JOURNAL OF
INTEGRATIVE ISLAMIC MEDICINE
E-ISSN: xxx-xxx | Vol. 1 No. 1 Juni 2026

Chrono-Exercise dan Respons Fisiologis Sepanjang Hari: Tinjauan Naratif untuk Individualisasi Peresepan Latihan

Likuidita Yona Ramadini[1], **Afif Ramadhan**[2], **Muhammad Rouhun Munajih**[1]

[1] Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
[2] Universitas Gadjah Mada.

Kata kunci:
chrono-exercise; irama sirkadian; waktu latihan; kronotipe; peresepan latihan

Korespondensi
Likuidita Yona Ramadini | Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, | likuiditayr@gmail.com.
Co-author: Afif Ramadhan, Universitas Gadjah Mada, afif.ramadhan@mail.ugm.ac.id.
Co-author: Muhammad Rouhun Munajih | Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga | munajih.rouhun@gmail.com.

Diterima - 10 April 2026
Direvisi - 22 Mei 2026
Disetujui - 28 Mei 2026
Terbit daring - 12 Juni 2026 - 12 Juni 2026

© Author(s) (or their employer(s)) 2026. Re-use permitted under CC BY-NC. No commercial re-use. See rights and permissions. Published by JGA

ABSTRAK

Pendahuluan: Irama sirkadian membentuk variasi harian pada fungsi metabolik, neuromuskular, kardiovaskular, dan endokrin yang dapat memodifikasi respons terhadap latihan. Meskipun kajian chrono-exercise berkembang pesat, bukti mengenai waktu latihan masih heterogen karena perbedaan populasi, modalitas, intensitas, status nutrisi, kronotipe, serta definisi waktu latihan. Tinjauan ini bertujuan menyintesis hubungan antara fase sirkadian, kesiapan fisiologis, dan respons latihan serta menilai implikasinya bagi individualisasi peresepan latihan.

Metode: Tinjauan naratif dilakukan melalui penelusuran PubMed, Scopus, dan Google Scholar untuk artikel berbahasa Inggris yang diterbitkan pada 2010–2026. Studi eksperimental, observasional, tinjauan sistematis, dan tinjauan naratif yang relevan dengan variasi respons latihan menurut waktu dalam sehari digunakan untuk sintesis konseptual.

Hasil: Bukti menunjukkan pola yang bergantung pada luaran dan konteks, bukan satu waktu latihan yang secara universal unggul. Latihan pagi sering berkaitan dengan oksidasi lemak, respons glikemik, dan potensi pergeseran fase sirkadian; sore hingga awal malam bertepatan dengan suhu inti dan kesiapan neuromuskular yang relatif tinggi serta lebih konsisten mendukung luaran performa; sedangkan latihan malam menunjukkan efek yang lebih bergantung pada intensitas, jarak terhadap waktu tidur, dan kronotipe. Heterogenitas protokol membatasi generalisasi langsung dari temuan tersebut.

Implikasi Penelitian: Temuan ini mendukung peresepan waktu latihan yang dipersonalisasi berdasarkan tujuan metabolik atau performa, kronotipe, jadwal makan dan tidur, serta keterlaksanaan latihan. Penentuan waktu latihan perlu mempertimbangkan konteks individu, bukan menetapkan satu waktu yang berlaku universal.

Kesimpulan: Waktu latihan merupakan salah satu komponen peresepan latihan, tetapi manfaatnya harus ditafsirkan bersama tujuan latihan, kronotipe, status metabolik, waktu makan, kebiasaan tidur, dan keterlaksanaan. Kerangka chrono-exercise karena itu lebih tepat digunakan untuk personalisasi daripada untuk menetapkan satu waktu terbaik bagi seluruh individu.

To Cite: Likuidita Yona Ramadini, Afif Ramadhan, Muhammad Rouhun Munajih, Exercise dan Respons Fisiologis Sepanjang Hari: Tinjauan Naratif untuk Individualisasi Peresepan Latihan, *Journal of Integrative Islamic Medicine*, 1(1) 2026: [51-62].

Pendahuluan

Irama sirkadian merupakan siklus biologis intrinsik sekitar 24 jam yang mengatur berbagai proses fisiologis dan membantu tubuh menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan. Irama ini terutama dikendalikan oleh jam biologis pusat di nukleus suprakiasmatik (suprachiasmatic nucleus, SCN) hipotalamus, yang diselaraskan oleh isyarat lingkungan atau zeitgeber. Melalui koordinasi antara jam pusat dan jam perifer di berbagai jaringan, sistem sirkadian memengaruhi fungsi endokrin, metabolisme, regulasi kardiovaskular, dan performa neuromuskular yang relevan terhadap aktivitas fisik. (Augsburger et al., 2025; Ayyar & Sukumaran, 2021; Blankenship et al., 2021)

Hubungan antara latihan fisik dan sistem sirkadian bersifat dua arah. Irama sirkadian memengaruhi respons tubuh terhadap latihan, sedangkan latihan dapat bertindak sebagai zeitgeber nonfotik yang memodulasi jam perifer, ekspresi gen jam biologis, suhu tubuh, dan sekresi hormonal. (Blankenship et al., 2021; Brito et al., 2022; Bruggisser et al., 2023) Interaksi tersebut menjadi dasar konsep chrono-exercise, yaitu kajian mengenai pengaruh waktu latihan terhadap respons fisiologis dan adaptasi tubuh. (Bruggisser et al., 2023; Burgess et al., 2020; Chen et al., 2024; Ciorciari & Lamia, 2025; Creasy et al., 2022)

