Gelanggang Olahraga: Jurnal Pendidikan Jasmani dan Olahraga
Volume 9, Nomor 6, September - Oktober 2026
e-ISSN : 2597-6567
p-ISSN : 2614-607X
DOI : https://doi.org/10.31539/15wftf47

HEART RATE VARIABILITY (HRV) SEBAGAI INDIKATOR ADAPTASI FISIOLOGIS TERHADAP LATIHAN FISIK: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Irpan Alwi Sopyan[1], Reza Muhamad Ikhlas[2], Warya[3], Jonni Siahaan[4], Qorry Armen Gemael[5]
Universitas Singaperbangsa Karawang[1,2,3,4,5]
irpanalwi93@gmail.com[1]

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi peran *heart rate variability* (HRV) sebagai indikator adaptasi fisiologis terhadap latihan fisik melalui pendekatan *systematic literature review* (SLR). Metode yang digunakan mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020 dengan pencarian literatur pada basis data Scopus, PubMed, dan Google Scholar dalam rentang tahun 2020-2025. Seleksi artikel dilakukan menggunakan pendekatan PICOS, sehingga diperoleh delapan artikel yang memenuhi kriteria inklusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks vagal HRV, terutama RMSSD dan Ln rMSSD, banyak digunakan untuk memantau respons dan mengatur preskripsi latihan pada atlet maupun non-atlet. Latihan yang dipandu HRV (*HRV-guided training*) menghasilkan peningkatan kebugaran dan performa yang setara atau lebih baik dibandingkan program latihan terencana, sering kali dengan jumlah sesi intensitas tinggi yang lebih sedikit dan jumlah individu dengan respons rendah yang lebih kecil. Namun demikian, perubahan HRV istirahat tidak selalu sejalan dengan peningkatan performa, dan manfaat tambahan HRV tidak tampak pada latihan beban maupun *high-intensity functional training*. Simpulan, HRV berpotensi sebagai indikator non-invasif untuk memantau dan mengindividualisasi adaptasi latihan, namun interpretasinya dipengaruhi oleh jenis latihan, metode pengukuran, nilai awal HRV, serta karakteristik subjek. Oleh karena itu, HRV lebih optimal digunakan secara longitudinal dan dikombinasikan dengan indikator beban latihan dan persepsi pemulihan, bukan sebagai indikator tunggal.

Kata Kunci: Adaptasi Fisiologis, *Heart Rate Variability*, Latihan Fisik, Sistem Saraf Otonom

ABSTRACT

This study aimed to evaluate heart rate variability (HRV) as an indicator of physiological adaptation to physical training using a systematic literature review (SLR) approach. The method followed the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020 guidelines, with literature searches conducted in Scopus, PubMed, and Google Scholar databases from 2020 to 2025. Article selection was performed using the PICOS framework, resulting in eight eligible studies. The findings indicate that vagal-related HRV indices, particularly RMSSD and Ln rMSSD, are widely used to monitor training responses and to guide training prescription in both athletes and non-athletes. HRV-guided training produced similar or greater improvements in fitness and performance compared

with predefined training, often with fewer high-intensity sessions and fewer low responders. However, changes in resting HRV did not always parallel performance improvements, and no additional benefit of HRV guidance was observed for resistance training or high-intensity functional training. In conclusion, HRV has potential as a non-invasive indicator for monitoring and individualizing training adaptation; however, its interpretation is influenced by training type, measurement methods, baseline HRV, and subject characteristics. Therefore, HRV is best used longitudinally and combined with training load and perceived recovery measures rather than as a single indicator.
Keywords: *Physiological Adaptation, Heart Rate Variability, Physical Training, Autonomic Nervous System*

PENDAHULUAN

Latihan fisik yang terstruktur merupakan stimulus utama untuk meningkatkan kapasitas fisiologis dan performa olahraga. Prinsip dasar latihan menyatakan bahwa adaptasi terjadi apabila tubuh menerima beban yang memadai dan diikuti pemulihan yang cukup. Ketidakseimbangan antara beban dan pemulihan dapat menyebabkan *non-functional overreaching* (NFOR) hingga *overtraining*, yang berdampak pada penurunan performa dan peningkatan risiko cedera maupun penyakit (Bellenger et al., 2016). Oleh karena itu, pelatih dan praktisi ilmu keolahragaan membutuhkan indikator yang objektif, praktis, dan sensitif untuk memantau respons individu terhadap latihan.

Respons individu terhadap program latihan yang sama dapat sangat bervariasi. Sebagian atlet menunjukkan peningkatan kebugaran yang besar (*high responder*), sementara yang lain hanya mengalami perubahan kecil atau bahkan penurunan performa (*low responder*) (Vesterinen et al., 2016). Variasi ini menunjukkan bahwa program latihan yang bersifat seragam belum tentu optimal bagi setiap individu, sehingga diperlukan pendekatan pemantauan yang mampu menangkap status adaptasi masing-masing atlet (Nuuttila et al., 2021).

Salah satu indikator yang banyak dikaji adalah *heart rate variability* (HRV), yaitu variasi interval waktu antara denyut jantung yang berurutan (interval R-R) (Task Force, 1996). HRV mencerminkan keseimbangan aktivitas sistem saraf otonom, khususnya modulasi parasimpatis (vagal) terhadap nodus sinoatrial (Shaffer & Ginsberg, 2017). Nilai HRV vagal yang meningkat umumnya dikaitkan dengan status pemulihan dan kebugaran kardiovaskular yang baik, sedangkan penurunan yang menetap dapat menandakan kelelahan atau maladaptasi (Buchheit, 2014).

Perkembangan teknologi sensor denyut jantung dan aplikasi telepon pintar membuat pengukuran HRV semakin mudah dilakukan di lapangan. Pengukuran singkat di pagi hari kini dapat dilakukan secara mandiri melalui sensor dada yang terhubung dengan aplikasi telepon pintar (Casanova-Lizón et al., 2025). Kemudahan ini mendorong penggunaan HRV tidak hanya untuk pemantauan, tetapi juga untuk menentukan intensitas latihan harian melalui pendekatan *HRV-guided training*, yang pertama kali diuji oleh Kiviniemi et al., (2007) dan terus dikembangkan dalam berbagai penelitian (Javaloyes et al., 2019).

