

VO₂max sebagai Prediktor Kebugaran Kardiorespirasi: Studi Literatur

Ramadhana Komala¹, Wiwi Febriani¹

¹Program Studi Gizi, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung

Abstrak

VO₂max atau *maximal oxygen uptake* merupakan indikator utama kebugaran kardiorespirasi yang menggambarkan kapasitas maksimal tubuh dalam mengonsumsi oksigen selama aktivitas fisik. Dalam satu dekade terakhir, VO₂max tidak hanya digunakan untuk menilai performa fisik, tetapi juga diakui sebagai prediktor kuat terhadap morbiditas dan mortalitas akibat penyakit kronis seperti penyakit jantung, diabetes, dan kanker. Nilainya sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti usia, jenis kelamin, komposisi tubuh, status gizi, dan aktivitas fisik. Sebagai tolok ukur efektivitas program latihan, peningkatan VO₂max mencerminkan adaptasi fisiologis yang positif, terutama melalui latihan aerobik terstruktur. Seiring kemajuan teknologi, metode pengukuran VO₂max kini tidak hanya terbatas pada laboratorium, tetapi juga dapat dilakukan secara praktis melalui tes lapangan, model estimasi non-latihan, serta *wearable devices* berbasis sensor dan algoritma *artificial intelligence*. Kajian ini menyimpulkan bahwa VO₂max merupakan parameter yang esensial dalam penilaian kebugaran dan kesehatan, serta memiliki potensi besar sebagai alat skrining dan pemantauan kesehatan masyarakat secara luas.

Kata kunci: Prediktor kebugaran kardiorespirasi, studi literatur, VO₂max

VO₂max as a Predictor of Cardiorespiratory Fitness: A Literature Review

Abstract

VO₂max or maximal oxygen uptake is the main indicator of cardiorespiratory fitness that describes the body's maximum capacity to consume oxygen during physical activity. In the last decade, VO₂max has not only been used to assess physical performance, but has also been recognized as a strong predictor of morbidity and mortality from chronic diseases such as heart disease, diabetes, and cancer. Its value is greatly influenced by various factors such as age, gender, body composition, nutritional status, and physical activity. As a measure of the effectiveness of an exercise program, an increase in VO₂max reflects positive physiological adaptations, especially through structured aerobic exercise. Along with technological advances, VO₂max measurement methods are now not only limited to laboratories, but can also be done practically through field tests, non-exercise estimation models, and wearable devices based on sensors and artificial intelligence algorithms. This study concludes that VO₂max is an essential parameter in assessing fitness and health, and has great potential as a screening and monitoring tool for public health in general.

Keywords: Cardiorespiratory fitness predictors, literature study, VO₂max

Korespondensi: Ramadhana Komala, S.Gz., M.Si., alamat Jl. Soemantri Brodjonegoro No. 1, HP 082375630936, e-mail ramadhana.komala@fk.unila.ac.id

Diterima : 16 Juni 2025

Direview : 20 Juni 2025

Publish : 29 Juni 2025

Pendahuluan

Kebugaran kardiorespirasi merupakan salah satu komponen utama dari kebugaran yang berhubungan langsung dengan kesehatan dan kapasitas fungsional individu. Parameter utama yang digunakan untuk menilai kebugaran adalah VO₂max atau *maximal oxygen uptake* yaitu kapasitas maksimal tubuh dalam mengonsumsi oksigen saat melakukan aktivitas fisik dengan intensitas maksimal. Pengukuran VO₂max merepresentasikan efisiensi sistem pernapasan, sistem kardiovaskular, dan otot dalam mengambil serta memanfaatkan oksigen untuk produksi energi.¹ Oleh karena itu, VO₂max tidak hanya menggambarkan tingkat kebugaran, tetapi juga menjadi cerminan dari kemampuan fisiologis tubuh dalam mempertahankan aktivitas fisik yang berkelanjutan.