Meskipun penelitian mengenai chrono-exercise terus berkembang, persoalan utama bukan sekadar belum ditemukannya satu "waktu terbaik" untuk berolahraga. Literatur yang tersedia menunjukkan heterogenitas pada definisi pagi, sore, dan malam; karakteristik partisipan; kronotipe; status nutrisi; modalitas dan intensitas latihan; serta luaran yang diukur. Akibatnya, temuan mengenai performa tidak dapat langsung diperlakukan sebagai bukti manfaat metabolik, kardiovaskular, tidur, atau pemulihan, dan hasil antarstudi tidak selalu dapat dibandingkan secara langsung. (Burgess et al., 2020; Chen et al., 2024; Ciorciari & Lamia, 2025; Creasy et al., 2022; H. K. Kim et al., 2023; N. Kim et al., 2023; Lan et al., 2025; Lee et al., 2024; Lee et al., 2021; Magalhães et al., 2024; Martin et al., 2018; Martin & Esser, 2022; Martínez-Montoro et al., 2023; McCarter et al., 2022; Mode et al., 2023; Moholdt et al., t.t.; Morales-Palomo et al., 2024; Morales-Palomo et al., 2024; Nelson et al., 2022; Neumann et al., 2019; Okechukwu, 2022) Selain itu, mekanisme molekuler, kesiapan fisiologis, dan luaran latihan sering dibahas sebagai domain yang terpisah. Tinjauan ini karena itu bertujuan menyintesis hubungan antara irama sirkadian, kesiapan fisiologis, dan respons terhadap latihan dalam satu kerangka konseptual, sekaligus mengidentifikasi moderator yang membatasi generalisasi bukti. Kontribusi utama tinjauan ini adalah menempatkan waktu latihan sebagai komponen individualisasi peresepan latihan, bukan sebagai rekomendasi universal yang berdiri sendiri.

Metode Penelitian

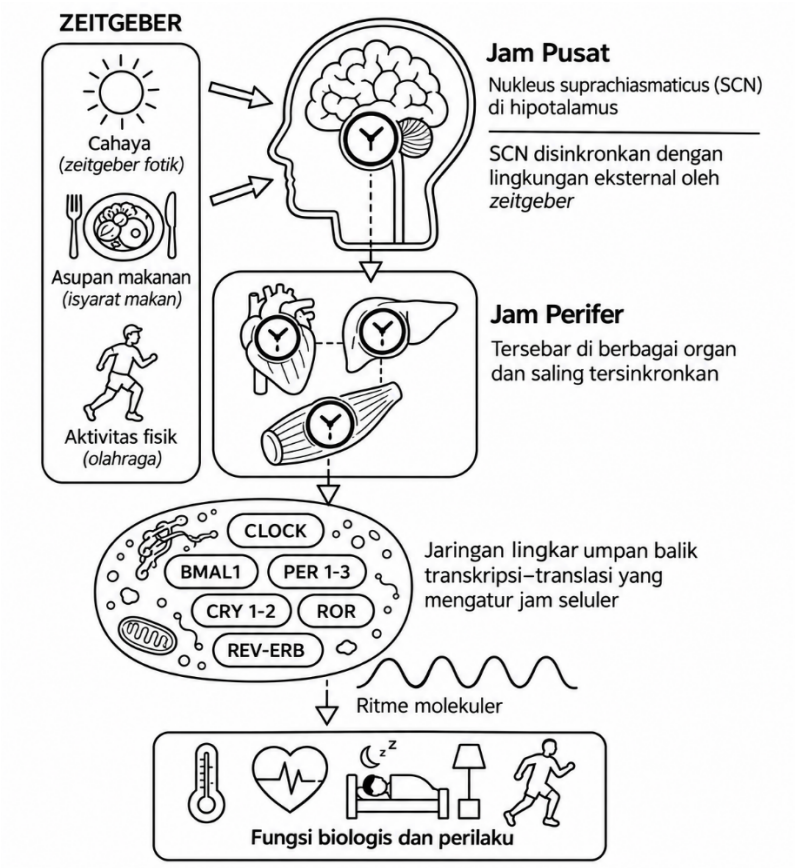
Tinjauan naratif dilakukan untuk menyintesis bukti mengenai hubungan antara irama sirkadian dan respons terhadap latihan. Literatur ditelusuri melalui PubMed, Scopus, dan Google Scholar pada bidang fisiologi, kronobiologi, dan ilmu olahraga. Pencarian difokuskan pada artikel berbahasa Inggris yang diterbitkan antara tahun 2010 hingga 2026. Istilah pencarian digunakan dalam berbagai kombinasi, meliputi "circadian rhythm", "timing", "exercise response", "physiological readiness", dan "physical performance". Penelusuran diarahkan pada bukti yang menjelaskan variasi respons latihan menurut waktu dalam sehari, mekanisme sirkadian yang relevan, serta faktor individual yang memodifikasi hubungan tersebut.

Studi eksperimental, observasional, tinjauan sistematis, dan tinjauan naratif dipilih berdasarkan relevansinya terhadap tiga domain sintesis, yaitu regulasi sirkadian dan kesiapan fisiologis, efek waktu latihan terhadap respons fisiologis dan performa, serta faktor yang memodifikasi respons tersebut. Daftar pustaka artikel terpilih juga ditelusuri untuk mengidentifikasi literatur tambahan yang relevan. Karena desain penelitian ini merupakan tinjauan naratif, proses pencarian dan pemilihan literatur tidak dimaksudkan sebagai pencarian sistematis yang exhaustif dan tidak menggunakan protokol tinjauan sistematis formal. Konsekuensinya, sintesis dalam artikel ini ditujukan untuk integrasi konseptual dan interpretasi pola bukti, bukan untuk estimasi efek gabungan atau penilaian kuantitatif kepastian bukti. Batas metodologis ini perlu dipertimbangkan ketika menafsirkan keluasan dan generalisasi kesimpulan tinjauan.