Namun demikian, bukti ilmiah mengenai kemampuan HRV dalam mencerminkan adaptasi latihan masih menunjukkan hasil yang beragam (Javaloyes et al., 2020). Beberapa penelitian melaporkan hasil yang lebih baik pada latihan

yang dipandu HRV (Carrasco-Poyatos et al., 2022), sedangkan penelitian lain menemukan bahwa HRV tidak berubah meskipun performa meningkat (DeBlauw et al., 2021). Selain itu, meta-analisis menunjukkan bahwa keunggulan *HRV-guided training* terhadap latihan terencana dalam meningkatkan kebugaran aerobik hanya kecil dan tidak signifikan secara statistik (Manresa-Rocamora et al., 2021). Perbedaan jenis latihan, indeks yang digunakan, durasi pemantauan, serta populasi penelitian diduga menjadi penyebab variasi tersebut. Kajian sistematis yang secara khusus menyintesis bukti terbaru dalam lima tahun terakhir (2020-2025), termasuk penerapan HRV di luar olahraga daya tahan, masih terbatas.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengevaluasi bukti ilmiah mengenai HRV sebagai indikator adaptasi fisiologis terhadap latihan fisik berdasarkan publikasi tahun 2020-2025 melalui pendekatan *systematic literature review* (SLR). Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada sintesis yang mengintegrasikan dua fungsi HRV dalam satu kerangka analisis, yaitu sebagai penanda adaptasi (*monitoring*) dan sebagai dasar preskripsi latihan (*HRV-guided training*). Selain itu, penelitian ini menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi interpretasi HRV, seperti jenis latihan, jenis indeks, nilai awal HRV, durasi pemantauan, dan karakteristik subjek.

Penelitian ini memiliki urgensi dalam memberikan dasar ilmiah bagi pelatih, praktisi ilmu keolahragaan, dan guru pendidikan jasmani dalam menggunakan HRV secara tepat sebagai alat pemantauan berbasis bukti guna mendukung individualisasi program latihan.

KAJIAN TEORI

Konsep *Heart Rate Variability* (HRV)

Heart rate variability (HRV) didefinisikan sebagai fluktuasi interval waktu antara denyut jantung yang berurutan, yang diukur dari interval R-R pada rekaman elektrokardiogram atau sensor denyut jantung (Plews et al., 2014). Denyut jantung yang sehat tidak bersifat monoton seperti metronom, melainkan terus menyesuaikan diri terhadap rangsangan pernapasan, tekanan darah, dan kondisi emosional. Kemampuan penyesuaian ini dikendalikan oleh interaksi cabang simpatis dan parasimpatis sistem saraf otonom (Sanchez-Sanchez et al., 2021).

Aktivitas parasimpatis yang dimediasi oleh nervus vagus menghasilkan perubahan interval R-R yang cepat, sehingga paling tercermin pada indeks HRV jangka pendek. Sebaliknya, aktivitas simpatis bekerja lebih lambat dan cenderung menurunkan variabilitas denyut jantung. Oleh karena itu, nilai HRV vagal yang tinggi saat istirahat sering dianggap mencerminkan sistem kardiovaskular yang adaptif dan status pemulihan yang baik (Bittencourt et al., 2024).

Indeks Pengukuran HRV

HRV dapat dianalisis melalui domain waktu, domain frekuensi, dan metode non-linear. Pada domain waktu, indeks yang paling banyak digunakan dalam ilmu keolahragaan adalah *root mean square of successive differences* (rMSSD), yang mencerminkan modulasi vagal dan relatif stabil terhadap pengaruh pola pernapasan. Untuk mengurangi kemencengan distribusi data, rMSSD umumnya ditransformasi menjadi logaritma natural (Ln rMSSD) (Plews et al., 2013).

Pada domain frekuensi, komponen *high frequency* (HF; 0,15–0,40 Hz) dikaitkan dengan aktivitas parasimpatis, sedangkan komponen *low frequency* (LF) mencerminkan campuran pengaruh simpatis dan parasimpatis (Task Force, 1996).

Indeks lain yang juga digunakan antara lain SDNN dan SD1 dari analisis *Poincaré plot*. Dalam konteks pemantauan latihan, Ln rMSSD dipilih karena dapat diukur dalam durasi singkat dan praktis diterapkan di lapangan, termasuk melalui pengukuran ultra-singkat dengan aplikasi telepon pintar (Flatt & Esco, 2016).

Respons dan Adaptasi Sistem Saraf Otonom terhadap Latihan

Secara akut, satu sesi latihan menurunkan aktivitas vagal dan meningkatkan aktivitas simpatis. Setelah latihan selesai, aktivitas vagal akan pulih secara bertahap, dan kecepatan pemulihan ini dipengaruhi oleh intensitas serta durasi latihan (Stanley et al., 2013). Sesi intensitas tinggi umumnya membutuhkan waktu pemulihan otonom yang lebih panjang dibandingkan sesi intensitas rendah.

Secara kronis, latihan daya tahan yang teratur cenderung meningkatkan HRV vagal saat istirahat dan menurunkan denyut jantung istirahat. Peningkatan ini dianggap sebagai salah satu tanda adaptasi kardiovaskular yang positif. Sebaliknya, penurunan HRV yang menetap disertai peningkatan denyut jantung istirahat dapat menandakan bahwa atlet tidak mampu mengatasi beban (Plews et al., 2012).

HRV sebagai Indikator Adaptasi dan Maladaptasi

Penggunaan HRV sebagai indikator adaptasi tidak hanya bergantung pada nilai absolutnya, tetapi juga pada pola perubahan dari waktu ke waktu. Plews et al., (2013) menunjukkan bahwa rata-rata Ln rMSSD selama satu minggu lebih kuat hubungannya dengan peningkatan performa dibandingkan nilai harian tunggal. Selain itu, koefisien variasi HRV (Ln rMSSDcv) mencerminkan fluktuasi harian dan digunakan sebagai penanda stabilitas respons otonom terhadap beban latihan (Plews et al., 2012).