Signifikansi VO₂max semakin diakui dalam bidang klinis dan kesehatan masyarakat karena keterkaitannya dengan berbagai indikator kesehatan, termasuk risiko penyakit tidak menular dan kematian dini. Studi sistematis dan meta-analisis menunjukkan bahwa rendahnya VO₂max secara konsisten dikaitkan dengan peningkatan risiko penyakit kardiovaskular, diabetes tipe 2, kanker, dan *all-cause mortality*.² American Heart Association (AHA) telah merekomendasikan agar VO₂max atau kebugaran kardiorespirasi digunakan sebagai salah satu parameter vital dalam evaluasi kesehatan rutin.³ Hal ini didasarkan pada bukti bahwa peningkatan minimal dalam VO₂max (sekitar 1 MET) dapat mengurangi risiko kematian sebesar 10–15%.

Nilai VO₂max sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor internal dan eksternal. Faktor usia dan jenis kelamin diketahui memainkan peran penting dalam menentukan kapasitas maksimal oksigen seseorang, di mana VO₂max cenderung menurun seiring bertambahnya usia dan biasanya lebih tinggi pada laki-laki dibandingkan perempuan (Wilmore et al., 2018; Carrier et al., 2025).^{4,5} Selain itu, status gizi dan komposisi tubuh juga turut menentukan tingkat VO₂max, di mana individu dengan lemak tubuh lebih rendah dan massa otot lebih besar umumnya memiliki nilai VO₂max yang lebih tinggi.⁶ Aktivitas fisik rutin, terutama dalam bentuk latihan aerobik atau interval intensitas tinggi (HIIT), terbukti

meningkatkan kapasitas VO₂max secara signifikan.⁷

Perkembangan teknologi juga telah memperluas cara pengukuran dan prediksi VO₂max. Pengukuran langsung menggunakan alat analisis dalam uji latihan maksimal (*graded exercise test*) masih menjadi *golden standard*, namun mahal dan memerlukan laboratorium khusus. Sebagai alternatif, berbagai metode pengukuran tidak langsung telah dikembangkan, termasuk tes lapangan (seperti *Cooper test*, *20-meter shuttle run*), model prediksi berbasis demografis, dan penggunaan *wearable devices* yang mengandalkan sensor denyut jantung dan akselerometer.^{8,9} Bahkan, model berbasis kecerdasan buatan telah menunjukkan akurasi tinggi dalam memperkirakan VO₂max, membuka peluang besar untuk pemantauan kebugaran secara massal dan *real time*.¹⁰

Berdasarkan pentingnya VO₂max dalam menilai kebugaran kardiorespirasi serta potensinya sebagai indikator kesehatan populasi, maka kajian literatur ini bertujuan untuk menelaah secara komprehensif peran VO₂max sebagai prediktor kebugaran kardiorespirasi. Kajian ini akan membahas konsep fisiologis VO₂max, hubungannya dengan kesehatan dan mortalitas, faktor-faktor yang mempengaruhi nilainya, efektivitas berbagai intervensi latihan terhadap peningkatan VO₂max, serta metode pengukuran dan penggunaannya di berbagai kelompok populasi. Diharapkan hasil tinjauan ini dapat menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan program peningkatan kebugaran serta pemantauan kesehatan masyarakat berbasis bukti.

VO₂max sebagai Prediktor Mortalitas dan Penyakit

VO₂max telah lama digunakan sebagai indikator utama kebugaran kardiorespirasi, tetapi dalam satu dekade terakhir, banyak studi menyoroti perannya yang lebih luas sebagai prediktor kuat terhadap berbagai hasil klinis, termasuk mortalitas dan morbiditas. Berbagai studi kohort besar menunjukkan bahwa individu dengan VO₂max yang rendah memiliki risiko kematian yang jauh lebih tinggi, baik akibat penyakit kardiovaskular, kanker,

maupun sebab lainnya.³ Dalam hasil studi meta analisis menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1 MET dalam kapasitas kebugaran berasosiasi dengan penurunan risiko kematian sebesar 13% untuk semua penyebab dan 15% untuk penyakit kardiovaskular.² *American Heart Association* (AHA) secara resmi merekomendasikan VO₂max sebagai parameter vital dalam praktik klinis karena nilai prediktifnya yang kuat terhadap status kesehatan populasi.