Pembahasan

Regulasi Sirkadian Sistem Fisiologis dan Kesiapan Fisik

Irama sirkadian menyelaraskan proses fisiologis dan perilaku dengan siklus lingkungan. Sistem ini terutama dikendalikan oleh SCN sebagai jam biologis pusat, dengan siklus terang–gelap sebagai zeitgeber utama. (Augsburger et al., 2025; Ayyar & Sukumaran, 2021; Blankenship et al., 2021) SCN kemudian menyinkronkan jam perifer di berbagai jaringan, termasuk otot rangka, hati, dan sistem imun. Jam perifer juga dapat merespons isyarat perilaku dan metabolik. (Blankenship et al., 2021; Dighriri et al., 2024; Douglas et al., 2021) Pada tingkat seluler, ritme sirkadian diatur oleh jejaring transcriptional–translational feedback loops (TTFL) yang melibatkan gen jam biologis utama, seperti CLOCK, BMAL1, PER1–3, CRY1–2, ROR, dan REV-ERB. Osilasi gen tersebut menghasilkan variasi ritmik pada metabolisme, sekresi hormon, dan homeostasis seluler. (Douglas et al., 2021; Dyar et al., 2014)

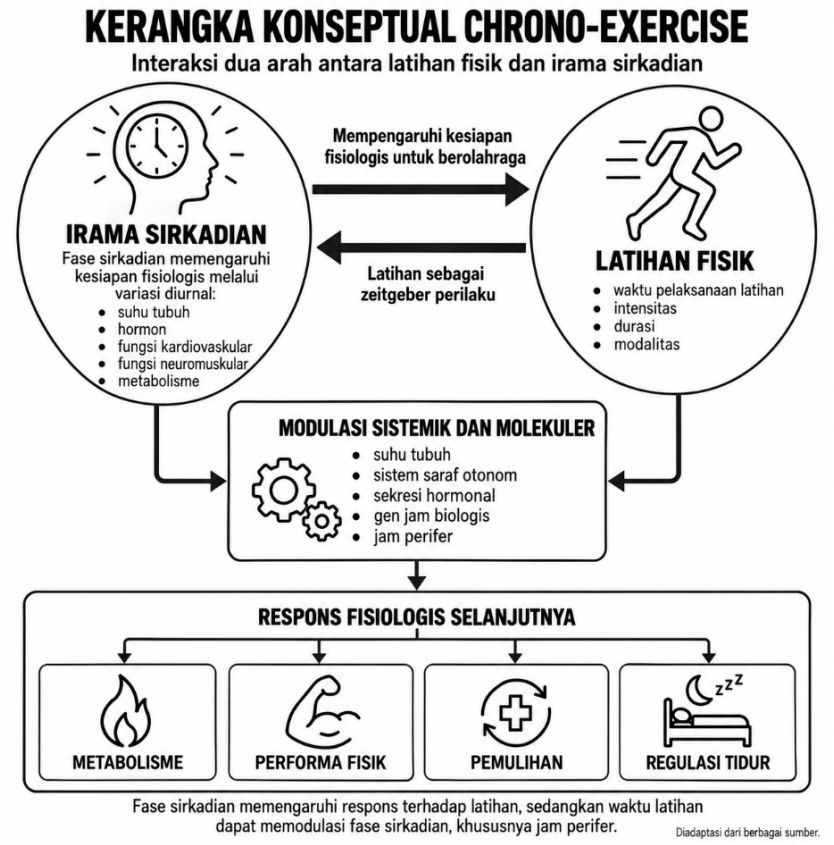


Gambar 1. Integrasi jam biologis pusat dan perifer melalui zeitgeber lingkungan. Jam biologis pusat di SCN terutama disinkronkan oleh cahaya, sedangkan pola makan dan aktivitas fisik turut memengaruhi jam perifer. Pada tingkat seluler, jejaring TTFL yang melibatkan CLOCK, BMAL1, PER, CRY, ROR, dan REV-ERB menghasilkan ritme molekuler yang memengaruhi fungsi biologis dan perilaku. Diadaptasi dari Martin dkk., 2018. (Fagiani et al., 2022)

Regulasi sirkadian menyebabkan variasi fisiologis sepanjang hari. Suhu inti tubuh umumnya paling rendah pada dini hari dan mencapai puncak pada sore hingga awal malam. Peningkatan suhu tubuh pada periode tersebut berkaitan dengan elastisitas otot, aktivitas enzimatik, dan efisiensi neuromuskular yang lebih tinggi. (Augsburger et al., 2025; Fitzpatrick et al., 2026) Sistem kardiovaskular juga menunjukkan variasi pada denyut jantung, tekanan darah, tonus vaskular, dan keseimbangan otonom. (Augsburger et al., 2025; Gamble et al., 2014) Selain itu, kortisol mencapai kadar tinggi pada pagi hari, sedangkan melatonin meningkat pada malam hari. Testosteron dan hormon pertumbuhan juga menunjukkan variasi diurnal yang berperan dalam fungsi otot, metabolisme, dan pemulihan jaringan. (Glavin et al., 2021; Gnocchi & Bruscalupi, 2017; Guédet et al., 2025) Dengan demikian, kesiapan fisiologis untuk berolahraga tidak bersifat konstan, tetapi berubah sepanjang hari sesuai dengan dinamika sistem metabolik, neuromuskular, kardiovaskular, dan endokrin.