Dalam konteks maladaptasi, studi kasus pada atlet triatlon elit menunjukkan bahwa penurunan bertahap rata-rata Ln rMSSD dan koefisien variasinya mendahului kondisi NFOR (Plews et al., 2012). Temuan ini mengindikasikan bahwa HRV berpotensi menjadi sistem peringatan dini terhadap ketidakseimbangan antara beban latihan dan pemulihan (Hebisz, 2021).

Latihan yang Dipandu HRV (*HRV-Guided Training*)

HRV-guided training adalah pendekatan preskripsi latihan yang menyesuaikan intensitas atau volume latihan harian berdasarkan nilai HRV pagi hari. Apabila HRV berada dalam rentang normal individu atau *smallest worthwhile change* (SWC), atlet melakukan latihan intensitas sedang hingga tinggi. Apabila HRV turun di bawah rentang tersebut, atlet melakukan latihan intensitas rendah atau istirahat (Vesterinen et al., 2016). Protokol serupa juga telah dirancang untuk atlet daya tahan profesional (Carrasco-Poyatos et al., 2020).

Pendekatan ini didasarkan pada asumsi bahwa stimulus latihan intensitas tinggi akan lebih efektif apabila diberikan saat sistem saraf otonom berada dalam kondisi siap. Dengan demikian, *HRV-guided training* diharapkan dapat meningkatkan adaptasi sekaligus menurunkan risiko kelelahan berlebih.

Faktor yang Memengaruhi Interpretasi HRV

Interpretasi HRV dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain:

1. Metode Pengukuran

Posisi tubuh (berbaring, duduk, berdiri), waktu pengukuran, durasi rekaman, dan jenis perangkat memengaruhi nilai HRV yang diperoleh.

2. Metode Agregasi Data

Nilai harian tunggal rentan terhadap gangguan, sehingga rata-rata mingguan atau *rolling average* lebih direkomendasikan. Minimal tiga pengukuran valid per minggu diperlukan agar rata-rata tersebut representatif.

3. Karakteristik Subjek

Tingkat kebugaran, jenis kelamin, usia, dan cabang olahraga memengaruhi respons HRV terhadap beban latihan. Atlet dengan kebugaran lebih rendah atau kelelahan lebih tinggi cenderung mengalami penurunan HRV yang lebih besar (Hebisz, 2021).

4. Faktor Non-Latihan

Kualitas tidur, stres psikologis, konsumsi kafein dan alkohol, serta kondisi sakit dapat menurunkan HRV tanpa berkaitan langsung dengan latihan (Buchheit, 2014).

Berdasarkan hal tersebut, HRV lebih tepat diposisikan sebagai salah satu komponen dalam sistem pemantauan latihan yang komprehensif, bukan sebagai indikator tunggal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dengan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi dan menganalisis temuan penelitian yang relevan secara sistematis. Proses penyusunan dan pelaporan tinjauan literatur mengikuti pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020. Pedoman PRISMA dipilih karena menyediakan kerangka kerja yang terstruktur, transparan, dan terstandarisasi dalam melakukan sintesis literatur secara komprehensif (Page et al., 2021).

Protokol *a priori* telah disusun oleh tim peneliti sebelum memulai pencarian literatur. Protokol tersebut memuat rumusan pertanyaan penelitian, strategi penelusuran, kriteria inklusi dan eksklusi, serta prosedur ekstraksi dan sintesis data. Penyusunan protokol ini bertujuan untuk memastikan seluruh tahapan dilakukan secara sistematis dan untuk mengurangi potensi bias dalam pemilihan artikel maupun interpretasi hasil.

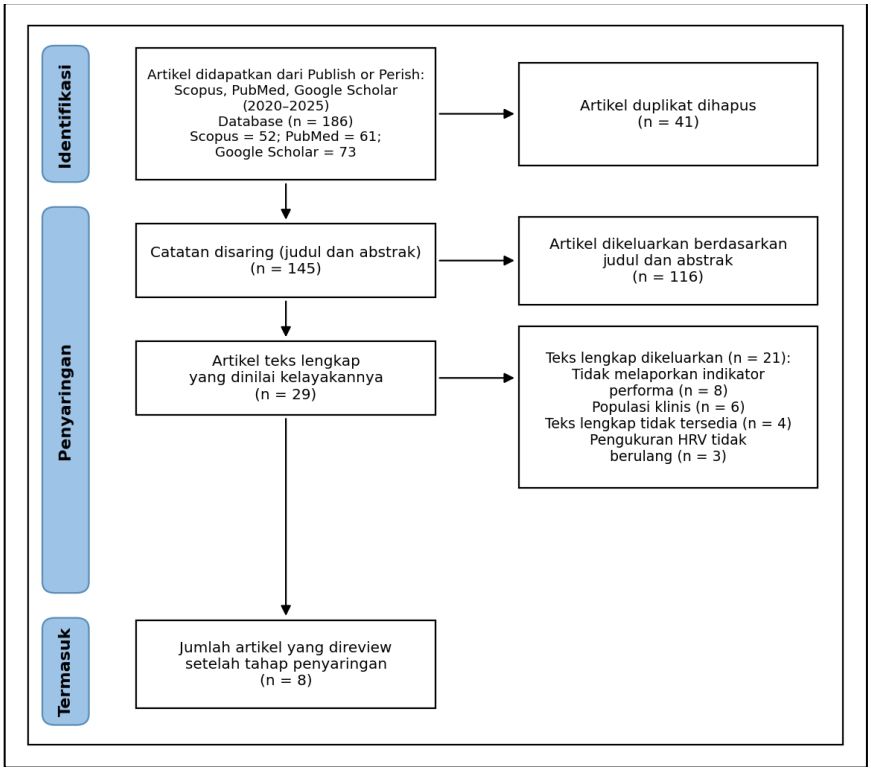
Penelitian ini dirancang untuk menjawab empat pertanyaan penelitian (*research questions*/RQ), yaitu: (RQ1) bagaimana respons HRV terhadap program latihan fisik dan hubungannya dengan adaptasi fisiologis; (RQ2) indeks dan metode pengukuran HRV apa saja yang digunakan untuk menilai adaptasi latihan; (RQ3) bagaimana efektivitas penggunaan HRV, baik sebagai alat pemantauan maupun sebagai dasar preskripsi latihan (*HRV-guided training*), terhadap peningkatan performa; dan (RQ4) faktor apa saja yang menyebabkan variasi hasil penelitian mengenai HRV sebagai indikator adaptasi latihan.

