endnu ikke er undersøgt med HRV, 3) validering af HRV som prædiktor eller risikofaktor og 4) basal- og patofysiologisk forskning [26].

Matematisk

Med hensyn til den matematiske udvikling er det særligt de ikkelineære metoder, der forskes i [8]. Da mekanismerne for regulering af sinusknuden ikke er lineære, forventes ikkelineære mønstre at blive fundet i HRV-data. Derfor afprøves forskellige ikkelineære matematiske metoder, der fanger forskellige aspekter af HRV-data.

Teknologisk

Teknologien må forventes at udvikle sig yderligere, algoritmer vil blive bedre til artefaktrensning, og større mængder data vil gøre wearables endnu bedre til at måle HRV. Særligt brugen af kunstig intelligens må forventes at forbedre HRV-måling fra wearables. I takt med bedre målinger vil HRV sandsynligvis få stigende klinisk relevans, hvilket vil kræve kliniske forsøg til at påvise eventuelle helbredseffekter ved kontinuerlig monitorering.

Konklusion

Nedsat HRV er associeret med en række patologiske tilstande, komorbiditet og mortalitet. HRV bruges sparsomt i klinikken, da der savnes præcise mål og referencemateriale, men kan indgå i vurderingen af autonom dysfunktion. Interessen for HRV har i de seneste år været stigende i den almene befolkning, der tiltagende bruger wearables, der giver adgang til egne sundhedsdata. Tolkningen af HRV-data fra wearables kræver fortsat yderligere forskning, før metoden kan anvendes sikkert i klinisk praksis. Den hastige teknologiske udvikling på området kan dog gøre dette realistisk, forudsat at de relevante kliniske forsøg bliver udført.

Korrespondance *Carina Kirstine Klarskov.* E-mail: carina.kirstine.klarskov.01@regionh.dk

Antaget 23. juni 2026

Publiceret på ugeskriftet.dk 26. oktober 2026

Interessekonflikter ingen. Alle forfattere har indsendt ICMJE Form for Disclosure of Potential Conflicts of Interest. Disse er tilgængelige sammen med artiklen på ugeskriftet.dk

Referencer findes i artiklen publiceret på ugeskriftet.dk

Artikelreference Ugeskr Læger 2026;188:V02260140

doi 10.61409/V02260140

Open Access under Creative Commons License CC BY-NC-ND 4.0

SUMMARY

Heart rate variability

Heart rate variability (HRV) measures time variability between heartbeats, is controlled by intricate and complex regulatory mechanisms, and generally reflects autonomic nervous system function. HRV is associated with a wide variety of diseases, comorbidities, and all-cause mortality. Clinically, its use is limited to the diagnosis of autonomic dysfunction. Recently, there has been an increased use of wearables which measure HRV, and they could be used clinically in the future if further studies are carried out, as argued in this review.