Dalam populasi klinis, VO₂max menunjukkan kemampuan prediksi yang signifikan terhadap kejadian penyakit dan mortalitas pada berbagai kelompok pasien, termasuk mereka dengan gagal jantung, hipertensi, diabetes melitus tipe 2, dan kanker. Ezzatvar et al. tahun 2021 dalam kajiannya terhadap pasien kardiovaskular menyatakan bahwa individu dengan VO₂max rendah memiliki risiko lebih tinggi terhadap kejadian penyakit jantung.¹¹ Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa estimasi kebugaran kardiorespirasi tanpa latihan sudah cukup untuk memprediksi risiko gangguan metabolik, termasuk resistensi insulin dan prediabetes.¹² VO₂max yang rendah menandakan efisiensi fisiologis yang buruk dalam hal perfusi dan oksigenasi jaringan, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap berbagai kerusakan sistemik kronis.

Tidak hanya pada pasien dengan penyakit kronis, bahkan pada individu sehat pun nilai VO₂max dapat digunakan sebagai biomarker pencegahan dini. Studi longitudinal menunjukkan bahwa estimasi VO₂max secara tidak langsung memiliki kemampuan prediksi mortalitas yang hampir setara dengan pengukuran langsung melalui uji *treadmill*.¹³ Hal ini memperkuat argumen bahwa kebugaran kardiorespirasi merupakan *biomarker* vital yang lebih baik dibandingkan indeks massa tubuh atau tekanan darah dalam memprediksi prognosis jangka panjang. Penggunaan VO₂max sebagai alat prediksi dapat mendukung upaya preventif dan promotif dalam sistem pelayanan kesehatan,

serta menjadi alat ukur praktis dan relevan untuk skrining kesehatan populasi luas.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi VO₂max

VO₂max sebagai indikator utama kebugaran kardiorespirasi sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor biologis dan fisiologis. Salah satu faktor yang paling dominan adalah usia, di mana kapasitas VO₂max mencapai puncaknya pada usia dewasa muda sekitar usia 20-30 tahun, kemudian menurun sekitar 5-10% setiap dekade setelahnya.¹⁴ Penurunan ini terjadi akibat perubahan struktur dan fungsi sistem kardiovaskular serta kapasitas oksidatif otot. Faktor selanjutnya adalah jenis kelamin yang mempengaruhi nilai VO₂max. Jenis kelamin laki-laki umumnya memiliki kapasitas lebih tinggi dibandingkan perempuan karena perbedaan komposisi tubuh, volume paru-paru, dan kadar hemoglobin.^{4,5}

Faktor lain yang sangat berpengaruh adalah komposisi tubuh. Individu dengan massa otot yang lebih tinggi dan persentase lemak tubuh yang lebih rendah cenderung memiliki VO₂max lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan metabolik yang lebih besar dan efisiensi distribusi oksigen ke jaringan otot aktif.⁶

Individu dengan obesitas atau kelebihan lemak tubuh menunjukkan peningkatan beban kerja jantung yang berdampak pada rendahnya nilai VO₂max.¹⁵ Selain itu, status gizi secara umum, termasuk asupan energi dan zat gizi mikro seperti zat besi dan vitamin B kompleks turut berkontribusi terhadap optimalisasi metabolisme oksigen dalam jaringan tubuh.¹⁶

Selain faktor biologis dan gizi, tingkat aktivitas fisik merupakan variabel yang paling bisa dimodifikasi dan sangat berperan dalam meningkatkan VO₂max. Hasil studi menunjukkan bahwa program latihan berbasis aerobik intensitas sedang hingga tinggi, termasuk HIIT (*High Intensity Interval Training*), mampu meningkatkan VO₂max secara signifikan dalam waktu 6–12 minggu.¹⁷ Aktivitas fisik yang dilakukan secara teratur meningkatkan volume sekuncup jantung,

densitas kapiler otot, serta aktivitas enzim mitokondria, yang semuanya berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi pengambilan dan pemanfaatan oksigen. Bahkan, model prediksi yang menggabungkan variabel demografis, aktivitas fisik, dan komposisi tubuh mampu memperkirakan nilai VO₂max secara akurat.¹⁸ Dengan demikian, upaya untuk meningkatkan VO₂max sebaiknya difokuskan pada kombinasi pendekatan latihan fisik, manajemen gizi, dan pemantauan faktor usia serta jenis kelamin.