Latihan sebagai Zeitgeber: Konseptualisasi Chrono-Exercise

Selain cahaya sebagai zeitgeber utama bagi SCN, aktivitas fisik dapat berfungsi sebagai zeitgeber nonfotik, terutama bagi jam perifer. (Brito et al., 2022; Bruggisser et al., 2023; Hatamoto et al., 2017) Satu sesi latihan dapat memengaruhi suhu inti tubuh, sekresi hormon, dan aktivitas sistem saraf otonom, yang semuanya terkait dengan pengaturan ritme sirkadian. (Fitzpatrick et al., 2026; Gamble et al., 2014; Glavin et al., 2021; Hatfield et al., t.t.) Latihan juga dapat memodulasi ekspresi gen jam biologis, termasuk BMAL1, PER, dan CRY. Efek ini terutama terlihat pada jaringan perifer seperti otot rangka yang relatif responsif terhadap stimulus perilaku dan metabolik. (Dyar et al., 2014; Hatamoto et al., 2017; Hesketh, 2025; Janssen et al., 2022)



Gambar 2. Kerangka konseptual chrono-exercise yang menggambarkan interaksi dua arah antara latihan dan irama sirkadian. Fase sirkadian memengaruhi kesiapan fisiologis melalui variasi diurnal berbagai sistem tubuh. Sebaliknya, waktu latihan dapat bertindak sebagai zeitgeber perilaku yang memodulasi fase sirkadian, terutama pada jam perifer, melalui mekanisme sistemik dan molekuler. Interaksi ini selanjutnya memengaruhi metabolisme, performa fisik, pemulihan, dan regulasi tidur. Diadaptasi dari berbagai sumber. (Brito et al., 2022; Burgess et al., 2020; Chen et al., 2024; Ciorciari & Lamia, 2025; Creasy et al., 2022; H. K. Kim et al., 2023; N. Kim et al., 2023; Lan et al., 2025; Lee et al., 2024; Lee et al., 2021; Magalhães et al., 2024; Martin et al., 2018; Martin & Esser, 2022; Martínez-Montoro et al., 2023; McCarter et al., 2022; Mode et al., 2023; Moholdt et al., t.t.; Morales-Palomo et al., 2024; Morales-Palomo et al., 2024; Nelson et al., 2022; Neumann et al., 2019; Okechukwu, 2022)

Hubungan antara latihan dan irama sirkadian bersifat dua arah. Fase sirkadian memengaruhi kesiapan fisiologis dan respons terhadap latihan, sedangkan waktu latihan dapat memperkuat atau menggeser ritme sirkadian, terutama pada jaringan perifer. (Creasy et al., 2022; Janssen et al., 2022) Efek tersebut dipengaruhi oleh waktu, intensitas, dan durasi latihan serta faktor individual seperti kronotipe. Interaksi inilah yang menjadi dasar chrono-exercise, yaitu pendekatan yang mempertimbangkan hubungan antara waktu latihan dan biologi sirkadian. (Janssen et al., 2022; Lee et al., 2021; Martin et al., 2018)

Respons Fisiologis terhadap Latihan Berdasarkan Waktu dalam Sehari

Latihan Pagi Hari: Kesiapan Metabolik dan Penyelarasan Sirkadian

Latihan pagi, terutama dalam kondisi puasa atau awal pascaabsorptif, sering dikaitkan dengan peningkatan oksidasi lemak. Setelah puasa semalaman, kadar insulin yang lebih rendah dan peningkatan asam lemak bebas mendorong penggunaan lipid sebagai sumber energi. Namun, dampaknya terhadap komposisi tubuh dalam jangka panjang tetap bergantung pada keseimbangan energi secara keseluruhan. (Morales-Palomo et al., 2024; Nelson et al., 2022; Patel et al., 2025; Refinetti, 2020) Latihan pagi juga dapat memengaruhi regulasi glukosa melalui peningkatan sensitivitas insulin dan translokasi GLUT4, meskipun besar respons bervariasi menurut status metabolik, riwayat latihan, dan waktu makan. (Hesketh, 2025; Nelson et al., 2022; Rupali & Aruna, 2020; Rynders & Broussard, 2024; Schumacher et al., 2023; Seo et al., 2013) Respons metabolik juga dapat berbeda antara latihan yang dilakukan sebelum dan sesudah sarapan. (Nelson et al., 2022; Neumann et al., 2019)

Pada pagi hari, kadar kortisol relatif tinggi sehingga mendukung mobilisasi energi melalui glukoneogenesis dan lipolisis. Kondisi ini meningkatkan ketersediaan substrat, tetapi juga mencerminkan keadaan yang relatif lebih katabolik dibandingkan waktu lain dalam sehari. (Gnocchi & Bruscalupi, 2017; Guédet et al., 2025) Latihan pagi juga berpotensi memajukan fase sirkadian, terutama pada individu dengan pola tidur-bangun yang terlambat. Efek tersebut diperkirakan melibatkan perubahan suhu tubuh, sekresi hormon, dan ekspresi gen jam pada jaringan perifer. (Blankenship et al., 2021; Brito et al., 2022; Shen et al., 2025)

Meskipun demikian, manfaat latihan pagi tidak bersifat universal. Kronotipe, status latihan, pola makan, dan perbedaan metodologi penelitian dapat memengaruhi respons yang muncul. Oleh karena itu, manfaat latihan pagi sebaiknya dipahami sebagai respons yang bergantung pada karakteristik individu dan konteks latihan. Dengan demikian, bukti mengenai latihan pagi lebih kuat untuk menunjukkan perbedaan respons akut dan kemungkinan efek fase sirkadian daripada untuk menetapkan keunggulan jangka panjang atas waktu latihan lain. Pemisahan antara respons akut, adaptasi kronis, dan tujuan klinis penting agar peningkatan oksidasi lemak sesaat tidak ditafsirkan secara langsung sebagai penurunan adipositas atau manfaat metabolik jangka panjang.