Proses pencarian literatur dilakukan melalui basis data Scopus, PubMed, dan Google Scholar dengan bantuan perangkat lunak *Publish or Perish*. Kata kunci yang digunakan merupakan kombinasi istilah dengan operator Boolean, yaitu ("heart rate variability" OR "HRV" OR "rMSSD") AND ("training adaptation" OR "exercise training" OR "HRV-guided training") AND ("performance" OR "VO2max" OR "aerobic fitness"). Pencarian dibatasi pada rentang tahun publikasi 2020-2025 untuk memperoleh bukti ilmiah terkini. Hasil pencarian menghasilkan total 186 artikel, yang terdiri atas 52 artikel dari Scopus, 61 artikel dari PubMed, dan 73 artikel dari Google Scholar.

Penentuan artikel yang dimasukkan dalam analisis menggunakan pendekatan PICOS (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Study Design*). Cakupan yang ditetapkan meliputi: (P) individu sehat, baik sedenter, aktif secara fisik, atlet rekreasional, maupun atlet terlatih dan profesional, laki-laki maupun perempuan dari berbagai kelompok usia; (I) program latihan fisik terstruktur, baik latihan daya tahan, interval, latihan beban, maupun *high-intensity functional training*, yang disertai pemantauan HRV istirahat secara berulang, atau program latihan yang intensitasnya ditentukan berdasarkan HRV; (C) kelompok latihan terencana (*predefined training*), kelompok kontrol, atau perbandingan kondisi sebelum dan sesudah program latihan; (O) perubahan indeks HRV (Ln rMSSD, HF, Ln rMSSDcv) beserta indikator adaptasi fisiologis seperti VO_2max, kecepatan maksimal, *peak power output*, kekuatan otot, kapasitas kerja, atau performa *time trial*; dan (S) penelitian eksperimental, kuasi eksperimental, *randomized controlled trial*, maupun studi observasional longitudinal.

Kriteria eksklusi diterapkan dalam proses seleksi literatur. Artikel dikeluarkan apabila hanya mengukur HRV secara akut setelah satu sesi latihan tanpa menilai adaptasi jangka panjang, atau tidak melaporkan indikator performa maupun kebugaran. Penelitian yang melibatkan pasien dengan penyakit kardiovaskular, metabolik, atau neurologis juga dikeluarkan. Selain itu, artikel tanpa teks lengkap, publikasi non-penelitian seperti editorial dan opini, artikel tinjauan pustaka, artikel yang terbit sebelum tahun 2020, serta dokumen duplikat turut dikeluarkan (Page et al., 2021).

Proses seleksi artikel dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan pedoman PRISMA 2020. Pedoman ini digunakan untuk memastikan transparansi dan sistematika dalam proses identifikasi serta seleksi literatur yang relevan. Alur identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan inklusi artikel dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alur Metode PRISMA

Berdasarkan Gambar 1, proses pencarian literatur awal menghasilkan 186 artikel dari basis data yang digunakan, kemudian dilakukan penghapusan 41 artikel duplikat, penyaringan berdasarkan judul dan abstrak, serta penilaian kelayakan teks lengkap sesuai kriteria inklusi dan eksklusi. Setelah melalui seluruh tahapan seleksi, diperoleh delapan artikel yang memenuhi kriteria dan digunakan dalam analisis akhir. Data yang diekstraksi dari setiap artikel meliputi penulis dan tahun, desain studi, karakteristik sampel, jenis dan durasi latihan, indeks HRV, indikator adaptasi, serta kesimpulan utama.

HASIL PENELITIAN

Karakteristik Studi

Sebanyak delapan studi dengan tahun publikasi antara 2020 hingga 2025 memenuhi kriteria inklusi dan masuk dalam tinjauan sistematis ini. Berdasarkan desain penelitian, studi yang disintesis terdiri atas *randomized controlled trial*, *cluster randomized controlled trial*, *controlled trial* dengan pembagian kelompok, studi kuasi-eksperimental dengan kelompok kontrol, serta studi observasional longitudinal. Variasi desain tersebut menunjukkan bahwa kajian mengenai HRV sebagai indikator adaptasi latihan telah dilakukan melalui pendekatan eksperimental maupun observasional.

Ukuran sampel bervariasi antara 7 hingga 70 partisipan, dengan durasi intervensi antara 7 hingga 20 minggu. Subjek penelitian meliputi pesepeda terlatih, pelari profesional, pelari rekreasional, orang dewasa yang aktif secara rekreasional, perempuan lanjut usia yang sehat, serta orang dewasa sedenter. Variasi karakteristik sampel menunjukkan bahwa penggunaan HRV tidak lagi terbatas pada atlet daya tahan, tetapi telah diterapkan pada populasi umum dan berbagai jenis latihan.

Indeks HRV yang digunakan pada seluruh studi adalah RMSSD atau bentuk logaritmanya (Ln rMSSD), yang diukur di pagi hari maupun selama tidur malam (nokturnal). Satu studi juga menganalisis komponen *high frequency* (HF). Indikator adaptasi yang digunakan meliputi VO_2max, *peak power output*, daya pada ambang ventilasi, kecepatan maksimal *treadmill*, waktu 10 km, *time trial* bersepeda 40 menit, kekuatan otot (1RM), luas penampang otot, kapasitas kerja, serta tes performa fungsional.