VO₂max dalam Evaluasi Program Latihan

VO₂max merupakan parameter fisiologis yang sangat penting dalam mengevaluasi efektivitas program latihan, baik pada individu sehat, atlet, maupun pasien dengan kondisi kronis. Latihan fisik, terutama jenis latihan aerobik, terbukti memiliki efek signifikan terhadap peningkatan VO₂max. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *High-Intensity Interval Training* (HIIT) mampu meningkatkan VO₂max secara lebih cepat dan efisien dibandingkan latihan kontinu intensitas sedang.⁷ Hasil temuan ini diperkuat studi meta-analisis menunjukkan bahwa VO₂max meningkat secara signifikan setelah intervensi latihan aerobik minimal 6 minggu, bahkan pada individu yang sebelumnya kurang aktivitas fisik.¹⁷

VO₂max tidak hanya digunakan untuk menilai keberhasilan program latihan pada populasi umum, tetapi juga memiliki peran penting dalam program rehabilitasi jantung, penurunan berat badan, dan pembinaan atletik. Perubahan nilai VO₂max setelah program rehabilitasi dapat mencerminkan pemulihan fungsi kardiopulmoner pasien.¹¹ Pada atlet, evaluasi berkala VO₂max sangat membantu pelatih dalam menentukan intensitas latihan yang tepat dan menyesuaikan program pembinaan agar sesuai dengan kebutuhan fisiologis individu.⁹ Selain itu, penggunaan *wearable devices* seperti *smartwatch* dan *heart rate monitor* memungkinkan pengukuran dan pemantauan

tren VO₂max secara kontinu, yang meningkatkan validitas dan efisiensi evaluasi latihan tanpa perlu pengujian laboratorium yang mahal.⁵

Penggunaan nilai VO₂max sebagai tolok ukur efektivitas latihan juga semakin relevan dalam konteks populasi lansia dan individu dengan gaya hidup sedentari. Peningkatan VO₂max pada kelompok ini berhubungan langsung dengan peningkatan kapasitas fungsional, penurunan risiko penyakit kronis, dan peningkatan kualitas hidup.¹⁴ Oleh karena itu, pemantauan perubahan VO₂max sebelum dan sesudah intervensi latihan menjadi strategi penting dalam menilai keberhasilan suatu program kebugaran. Dengan semakin berkembangnya metode prediksi berbasis algoritma dan data *wearable devices*, evaluasi efektivitas program latihan berbasis VO₂max menjadi semakin terjangkau, praktis, dan dapat diterapkan secara luas dalam pengaturan klinis maupun komunitas.

Metode Pengukuran dan Prediksi VO₂max

VO₂max merupakan parameter fisiologis penting yang mencerminkan kapasitas tubuh dalam mengonsumsi oksigen selama aktivitas maksimal. Metode pengukuran langsung VO₂max umumnya dilakukan menggunakan *Cardiopulmonary Exercise Testing* (CPET) yang memanfaatkan analisis pernapasan saat seseorang menjalani uji latihan maksimal, seperti *treadmill* atau *cycle ergometer*. Metode ini dianggap sebagai *gold standard* karena mampu memberikan data akurat mengenai kemampuan sistem kardiorespirasi. Namun, meskipun CPET memiliki keunggulan presisi, penggunaannya terbatas karena biaya mahal, keterbatasan fasilitas laboratorium, serta keharusan adanya tenaga ahli. Selain itu, studi terbaru menunjukkan bahwa akurasi antar perangkat CPET dapat bervariasi. Hasil uji 15 sistem CPET ditemukan bahwa meskipun beberapa perangkat cukup presisi, perbedaan teknis dapat menghasilkan kesalahan pengukuran

hingga 3%, menyoroiti pentingnya kalibrasi dan pemilihan sistem yang tepat dalam praktik laboratorium.¹⁹