Latihan Sore hingga Awal Malam: Puncak Kesiapan dan Performa

Sore hingga awal malam umumnya bertepatan dengan kesiapan fisiologis yang relatif tinggi. Suhu inti tubuh biasanya mencapai puncaknya sekitar pukul 16.00–20.00 dan berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas enzimatik, elastisitas otot, kecepatan kontraksi, dan efisiensi excitation–contraction coupling. (Fitzpatrick et al., 2026; Hatamoto et al., 2017; Shen et al., 2023; Su & Xiang, 2025; Takahashi, 2017; Tanaka et al., 2023) Sejalan dengan mekanisme tersebut, kekuatan dan performa anaerob sering mencapai tingkat tertinggi pada sore hingga awal malam. Namun, besarnya perbedaan dipengaruhi oleh status latihan, kebiasaan waktu latihan, dan protokol pengukuran. (Takahashi, 2017)

Kapasitas aerobik juga dapat lebih baik pada periode ini. Peningkatan suhu tubuh dapat mendukung perfusi otot, pelepasan oksigen dari hemoglobin melalui efek Bohr, serta fungsi kardiovaskular dan ventilasi. (Burgess et al., 2020; Martin et al., 2018; Okechukwu, 2022; Seo et al., 2013; Thomas et al., 2020; Thosar & Shea, 2021) Dari perspektif metabolik, latihan sore dapat memanfaatkan ketersediaan glikogen yang lebih tinggi dan dapat membantu regulasi glukosa, khususnya bila dilakukan setelah makan pada individu dengan gangguan toleransi glukosa. (Chen et al., 2024; Creasy et al., 2022; Martin et al., 2018; Martin & Esser, 2022; Moholdt et al., t.t.; Seo et al., 2013) Kadar kortisol yang cenderung lebih rendah disertai berkurangnya dominasi simpatis juga dapat mendukung keseimbangan otonom dan anabolik–katabolik yang lebih menguntungkan. (Glavin et al., 2021; Gnocchi & Bruscalupi, 2017; Guédet et al., 2025)

Secara umum, sore hingga awal malam merupakan periode dengan kesiapan fisiologis yang relatif tinggi, terutama untuk tujuan performa. Namun, besarnya manfaat tetap dipengaruhi oleh karakteristik individu, kebiasaan waktu latihan, dan konteks latihan. Interpretasi ini terutama berlaku pada luaran performa. Keunggulan fisiologis pada sore hingga awal malam tidak otomatis menunjukkan superioritas untuk penurunan berat badan, kontrol glikemik jangka panjang, atau luaran klinis lainnya. Dengan demikian, "puncak kesiapan" perlu dibedakan dari "waktu terbaik" untuk seluruh tujuan latihan.

Latihan Malam Hari: Pertimbangan antara Performa, Tidur, dan Pemulihan

Latihan malam memiliki implikasi yang lebih kompleks karena berlangsung ketika tubuh mulai memasuki fase biologis untuk tidur dan pemulihan. Pada fase ini, melatonin meningkat, suhu inti tubuh mulai menurun, dan aktivitas parasimpatis semakin dominan. (Blankenship et al., 2021; Dighriri et al., 2024) Performa fisik pada malam hari masih dapat didukung oleh suhu tubuh dan fungsi neuromuskular yang relatif tinggi. Namun, semakin dekat latihan dengan waktu tidur, respons akut seperti peningkatan suhu tubuh, aktivitas simpatis, katekolamin, dan kewaspadaan dapat mengganggu proses inisiasi tidur. (Blankenship et al., 2021; H. K. Kim et al., 2023; N. Kim et al., 2023)

Efek tersebut tidak selalu merugikan. Latihan intensitas sedang yang dilakukan beberapa jam sebelum tidur umumnya tidak mengganggu kualitas tidur dan pada sebagian individu bahkan dapat memperbaikinya. Respons sangat bergantung pada waktu

latihan, intensitas, dan sensitivitas individu terhadap aktivasi fisiologis. (H. K. Kim et al., 2023; N. Kim et al., 2023; Shen et al., 2025) Latihan malam juga dapat menggeser fase sirkadian ke waktu yang lebih lambat. Efek ini dapat bermanfaat pada individu dengan fase tidur yang terlalu dini, tetapi berpotensi memperburuk keterlambatan fase pada mereka yang telah memiliki pola tidur-bangun terlambat. (Morales-Palomo et al., 2024; Shen et al., 2025)

Karena tidur berperan penting dalam sekresi hormon pertumbuhan, sintesis protein, perbaikan jaringan, dan regulasi metabolik, waktu latihan malam perlu mempertimbangkan potensi dampaknya terhadap pemulihan. (Tomatsu et al., 2025; Wang, 2025; Wolff & Esser, 2019; Zha et al., 2025) Dengan demikian, latihan malam tidak selalu perlu dihindari, tetapi waktu dan intensitasnya sebaiknya disesuaikan dengan pola tidur dan karakteristik sirkadian individu. Bukti tersebut menunjukkan bahwa kategori "latihan malam" terlalu luas bila tidak mempertimbangkan jarak antara latihan dan waktu tidur. Karena respons dapat berubah menurut intensitas, kronotipe, dan fase sirkadian, implikasi klinis lebih tepat dirumuskan berdasarkan kombinasi waktu biologis dan karakteristik sesi latihan daripada berdasarkan jam malam semata.

Sintesis Komparatif: Dari Waktu Jam menuju Waktu Biologis

Sintesis lintas bagian menunjukkan bahwa bukti chrono-exercise tidak membentuk hierarki sederhana antara pagi, sore, dan malam. Pagi lebih sering menonjol pada respons substrat energi, regulasi glukosa, dan kemungkinan pergeseran fase sirkadian; sore hingga awal malam lebih konsisten berkaitan dengan kesiapan neuromuskular dan performa; sedangkan malam memperlihatkan kompromi yang lebih jelas antara performa yang masih relatif tinggi dan kedekatan dengan proses fisiologis menuju tidur. (H. K. Kim et al., 2023; N. Kim et al., 2023; Lee et al., 2021; Martin et al., 2018; Martin & Esser, 2022; Morales-Palomo et al., 2024; Morales-Palomo et al., 2024; Nelson et al., 2022; Neumann et al., 2019; Okechukwu, 2022; Shen et al., 2025; Takahashi, 2017) Perbedaan ini menunjukkan bahwa luaran yang dipilih menentukan makna "optimal". Karena itu, perbandingan waktu latihan harus menyebutkan tujuan yang dinilai, bukan hanya waktu pelaksanaan latihan.