Ringkasan karakteristik kedelapan studi yang dianalisis dalam tinjauan ini disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Ringkasan Delapan Studi yang Dianalisis

No	Penulis dan Tahun	Desain Studi	Sampel	Latihan dan Durasi	Indeks HRV	Indikator Adaptasi	Kesimpulan
1	(Javaloyes et al., 2020)	*Controlled trial*	20 pesepeda terlatih	Baseline + 8 minggu *HRV-guided* vs periodisasi blok	Ln rMSSD pagi hari dengan rentang normal individu	VO_2max, *peak power output*, ambang ventilasi, *time trial* 40 menit	Kelompok *HRV-guided* meningkatkan VO_2max, *peak power output*, daya pada VT1 dan VT2, serta *time trial* 40 menit. Kelompok periodisasi blok hanya meningkatkan daya pada VT2. Perbedaan antarkelompok setelah intervensi tidak signifikan.
2	(Nuuttila et al., 2021)	*Controlled trial*	30 pelari rekreasional (13 intensitas, 17 volume)	10 minggu kontrol + 10 minggu peningkatan intensitas atau volume	HRV nokturnal	Performa *treadmill* inkremental, indeks HR-kecepatan	Kedua kelompok meningkatkan performa daya tahan secara serupa, tetapi HRV tidak berubah. Indeks denyut jantung-kecepatan lebih mampu membedakan *responder* dan *low-responder*.
3	(Hebisz, 2021)	Studi observasional longitudinal	7 pesepeda	6 minggu latihan intensitas rendah-sedang + 6 minggu peningkatan porsi interval intensitas tinggi	RMSSD dan HF istirahat	Kebugaran kardiorespirasi	Perubahan HRV akibat intensifikasi latihan bersifat individual. Pesepeda dengan HRV awal rendah mengalami perubahan lebih besar, sehingga respons HRV dapat diprediksi dari nilai awalnya.

No	Penulis dan Tahun	Desain Studi	Sampel	Latihan dan Durasi	Indeks HRV	Indikator Adaptasi	Kesimpulan
4	(DeBlauw et al., 2021)	*Randomized controlled trial*	55 orang dewasa aktif rekreasional (26 *HRV-guided*, 29 terencana)	11 minggu pemantauan; 6 minggu HIFT, 5 hari/minggu	RMSSD pagi hari via aplikasi dan CV	Denyut jantung istirahat, komposisi tubuh, kekuatan, kapasitas kerja	Seluruh peserta meningkatkan kebugaran tanpa perbedaan antarkelompok. Kelompok *HRV-guided* mencapai hasil yang sama dengan sekitar 13–14 hari latihan intensitas tinggi yang lebih sedikit.
5	(Carrasco-Poyatos et al., 2022)	*Cluster-randomized controlled trial*	12 pelari profesional (6 *HRV-guided*, 6 tradisional)	8 minggu *HRV-guided* vs latihan tradisional	Ln rMSSD pagi hari via aplikasi	VO_2max, kecepatan maksimal, ambang ventilasi	Kecepatan maksimal meningkat signifikan pada kelompok *HRV-guided* (d = 0,66), disertai peningkatan kecil Ln rMSSD (d = 0,4; tidak signifikan). Kelompok ini berlatih lebih banyak pada intensitas sedang.
6	(Nuuttila et al., 2022)	*Controlled trial*	30 pelari rekreasional (14 terencana, 16 individual)	15 minggu (3 minggu persiapan, 6 minggu volume, 6 minggu interval)	HRV nokturnal dikombinasikan dengan persepsi pemulihan dan indeks HR-kecepatan	Kecepatan maksimal *treadmill*, waktu 10 km	Kedua kelompok meningkatkan performa secara signifikan. Kelompok individual lebih menguntungkan, meningkatkan peluang respons tinggi dan menurunkan kejadian respons rendah.
7	(Bittencourt et al., 2024)	*Randomized controlled trial*	21 perempuan lanjut usia sehat (11 individual, 10 tetap)	7 minggu latihan beban; jeda pemulihan antarsesi diatur berdasarkan RMSSD	RMSSD istirahat	1RM, *peak torque*, luas penampang otot, tes fungsional	Kedua kelompok meningkatkan kekuatan, massa otot, dan performa fungsional. Tidak terdapat interaksi kelompok × waktu, sehingga pengaturan berbasis HRV tidak memberikan manfaat tambahan.
8	(Casanova-Lizón et al., 2025)	Kuasi-eksperimental	70 orang dewasa sedenter	2 minggu *baseline* + 11 minggu	RMSSD harian via	VO_2peak, daya aerobik,	Kedua kelompok berbasis HRV meningkatkan

No	Penulis dan Tahun	Desain Studi	Sampel	Latihan dan Durasi	Indeks HRV	Indikator Adaptasi	Kesimpulan
		dengan kelompok kontrol	(18 mandiri, 23 pelatih pribadi, 29 kontrol)	latihan berbasis HRV via aplikasi	aplikasi Selftraining UMH	waktu tes, kekuatan	kebugaran dibandingkan kontrol, kecuali daya aerobik pada kelompok mandiri. Peningkatan kekuatan lebih besar pada kelompok yang didampingi pelatih.

RQ1. Temuan Utama: Respons HRV terhadap Latihan dan Hubungannya dengan Adaptasi

Sintesis terhadap delapan studi menunjukkan bahwa hubungan antara perubahan HRV istirahat dan adaptasi fisiologis tidak selalu bersifat langsung. Pada pelari profesional yang berlatih berdasarkan HRV, peningkatan kecepatan maksimal disertai kecenderungan peningkatan Ln rMSSD, meskipun peningkatan HRV tersebut kecil dan tidak signifikan (Carrasco-Poyatos et al., 2022).

Sebaliknya, pada pelari rekreasional yang menjalani periode peningkatan intensitas atau volume latihan, performa daya tahan meningkat secara serupa, tetapi HRV nokturnal tidak berubah (Nuuttila et al., 2021). Pada pesepeda, perubahan HRV akibat intensifikasi latihan bersifat sangat individual dan dapat diprediksi dari nilai HRV awal, di mana individu dengan HRV awal rendah cenderung mengalami perubahan yang lebih besar (Hebisz, 2021). Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa HRV mencerminkan status otonom individu, tetapi perubahannya tidak selalu sejalan dengan besarnya peningkatan performa.