Untuk mengatasi keterbatasan metode langsung, berbagai metode pengukuran tidak langsung telah dikembangkan. Tes lapangan seperti *20-meter shuttle run test*, *Cooper 12-minute run*, dan *Rockport One-Mile Walk Test* menjadi alternatif yang populer dan praktis untuk memperkirakan nilai VO₂max. Hasil studi meta analisis menunjukkan bahwa *20-meter shuttle run test* memiliki validitas tinggi dalam memperkirakan VO₂max, bahkan pada populasi remaja dan dewasa muda.⁸ Selain itu, pendekatan estimasi berbasis model prediktif seperti *estimated Cardiorespiratory Fitness* (eCRF) yang menggunakan variabel seperti usia, jenis kelamin, indeks massa tubuh, dan aktivitas fisik juga terbukti cukup akurat. Model eCRF dapat digunakan untuk memprediksi risiko mortalitas dan gangguan metabolik dengan ketepatan yang sebanding dengan pengukuran VO₂max langsung.¹³ Pendekatan ini semakin relevan dalam konteks skrining kesehatan masyarakat karena efisien, murah, dan tidak memerlukan uji maksimal yang memberatkan.

Perkembangan teknologi *wearable devices* dalam dekade terakhir telah membuka peluang baru dalam prediksi VO₂max secara terus-menerus di luar laboratorium. Jam tangan pintar dan perangkat kebugaran kini menggunakan sensor denyut jantung, akselerometer, serta algoritma *machine learning* untuk memperkirakan VO₂max secara *real time*. Review INTERLIVE tahun 2021 menyebutkan bahwa algoritma berbasis aktivitas olahraga memiliki error sistematis rendah, tetapi masih memiliki variasi acak sekitar $\pm 10\text{--}15$ mL/kg/menit.²⁰ Dalam studi validasi Garmin Fenix 6, melaporkan nilai MAPE (*mean absolute percentage error*) sebesar 7% terhadap nilai VO₂max laboratorium.²¹ Hasil penelitian di *University of Cambridge* membuktikan bahwa penggunaan data *wearable device* dengan *artificial intelligence* mampu memprediksi VO₂max dengan korelasi

0,82, menandakan keandalan prediksi berbasis data aktivitas harian.⁹ Temuan ini mengubah paradigma pengukuran kebugaran, dari pengujian terfokus di laboratorium menjadi pemantauan berkelanjutan.

Simpulan

VO₂max merupakan indikator fisiologis yang tidak hanya mencerminkan tingkat kebugaran kardiorespirasi, tetapi juga terbukti secara ilmiah menjadi prediktor kuat terhadap risiko penyakit kronis dan kematian dini. Nilai VO₂max dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti usia, jenis kelamin, status gizi, komposisi tubuh, dan aktivitas fisik, yang kesemuanya saling berinteraksi dalam menentukan kapasitas maksimal tubuh dalam menggunakan oksigen. Dalam konteks program latihan, VO₂max digunakan untuk mengevaluasi efektivitas intervensi, baik pada populasi umum, atlet, maupun pasien klinis. Perkembangan teknologi pengukuran, baik secara langsung melalui CPET maupun tidak langsung melalui tes lapangan, model estimasi, dan *wearable devices* telah memperluas aksesibilitas dan akurasi pemantauan VO₂max di berbagai kalangan. Dengan demikian, VO₂max layak dijadikan sebagai indikator utama dalam penilaian kebugaran, penentuan prognosis klinis, dan evaluasi program peningkatan kesehatan masyarakat.

Daftar Pustaka

1. Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2017). Maximal oxygen uptake: "Classical" versus "contemporary" viewpoints. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(4), 733–748. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001149>.
2. Kodama, S., Saito, K., Tanaka, S., Maki, M., Yachi, Y., Asumi, M., Sugawara, A., & Sone, H. (2019). Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events: A meta-analysis. *JAMA*, 301(19), 2024–2035. <https://doi.org/10.1001/jama.301.19.2024>
3. Ross, R., Blair, S. N., Arena, R., Church, T. S.,