Faktor moderator juga menjelaskan mengapa hasil antarstudi tidak selalu konvergen. Kronotipe, kebiasaan waktu latihan, status latihan, waktu makan, kondisi metabolik, paparan cahaya, kualitas tidur, serta modalitas dan intensitas latihan dapat mengubah respons terhadap sesi yang dilakukan pada jam yang sama. (Dighriri et al., 2024; Lee et al., 2021; Magalhães et al., 2024; Nelson et al., 2022; Neumann et al., 2019; Shen et al., 2025) Secara konseptual, hal ini menggeser fokus dari waktu berdasarkan jam menuju waktu biologis. Dengan kerangka tersebut, chrono-exercise lebih tepat dipahami sebagai proses pencocokan antara fase biologis, tujuan latihan, karakteristik individu, dan keterlaksanaan program daripada sebagai pencarian satu jam latihan yang berlaku universal.

Penerapan Chrono-Exercise dalam Peresepan Latihan

Penerapan chrono-exercise memerlukan pendekatan yang tidak hanya mempertimbangkan waktu biologis, tetapi juga tujuan latihan dan kondisi kehidupan sehari-hari. Jadwal kerja, tanggung jawab keluarga, dan faktor lingkungan sering membatasi kemampuan seseorang untuk berolahraga pada waktu yang dianggap optimal. Pada kondisi tersebut, keteraturan latihan kemungkinan lebih penting daripada mengejar waktu tertentu secara ketat. Waktu latihan yang realistis dan dapat dipertahankan dalam jangka panjang perlu menjadi pertimbangan utama. (Zhang et al., 2022)

Kronotipe juga memengaruhi kesiapan fisiologis, performa, dan persepsi terhadap beban latihan (Shen et al., 2025). Menyesuaikan waktu latihan dengan kronotipe dapat meningkatkan kenyamanan dan performa serta membantu mempertahankan kepatuhan terhadap program latihan. Usia, jenis kelamin, status latihan, dan kondisi metabolik juga dapat memodifikasi respons terhadap waktu latihan. (Dighriri et al., 2024; Lee et al., 2021; Magalhães et al., 2024) Dengan demikian, chrono-exercise sebaiknya dipahami sebagai kerangka yang fleksibel untuk menyesuaikan waktu latihan dengan biologi sirkadian, tujuan, preferensi, dan kondisi individu, bukan sebagai rekomendasi satu waktu latihan yang berlaku untuk semua orang. Dalam konteks peresepan latihan, implikasinya adalah waktu latihan sebaiknya diperlakukan sebagai variabel yang dapat dimodifikasi setelah keamanan, tujuan klinis atau performa, dan keberlanjutan program dipertimbangkan. Pendekatan ini mencegah penerjemahan bukti chrono-exercise menjadi aturan waktu yang kaku dan lebih sesuai dengan prinsip individualisasi intervensi kesehatan.

Keterbatasan Bukti Saat Ini dan Arah Penelitian Selanjutnya

Penelitian mengenai chrono-exercise masih menghadapi beberapa keterbatasan. Definisi "pagi", "siang", "sore", dan "malam" belum seragam antarpenelitian. Selain itu, sebagian besar studi menggunakan waktu berdasarkan jam, bukan fase sirkadian individu. Akibatnya, waktu latihan yang sama dapat merepresentasikan fase biologis yang berbeda pada individu yang berbeda.

Variabel penting seperti kualitas tidur, waktu makan, aktivitas fisik sebelumnya, paparan cahaya, konsumsi kafein, dan kronotipe juga belum selalu dikendalikan. Banyak penelitian masih menggunakan sampel kecil, intervensi singkat, dan kondisi laboratorium yang ketat sehingga generalisasi terhadap kehidupan sehari-hari menjadi terbatas.

Penelitian selanjutnya perlu menggunakan definisi waktu latihan yang lebih terstandarisasi, mempertimbangkan kronotipe dan fase sirkadian, serta mengendalikan faktor perancu secara lebih konsisten. Studi longitudinal dengan populasi yang lebih beragam dan pengukuran molekuler, fisiologis, serta perilaku yang terintegrasi juga diperlukan untuk memperjelas mekanisme dan dampak jangka panjang chrono-exercise. Selain itu, penelitian perlu membedakan secara eksplisit luaran performa dari luaran kesehatan dan melaporkan jarak latihan terhadap waktu tidur serta waktu makan. Penggunaan penanda fase biologis, bukan hanya jam kronologis, akan meningkatkan

keterbandingan antarstudi dan membantu menentukan apakah efek yang diamati benar-benar berkaitan dengan fase sirkadian atau dengan faktor perilaku yang menyertainya.

Kesimpulan

Irama sirkadian dan latihan berinteraksi secara dua arah: fase sirkadian membentuk kesiapan fisiologis, sedangkan latihan dapat bertindak sebagai zeitgeber perilaku yang memodulasi jam perifer. Sintesis bukti dalam tinjauan ini tidak mendukung satu waktu latihan yang secara universal paling baik. Pola yang muncul bersifat spesifik terhadap luaran, dengan latihan pagi lebih sering dikaitkan dengan respons metabolik dan fase sirkadian, sore hingga awal malam dengan kesiapan neuromuskular dan performa, serta latihan malam dengan interaksi yang lebih kompleks antara performa, tidur, dan pemulihan.