RQ2. Indeks dan Metode Pengukuran HRV

Hasil analisis menunjukkan bahwa RMSSD atau Ln rMSSD merupakan indeks yang digunakan pada seluruh studi. Indeks ini dipilih karena mencerminkan modulasi vagal, relatif tidak dipengaruhi pola pernapasan, dan dapat diukur dalam durasi singkat. Satu studi juga menggunakan komponen HF dari analisis domain frekuensi.

Dari sisi metode agregasi, sebagian besar studi *HRV-guided training* membandingkan nilai harian atau rata-rata 7 hari dengan rentang normal individu, yang ditetapkan melalui periode *baseline* selama beberapa minggu. Selain rerata, koefisien variasi HRV juga digunakan sebagai penanda stabilitas respons otonom (DeBlauw et al., 2021).

Dari sisi waktu dan perangkat, pengukuran dilakukan pada pagi hari setelah bangun tidur atau selama tidur malam. Perangkat yang digunakan meliputi sensor dada yang terhubung dengan aplikasi telepon pintar, seperti HRV4Training dan Selftraining UMH, sehingga pengukuran dapat dilakukan secara mandiri di luar laboratorium.

RQ3. Efektivitas HRV sebagai Alat Pemantauan dan Preskripsi Latihan

Sebagai dasar preskripsi latihan, enam studi menerapkan *HRV-guided training*. Seluruh studi tersebut melaporkan peningkatan kebugaran atau performa yang setara atau lebih baik dibandingkan pembandingnya. Tiga studi pada atlet daya tahan menunjukkan keunggulan pada sebagian indikator, seperti VO_2max,

peak power output, *time trial* 40 menit, dan kecepatan maksimal. Keunggulan lain yang konsisten adalah meningkatnya jumlah individu dengan respons tinggi dan berkurangnya individu dengan respons rendah.

Namun demikian, pada *high-intensity functional training* dan latihan beban, preskripsi berbasis HRV menghasilkan peningkatan yang setara dengan program terencana tanpa keunggulan tambahan. Menariknya, kelompok *HRV-guided* pada studi HIFT mencapai hasil yang sama dengan sekitar 13–14 hari latihan intensitas tinggi yang lebih sedikit (DeBlauw et al., 2021). Pada orang dewasa sedenter, latihan berbasis HRV, baik secara mandiri melalui aplikasi maupun didampingi pelatih, meningkatkan kebugaran dibandingkan kelompok kontrol tanpa latihan.

Sebagai alat pemantauan, dua studi menunjukkan bahwa HRV istirahat belum cukup sensitif apabila digunakan secara tunggal. HRV tidak berubah meskipun performa meningkat, sedangkan indeks denyut jantung terhadap kecepatan lari lebih mampu membedakan *responder* dan *low responder*. Respons HRV juga sangat bergantung pada nilai awal masing-masing individu.

RQ4. Faktor Penyebab Variasi Hasil

Sintesis penelitian menunjukkan adanya variasi hasil mengenai HRV sebagai indikator adaptasi latihan. Variasi tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor metodologis maupun karakteristik subjek, yaitu sebagai berikut:

Jenis Latihan

Faktor pertama berkaitan dengan jenis latihan. Keunggulan *HRV-guided training* lebih banyak terlihat pada latihan daya tahan, sedangkan pada latihan beban dan HIFT hasilnya setara dengan program terencana. Hal ini diduga karena adaptasi latihan beban lebih ditentukan oleh faktor neuromuskular dibandingkan otonom.

Metode Pengukuran dan Pengambilan Keputusan

Faktor kedua berkaitan dengan waktu pengukuran (pagi atau nokturnal), perangkat, cara agregasi data, serta aturan pengambilan keputusan, misalnya batas *smallest worthwhile change* yang digunakan. Perbedaan ini menyulitkan perbandingan langsung antarstudi.

Karakteristik Subjek dan Nilai Awal HRV

Faktor ketiga berkaitan dengan tingkat kebugaran, usia, jenis kelamin, dan nilai HRV awal. Individu dengan HRV awal rendah menunjukkan perubahan yang lebih besar terhadap intensifikasi latihan, sedangkan populasi lanjut usia dan sedenter mungkin merespons secara berbeda dibandingkan atlet terlatih.

Durasi Intervensi dan Kombinasi Indikator

Faktor lain adalah durasi intervensi yang relatif singkat (7-20 minggu) serta penggunaan indikator pendamping. Studi yang mengombinasikan HRV dengan persepsi pemulihan dan indeks denyut jantung-kecepatan menunjukkan hasil yang lebih konsisten dalam mengurangi respons rendah terhadap latihan.

PEMBAHASAN

Adaptasi fisiologis terhadap latihan merupakan proses kompleks yang melibatkan sistem kardiovaskular, metabolik, neuromuskular, dan saraf otonom. Sistem saraf otonom berperan sentral karena mengatur respons denyut jantung terhadap beban latihan sekaligus proses pemulihan setelahnya (Stanley et al., 2013). Oleh karena itu, HRV yang mencerminkan modulasi otonom secara teoretis

memiliki dasar yang kuat sebagai indikator tidak langsung dari status adaptasi tubuh terhadap latihan.

Temuan tinjauan ini menunjukkan bahwa nilai praktis HRV dalam lima tahun terakhir lebih banyak terletak pada fungsinya sebagai alat pengambil keputusan harian dibandingkan sebagai penanda tunggal adaptasi. Pada studi-studi *HRV-guided training*, sesi intensitas tinggi diberikan ketika HRV berada dalam rentang normal individu, dan diganti dengan latihan ringan ketika HRV menurun. Pendekatan ini memungkinkan stimulus latihan diberikan pada saat sistem otonom berada dalam kondisi siap, sehingga adaptasi dapat dicapai secara lebih efisien (Javaloyes et al., 2020).

Efisiensi tersebut tampak jelas pada studi HIFT, di mana kelompok *HRV-guided* memperoleh peningkatan kebugaran yang sama dengan jumlah hari latihan intensitas tinggi yang jauh lebih sedikit (DeBlauw et al., 2021). Temuan ini memiliki implikasi penting karena beban intensitas tinggi yang berlebihan berkaitan dengan risiko kelelahan dan cedera. Dengan demikian, HRV berpotensi membantu mencapai hasil yang sama dengan beban fisiologis yang lebih rendah.