REFERENCER

1. Kamath MV, Watanabe M, Upton A, red. Heart Rate Variability (HRV) Signal Analysis: Clinical Applications. 1. udg. CRC Press, 2013. https://doi.org/10.1201/b12756
2. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Circulation. 1996;93(5):1043-1065
3. Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms. Front Public Health. 2017;5:258. https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258
4. García CA, Bardají S, Pérez-Tirador P, Otero A. RHRVEasy: Heart rate variability made easy. PLoS One. 2024;19(11):e0309055. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0309055
5. Jarczok MN, Weimer K, Braun C, et al. Heart rate variability in the prediction of mortality: A systematic review and meta-analysis of healthy and patient populations. Neurosci Biobehav Rev. 2022;143:104907. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104907
6. Li K, Cardoso C, Moctezuma-Ramirez A, et al. Heart rate variability measurement through a smart wearable device: Another breakthrough for personal health monitoring? Int J Environ Res Public Health. 2023;20(24):7146. https://doi.org/10.3390/ijerph20247146
7. de Geus EJC, Gianaros PJ, Brindle RC, et al. Should heart rate variability be "corrected" for heart rate? Biological, quantitative, and interpretive considerations. Psychophysiology. 2019;56(2):e13287. https://doi.org/10.1111/psyp.13287
8. Sassi R, Cerutti S, Lombardi F, et al. Advances in heart rate variability signal analysis: Joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society. Europace. 2015;17(9):1341-1353. https://doi.org/10.1093/europace/euv015
9. Hon EH, Lee ST. Electronic evaluation of the fetal heart rate. VIII. Patterns preceding fetal death, further observations. Am J Obstet Gynecol. 1963;87:814-826
10. Azulay N, Olsen RB, Nielsen CS, et al. Reduced heart rate variability is related to the number of metabolic syndrome components and manifest diabetes in the sixth Tromsø study 2007-2008. Sci Rep. 2022;12(1):11998. https://doi.org/10.1038/s41598-022-15824-0
11. Khan MS, Javaid SS, Mentz RJ, et al. Heart rate variability in patients with cardiovascular diseases. Prog Cardiovasc Dis. 2025;91:67-79. https://doi.org/10.1016/j.pcad.2025.06.003
12. Ramesh A, Nayak T, Beestrum M, et al. Heart rate variability in psychiatric disorders: A systematic review. Neuropsychiatr Dis Treat. 2023;19:2217-2239. https://doi.org/10.2147/NDT.S429592
13. Arakaki X, Arechavala RJ, Choy EH, et al. The connection between heart rate variability (HRV), neurological health, and cognition: A literature review. Front Neurosci. 2023;17:1055445. https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1055445
14. Brinth LS, Jørgensen T, Mehlsen J, et al. Normative values of short-term heart rate variability in a cross-sectional study of a Danish population. The DanFunD study. Scand J Public Health. 2024;52(1):48-57. https://doi.org/10.1177/14034948221124020
15. Sammito S, Thielmann B, Böckelmann I. Update: factors influencing heart rate variability-a narrative review. Front Physiol. 2024;15:1430458. https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1430458
16. Dong JG. The role of heart rate variability in sports physiology. Exp Ther Med. 2016;11(5):1531-1536. https://doi.org/10.3892/etm.2016.3104
17. Rogers B, Giles D, Draper N, et al. A new detection method defining the aerobic threshold for endurance exercise and training prescription based on fractal correlation properties of heart rate variability. Front Physiol. 2020;11:596567. https://doi.org/10.3389/fphys.2020.596567

Open Access under Creative Commons License CC BY-NC-ND 4.0

18. Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. Physiol Meas. 2007;28(3):R1-R39. https://doi.org/10.1088/0967-3334/28/3/R01
19. Dial MB, Hollander ME, Vatne EA, et al. Validation of nocturnal resting heart rate and heart rate variability in consumer wearables. Physiol Rep. 2025;13(16):e70527. https://doi.org/10.14814/phy2.70527
20. Jamieson A, Chico TJA, Jones S, et al. A guide to consumer-grade wearables in cardiovascular clinical care and population health for non-experts. npj Cardiovasc Health. 2025;2(1):44. https://doi.org/10.1038/s44325-025-00082-6
21. Stone JD, Ulman HK, Tran K, et al. Assessing the accuracy of popular commercial technologies that measure resting heart rate and heart rate variability. Front Sports Act Living. 2021;3:585870. https://doi.org/10.3389/fspor.2021.585870
22. Shanghavi A, Jayasuriya J, Cai Y, Mehta RK. Pulse rate variability from wearable wristwatches as a surrogate for heart rate variability? We think not yet. Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet. 2025;69(1):1-5. https://doi.org/10.1177/10711813251357929
23. Cao R, Azimi I, Sarhaddi F, et al. Accuracy assessment of Oura Ring nocturnal heart rate and heart rate variability in comparison with electrocardiography in time and frequency domains: Comprehensive analysis. J Med Internet Res. 2022;24(1):e27487. https://doi.org/10.2196/27487
24. Schaffarczyk M, Rogers B, Reer R, Gronwald T. Validity of the Polar H10 sensor for heart rate variability analysis during resting state and incremental exercise in recreational men and women. Sensors (Basel). 2022;22(17):6536. https://doi.org/10.3390/s22176536
25. Hoog Antink C, Mai Y, Peltokangas M, et al. Accuracy of heart rate variability estimated with reflective wrist-PPG in elderly vascular patients. Sci Rep. 2021;11(1):8123. https://doi.org/10.1038/s41598-021-87489-0
26. Laborde S, Mosley E, Bellenger C, Thayer J. Editorial: Horizon 2030: Innovative applications of heart rate variability. Front Neurosci. 2022;16:937086. https://doi.org/10.3389/fnins.2022.937086

Open Access under Creative Commons License CC BY-NC-ND 4.0