Kronotipe, status nutrisi dan metabolik, kebiasaan waktu latihan, intensitas, modalitas, waktu makan, pola tidur, dan kondisi kehidupan sehari-hari memodifikasi hubungan tersebut. Oleh karena itu, nilai klinis chrono-exercise terletak pada individualisasi peresepan latihan, bukan pada penetapan satu jam latihan yang seragam. Waktu latihan yang secara fisiologis potensial tetapi tidak dapat dipertahankan dalam kehidupan sehari-hari juga memiliki nilai praktis yang terbatas.

Kesimpulan ini harus dibaca dengan mempertimbangkan heterogenitas protokol dan sifat naratif tinjauan. Penelitian mendatang perlu menggunakan definisi waktu latihan yang terstandarisasi, mengukur atau memperkirakan fase sirkadian individual, mengendalikan waktu makan dan tidur, membedakan luaran performa dari luaran kesehatan, serta menggunakan desain longitudinal dan populasi yang lebih beragam. Pendekatan tersebut diperlukan agar chrono-exercise dapat berkembang dari pola asosiasi berbasis waktu jam menuju dasar bukti yang lebih kuat untuk peresepan latihan yang personal dan kontekstual.

Pernyataan Penulis

Kontribusi Penulis

Rincian kontribusi Likuidita Yona Ramadini, Afif Ramadhan, dan Muhammad Rouhun Munajih belum dinyatakan secara terpisah dalam manuskrip dan perlu dikonfirmasi oleh para penulis sebelum publikasi.

Pernyataan Pendanaan

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan eksternal.

Ketersediaan Data

Artikel ini merupakan tinjauan naratif berdasarkan literatur yang dirujuk dalam daftar pustaka dan tidak melaporkan pengumpulan data primer. Informasi mengenai akses terhadap bahan atau data pendukung tambahan, apabila ada, perlu dikonfirmasi oleh penulis.

Pernyataan Benturan Kepentingan

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

Informasi Tambahan

Pernyataan persetujuan partisipan: Tidak berlaku.

Ucapan terima kasih: Penulis menyampaikan terima kasih kepada rekan-rekan di Departemen Fisiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Gadjah Mada, serta rekan-rekan di Fakultas Kedokteran Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, atas diskusi dan dukungan akademik yang berharga selama penyusunan manuskrip ini.

Referensi

Augsburger GR, Sobolewski EJ, Escalante G, Graybeal AJ. Circadian Regulation for Optimizing Sport and Exercise Performance. Clocks and Sleep. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2025. doi:10.3390/clockssleep7020018

Ayyar VS, Sukumaran S. Circadian rhythms: influence on physiology, pharmacology, and therapeutic interventions. Journal of Pharmacokinetics and Pharmacodynamics. Springer; 2021. p. 321–38. doi:10.1007/s10928-021-09751-2 PubMed PMID: 33797011.

Blankenship JM, Rosenberg RC, Rynders CA, Melanson EL, Catenacci VA, Creasy SA. Examining the Role of Exercise Timing in Weight Management: A Review. International Journal of Sports Medicine. Georg Thieme Verlag; 2021. p. 967–78. doi:10.1055/a-1485-1293 PubMed PMID: 34034354.

Brito LC, Marin TC, Azevêdo L, Rosa-Silva JM, Shea SA, Thosar SS. Chronobiology of Exercise: Evaluating the Best Time to Exercise for Greater Cardiovascular and Metabolic Benefits. Compr Physiol. 2022 Jul 1;12(3):3621–39. doi:10.1002/cphy.c210036 PubMed PMID: 35766829.

Bruggisser F, Knaier R, Roth R, Wang W, Qian J, Scheer FAJL. Best Time of Day for Strength and Endurance Training to Improve Health and Performance? A Systematic Review with Meta-analysis. Sports Medicine - Open. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2023. doi:10.1186/s40798-023-00577-5

Burgess VN, Antonio J, Bland HW, Wagner R, Tartar JL, Melton BF. The Effect of Timing and Type of Exercise on the Quality of Sleep in Trained Individuals. Int J Exerc Sci [Internet]. 2020;7(13):837–58. Available from: http://www.intjexersci.com

Chen WJ, Ludin AFM, Farah NMF. The effects of exercise timings on cardiovascular responses: A scoping review. Malaysian Journal of Movement, Health & Exercise. 2024 Jul;13(2):57–70. doi:10.4103/mohe.mohe_20_24

Ciorciari A, Lamia KA. From clock genes to exercise: shaping the field of Exercise Chronophysiology. Current Opinion in Physiology. Elsevier Ltd; 2025. doi:10.1016/j.cophys.2025.100835

Creasy SA, Wayland L, Panter SL, Purcell SA, Rosenberg R, Willis EA, et al. Effect of Morning and Evening Exercise on Energy Balance: A Pilot Study. Nutrients. 2022 Feb 1;14(4). doi:10.3390/nu14040816

Dighriri A, Timraz M, Rosaini ND, Aba Alkhayl FF, Boyle JG, Logan G, et al. The impact of the time of day on metabolic responses to exercise in adults: A systematic and meta-analysis review. Chronobiology International. Taylor and Francis Ltd.; 2024. p. 1377–88. doi:10.1080/07420528.2024.2419867 PubMed PMID: 39445650.

Douglas CM, Hesketh SJ, Esser KA. Time of day and muscle strength: A circadian output? Physiology. American Physiological Society; 2021. p. 44–51. doi:10.1152/physiol.00030.2020 PubMed PMID: 33325817.