Namun demikian, temuan bahwa HRV nokturnal tidak berubah meskipun performa meningkat menunjukkan bahwa HRV tidak selalu sensitif terhadap adaptasi pada individu yang sudah terlatih. Hal ini dapat dijelaskan oleh efek plafon, di mana aktivitas vagal pada individu terlatih sudah tinggi sehingga ruang perubahannya terbatas. Selain itu, HRV harian dipengaruhi banyak faktor non-latihan, seperti kualitas tidur, stres psikologis, dan hidrasi, sehingga sinyal adaptasi dapat tertutupi apabila data tidak diolah secara tepat (Plews et al., 2013).

Temuan bahwa nilai HRV awal dapat memprediksi besarnya perubahan HRV memperkuat pentingnya pendekatan individual. Individu dengan HRV awal rendah memiliki ruang adaptasi otonom yang lebih besar dibandingkan individu dengan HRV awal tinggi. Oleh karena itu, interpretasi HRV sebaiknya selalu dibandingkan dengan rentang normal individu, bukan dengan nilai rujukan kelompok (Hebisz, 2021).

Terkait jenis latihan, manfaat tambahan HRV tidak terlihat pada latihan beban pada perempuan lanjut usia maupun pada HIFT. Adaptasi latihan beban, seperti peningkatan kekuatan dan hipertrofi otot, lebih ditentukan oleh faktor neuromuskular dan struktural, sehingga status otonom yang tercermin pada HRV mungkin kurang relevan sebagai dasar pengaturan latihan. Temuan ini sejalan dengan meta-analisis yang menunjukkan bahwa keunggulan *HRV-guided training* dalam meningkatkan VO_2max dan performa daya tahan hanya kecil dan tidak signifikan secara statistik (Manresa-Rocamora et al., 2021). Meta-analisis lain melaporkan efek positif yang kecil terhadap VO_2max, yang dipengaruhi oleh tingkat kemampuan dan jenis kelamin atlet (Granero-Gallegos et al., 2020). Hal serupa dilaporkan oleh Düking et al., (2021) yang menemukan bahwa latihan berbasis HRV memiliki efek sedang terhadap parameter fisiologis submaksimal, tetapi hanya efek kecil terhadap performa dan VO_2peak, dengan jumlah *non-responder* yang lebih sedikit.

Bukti pada olahraga beregu memberikan gambaran yang sejalan. Pada pemain sepak bola perempuan, peningkatan RMSSD setelah delapan minggu pramusim disertai peningkatan kebugaran aerobik dan lompatan vertikal (González-Fernández et al., 2024). Perubahan RMSSD menjelang akhir musim kompetisi juga berkorelasi kuat dengan perubahan performa tes lapangan,

meskipun rerata HRV kelompok tidak berubah (Morales et al., 2019). Sebaliknya, pada pemain muda elite selama musim kompetisi, HRV relatif stabil sebelum dan sesudah pertandingan. Temuan ini menegaskan bahwa perubahan individual lebih informatif dibandingkan rerata kelompok (Sanchez-Sanchez et al., 2021).

Perbedaan hasil antarstudi juga dapat dijelaskan melalui keterbatasan metodologis. Sebagian besar studi memiliki ukuran sampel kecil (7-70 partisipan), durasi intervensi singkat, dan tidak menerapkan pembutaan (*blinding*) karena sifat intervensi yang tidak memungkinkan. Selain itu, satu studi bersifat observasional dan satu studi menggunakan kelompok kontrol yang tidak dirandomisasi, sehingga hubungan sebab-akibat belum dapat dipastikan sepenuhnya.

Implikasi praktis dari temuan ini menunjukkan bahwa HRV dapat dimanfaatkan oleh pelatih dan guru pendidikan jasmani sebagai alat pemantauan yang murah dan non-invasif, terutama dengan memanfaatkan aplikasi telepon pintar. Penerapannya pada orang dewasa sedenter juga menunjukkan bahwa latihan berbasis HRV dapat dilakukan secara mandiri tanpa pendampingan langsung (Casanova-Lizón et al., 2025). Bahkan dalam rehabilitasi jantung, latihan interval berbasis HRV menghasilkan peningkatan VO_2max yang setara dengan HIIT tradisional dengan volume latihan intensitas tinggi yang lebih sedikit (Carrasco-Poyatos et al., 2024). Pengukuran sebaiknya dilakukan secara konsisten pada pagi hari dalam posisi yang sama, kemudian dibandingkan dengan rentang normal individu. Namun demikian, HRV tidak dapat menggantikan penilaian menyeluruh, sehingga pendekatan yang mengombinasikan HRV dengan beban latihan, persepsi pemulihan, dan tes performa berkala merupakan strategi yang lebih efektif.

SIMPULAN

Hasil tinjauan literatur sistematis terhadap studi-studi yang memenuhi kriteria inklusi menunjukkan bahwa *heart rate variability* (HRV), terutama RMSSD dan Ln rMSSD, berpotensi sebagai indikator non-invasif untuk memantau dan mengindividualisasi adaptasi fisiologis terhadap latihan fisik. *HRV-guided training* menghasilkan peningkatan kebugaran dan performa yang setara atau lebih baik dibandingkan latihan terencana, dengan keunggulan yang lebih jelas pada latihan daya tahan, jumlah sesi intensitas tinggi yang lebih sedikit, serta berkurangnya individu dengan respons rendah. Namun demikian, temuan tersebut tidak sepenuhnya konsisten. Perubahan HRV istirahat tidak selalu sejalan dengan peningkatan performa, dan manfaat tambahan HRV tidak tampak pada latihan beban maupun *high-intensity functional training*. Interpretasi HRV dipengaruhi oleh jenis latihan, metode pengukuran dan aturan pengambilan keputusan, nilai HRV awal, durasi intervensi, serta karakteristik subjek. Oleh karena itu, HRV lebih tepat diposisikan sebagai salah satu komponen dalam sistem pemantauan latihan yang dikombinasikan dengan indikator beban latihan dan persepsi pemulihan, bukan sebagai indikator tunggal. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain jumlah studi yang terbatas, ukuran sampel yang kecil, heterogenitas desain penelitian, jenis latihan, dan metode pengukuran HRV, serta durasi intervensi yang relatif singkat. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji penerapan HRV pada olahraga beregu, atlet muda, dan program latihan jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *46*(10), 1461–1486. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0484-2