- Després, J. P., Franklin, B. A., Haskell, W. L., Kaminsky, L. A., Levine, B. D., Lavie, C. J., Myers, J., Niebauer, J., Sallis, R., Sawada, S. S., Sui, X., & Wisløff, U. (2016). Importance of assessing cardiorespiratory fitness in clinical practice: A case for fitness as a clinical vital sign. *Circulation*, 134(24), e653–e699. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000461>
4. Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2018). *Physiology of sport and exercise* (7th ed.). Human Kinetics.
5. Carrier, B., Marten Chaves, S., & Navalta, J. W. (2025). Validation of aerobic capacity (VO_2max) and pulse oximetry in wearable technology. *Sensors*, 25(1), 275. <https://doi.org/10.3390/s25010275>
6. Aires, L., Silva, P., Silva, G., & Ribeiro, J. C. (2016). Relationship between body mass index and cardiorespiratory fitness in children and adolescents. *Journal of Physical Activity and Health*, 13(8), 837–844. <https://doi.org/10.1123/jpah.2014-0567>
7. Milanović, Z., Sporiš, G., & Weston, M. (2015). Effectiveness of high-intensity interval training (HIIT) vs continuous endurance training for VO_2max improvements: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(10), 1469–1481. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0365-0>
8. Mayorga-Vega, D., Aguilar-Soto, P., & Vician, J. (2016). Criterion-related validity of the 20-m shuttle run test for estimating cardiorespiratory fitness: A meta-analysis. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(3), 535–545.
9. Spathis, D., Camplani, M., & Mascolo, C. (2022). Longitudinal cardio-respiratory fitness prediction from wearable devices. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2204.10232>
10. Wu, Y., Zhou, P., & Zhao, J. (2022). Turning silver into gold: Domain adaptation with noisy labels for wearable-based VO_2max prediction. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2212.03416>
11. Ezzatvar, Y., Calatayud, J., Casana, J., Andersen, L. L., & López-Bueno, R. (2021). Cardiorespiratory fitness and mortality in cardiovascular disease patients: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 10(2), 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.06.003>
12. Sloan, R. A., Sawada, S. S., & Lee, I. M. (2023). Estimated cardiorespiratory fitness and risk of abnormal glucose metabolism in adults: A cohort study. *Journal of Clinical Medicine*, 12(2), 341. <https://doi.org/10.3390/jcm12020341>
13. Lee, H. A., Kim, J., Park, S. Y., & Lee, J. H. (2024). Comparison of estimated cardiorespiratory fitness and directly measured VO_2max to predict mortality in older adults. *Journal of Sport and Health Science*, 13(1), 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2023.06.004>
14. Gallo-Villegas, J. A., & Calderón, J. C. (2023). Association between muscle mass and VO_2max in older adults: A cross-sectional analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 123(2), 257–266. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-05017-4>
15. Majid, H. A., Ramli, L. H., Lim, Y. C., Bakar, S. A., & Su, T. T. (2016). Physical activity and its association with adiposity and lipid profile among adolescents: The MyHeARTs study. *Scientific Reports*, 6, 39170. <https://doi.org/10.1038/srep39170>
16. Gibson, R. S. (2015). *Principles of nutritional assessment* (2nd ed.). Oxford University Press.
17. Martinez, D., Castro, E. A., & Castillo, C. E. (2017). Effects of a physical activity program on VO_2max and quality of life in sedentary adults. *Physiology & Behavior*, 181, 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.09.007>
18. Patel, Z. B., Nakamura, Y., & Tanaka, H. (2016). Predicting VO_2max using heart rate response during daily activities in Japanese women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(4), 823–830.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000826>

19. Van Hooren, B., Kamps, D., Mornieux, G., & Bosch, F. (2024). Accuracy of respiratory gas exchange measurements in 15 commercially available metabolic carts. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 34(3), e14607. <https://doi.org/10.1111/sms.14607>
20. INTERLIVE Network. (2021). Validity of estimating the maximal oxygen consumption by consumer wearables: Recommendations for manufacturers and end-users. *Sports Medicine*, 51(11), 2175–2187. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01489-3>
21. Carrier, B., Creer, A., & Williams, L. (2020). Validation of Garmin Fenix 3 HR to estimate VO₂max in physically active adults. *Journal for the Measurement of Physical Behaviour*, 3(1), 26–31. <https://doi.org/10.1123/jmpb.2019-0030>