Bittencourt, D., de Oliveira, R. M., da Silva, D. G., Bergamasco, J. G. A., Cesar, M. C., Godoi Jacomassi, D., de Camargo, J. B. B., Kingsley, J. D., & Libardi, C. A. (2024). Effects of individualized resistance training prescription with heart rate variability on muscle strength, muscle size and functional performance in older women. *Frontiers in Physiology*, *15*, Article 1472702. https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1472702

Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, *5*, Article 73. https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073

Carrasco-Poyatos, M., González-Quílez, A., Martínez-González-Moro, I., & Granero-Gallegos, A. (2020). HRV-guided training for professional endurance athletes: A protocol for a cluster-randomized controlled trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(15), 5465. https://doi.org/10.3390/ijerph17155465

Carrasco-Poyatos, M., González-Quílez, A., Altini, M., & Granero-Gallegos, A. (2022). Heart rate variability-guided training in professional runners: Effects on performance and vagal modulation. *Physiology & Behavior*, *244*, 113654. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2021.113654

Carrasco-Poyatos, M., López-Osca, R., Martínez-González-Moro, I., & Granero-Gallegos, A. (2024). HRV-guided training vs traditional HIIT training in cardiac rehabilitation: A randomized controlled trial. *GeroScience*, *46*(2), 2093–2106. https://doi.org/10.1007/s11357-023-00951-x

Casanova-Lizón, A., Manresa-Rocamora, A., Peña-González, I., & Moya-Ramón, M. (2025). Impact of heart rate variability-based exercise prescription: Self-guided by technology and trainer-guided exercise in sedentary adults. *Frontiers in Sports and Active Living*, *7*, Article 1578478. https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1578478

DeBlauw, J. A., Drake, N. B., Kurtz, B. K., Crawford, D. A., Carper, M. J., Wakeman, A., & Heinrich, K. M. (2021). High-intensity functional training guided by individualized heart rate variability results in similar health and fitness improvements as predetermined training with less effort. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, *6*(4), 102. https://doi.org/10.3390/jfmk6040102

Düking, P., Zinner, C., Trabelsi, K., Reed, J. L., Holmberg, H.-C., Kunz, P., & Sperlich, B. (2021). Monitoring and adapting endurance training on the basis of heart rate variability monitored by wearable technologies: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *24*(11), 1180–1192. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.04.012

Flatt, A. A., & Esco, M. R. (2016). Evaluating individual training adaptation with smartphone-derived heart rate variability in a collegiate female soccer team. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(2), 378–385. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001095

González-Fernández, F. T., Silva, A. F., Castillo Rodriguez, A., Onetti-Onetti, W., & Clemente, F. M. (2024). Effects of 8 weeks pre-season training on physical fitness, heart rate variability and cognition in women soccer players. *Heliyon*, *10*(2), e24955. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24955

Granero-Gallegos, A., González-Quílez, A., Plews, D., & Carrasco-Poyatos, M. (2020). HRV-based training for improving VO2max in endurance athletes: A systematic review with meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(21), 7999. https://doi.org/10.3390/ijerph17217999

Hebisz, P. (2021). An attempt to predict changes in heart rate variability in the training intensification process among cyclists. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(14), 7636. https://doi.org/10.3390/ijerph18147636

Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., & Moya-Ramon, M. (2019). Training prescription guided by heart-rate variability in cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(1), 23–32. https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0122

Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., Plews, D., & Moya-Ramon, M. (2020). Training prescription guided by heart rate variability vs. block periodization in well-trained cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *34*(6), 1511–1518. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003337

Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., & Tulppo, M. P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, *101*(6), 743–751. https://doi.org/10.1007/s00421-007-0552-2

Manresa-Rocamora, A., Sarabia, J. M., Javaloyes, A., Flatt, A. A., & Moya-Ramon, M. (2021). Heart rate variability-guided training for enhancing cardiac-vagal modulation, aerobic fitness, and endurance performance: A methodological systematic review with meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(19), 10299. https://doi.org/10.3390/ijerph181910299

Morales, J., Roman, V., Yáñez, A., Solana-Tramunt, M., Álamo, J., & Fíguls, A. (2019). Physiological and psychological changes at the end of the soccer season in elite female athletes. *Journal of Human Kinetics*, *66*, 99–109. https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0051

Nuuttila, O.-P., Nummela, A., Häkkinen, K., Seipäjärvi, S., & Kyröläinen, H. (2021). Monitoring training and recovery during a period of increased intensity or volume in recreational endurance athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(5), 2401. https://doi.org/10.3390/ijerph18052401

Nuuttila, O.-P., Nummela, A., Korhonen, E., Häkkinen, K., & Kyröläinen, H. (2022). Individualized endurance training based on recovery and training status in recreational runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *54*(10), 1690–1701. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002968

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., . . . Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, Article n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(11), 3729–3741. https://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4

Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Evaluating training adaptation with heart-rate measures: A methodological comparison. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *8*(6), 688–691. https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0298

Plews, D. J., Laursen, P. B., Le Meur, Y., Hausswirth, C., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2014). Monitoring training with heart-rate variability: How much compliance is needed for valid assessment? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(5), 783–790.

Sanchez-Sanchez, J., Botella, J., Felipe Hernandez, J. L., Leon, M., Paredes-Hernandez, V., Colino, E., Gallardo, L., & Garcia-Unanue, J. (2021). Heart rate variability and physical demands of in-season youth elite soccer players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(4), 1391. https://doi.org/10.3390/ijerph18041391

Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, *5*, Article 258. https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258

Stanley, J., Peake, J. M., & Buchheit, M. (2013). Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: Implications for training prescription. *Sports Medicine*, *43*(12), 1259–1277.

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, *93*(5), 1043–1065. https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043

Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J., & Häkkinen, K. (2016). Individual endurance training prescription with heart rate variability. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *48*(7), 1347–1354.