Dyar KA, Ciciliot S, Wright LE, Biensø RS, Tagliazucchi GM, Patel VR, et al. Muscle insulin sensitivity and glucose metabolism are controlled by the intrinsic muscle clock. Mol Metab. 2014 Feb;3(1):29–41. doi:10.1016/j.molmet.2013.10.005

Fagiani F, Di Marino D, Romagnoli A, Travelli C, Voltan D, Mannelli LDC, et al. Molecular regulations of circadian rhythm and implications for physiology and diseases. Signal

Transduction and Targeted Therapy. Springer Nature; 2022. doi:10.1038/s41392-022-00899-y PubMed PMID: 35136018.

Fitzpatrick R, Wilson JJ, Davison G, McMahon G, Bleakley C, McClean C. Optimising exercise time-of-day for cardiometabolic health: Insights from a systematic review and meta-analysis in varied adult cohorts. Journal of Sports Sciences. Routledge; 2026. doi:10.1080/02640414.2026.2637042

Gamble KL, Berry R, Frank SJ, Young ME. Circadian clock control of endocrine factors. Nature Reviews Endocrinology. Nature Publishing Group; 2014. p. 466–75. doi:10.1038/nrendo.2014.78 PubMed PMID: 24863387.

Glavin EE, Ceneus M, Chanowitz M, Kantilierakis J, Mendelow E, Mosquera J, et al. Relationships between sleep, exercise timing, and chronotype in young adults. J Health Psychol. 2021 Nov 1;26(13):2636–47. doi:10.1177/1359105320926530 PubMed PMID: 32498631.

Gnocchi D, Bruscalupi G. Circadian rhythms and hormonal homeostasis: Pathophysiological implications. Biology. MDPI AG; 2017. doi:10.3390/biology6010010

Guédet C, Tagougui S, Gauthier AC, Thivel D, Mathieu ME. The impact of exercise timing on energy intake: A systematic review and meta-analysis of diurnal and meal timing effects. Appetite. Academic Press; 2025. doi:10.1016/j.appet.2024.107752 PubMed PMID: 39521351.

Hatamoto Y, Goya R, Yamada Y, Yoshimura E, Nishimura S, Higaki Y, et al. Effect of exercise timing on elevated postprandial glucose levels. J Appl Physiol. 2017;123:278–84. doi:10.1152/japplphysiol.00608.2016.-There

Hatfield DL, Nicoll JX, Kraemer WJ. EFFECTS OF CIRCADIAN RHYTHM ON POWER, FORCE, AND HORMONAL RESPONSE IN YOUNG MEN [Internet]. Report. Available from: www.nsca.com

Hesketh SJ. Resetting Time: The Role of Exercise Timing in Circadian Reprogramming for Metabolic Health. Obesities. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2025. doi:10.3390/obesities5030059

Janssen I, Campbell JE, Zahran S, Saunders TJ, Tomasone JR, Chaput JP. Timing of physical activity within the 24-hour day and its influence on health: a systematic review. Health Promotion and Chronic Disease Prevention in Canada. 2022 Apr 1;42(4):129–38. doi:10.24095/hpcdp.42.4.02

Kim HK, Radak Z, Takahashi M, Inami T, Shibata S. Chrono-exercise: Time-of-day-dependent physiological responses to exercise. Sports Medicine and Health Science. KeAi Communications Co.; 2023. p. 50–8. doi:10.1016/j.smhs.2022.11.003

Kim N, Ka S, Park J. Effects of exercise timing and intensity on physiological circadian rhythm and sleep quality: a systematic review. Physical Activity and Nutrition. Korean Society for Exercise Nutrition; 2023. p. 52–63. doi:10.20463/pan.2023.0029

Lan H, Wu K, Deng C, Wang S. Morning vs. evening: the role of exercise timing in enhancing fat oxidation in young men. Front Physiol. 2025;16. doi:10.3389/fphys.2025.1574757

Lee K, Hong KS, Park J, Park W. Readjustment of circadian clocks by exercise intervention is a potential therapeutic target for sleep disorders: a narrative review. Physical Activity and Nutrition. Korean Society for Exercise Nutrition; 2024. p. 35–42. doi:10.20463/pan.2024.0014

Lee Y, Field JM, Sehgal A. Circadian Rhythms, Disease and Chronotherapy. Journal of Biological Rhythms. SAGE Publications Inc.; 2021. p. 503–31. doi:10.1177/07487304211044301 PubMed PMID: 34547953.

Magalhães JP, Oliveira EC, Hetherington-Rauth M, Jesus F, Rodrigues MC, Raposo JF, et al. The Ex-Timing trial: evaluating morning, afternoon, and evening exercise on the circadian clock in individuals with type 2 diabetes and overweight/obesity—a

randomized crossover study protocol. Trials. 2024 Dec 1;25(1). doi:10.1186/s13063-024-08335-y PubMed PMID: 39107793.
Martin D, McKenna H, Galley H. Rhythm and cues: role of chronobiology in perioperative medicine. British Journal of Anaesthesia. Elsevier Ltd; 2018. p. 344–9. doi:10.1016/j.bja.2018.04.035 PubMed PMID: 30032872.
Martin RA, Esser KA. Time for Exercise? Exercise and Its Influence on the Skeletal Muscle Clock. J Biol Rhythms. 2022 Dec 1;37(6):579–92. doi:10.1177/07487304221122662 PubMed PMID: 36129164.
Martínez-Montoro JI, Benítez-Porres J, Tinahones FJ, Ortega-Gómez A, Murri M. Effects of exercise timing on metabolic health. Obesity Reviews. John Wiley and Sons Inc; 2023. doi:10.1111/obr.13599 PubMed PMID: 37416977.
McCarter SJ, Hagen PT, St. Louis EK, Rieck TM, Haider CR, Holmes DR, et al. Physiological markers of sleep quality: A scoping review. Sleep Med Rev. 2022;64:101657. doi:10.1016/j.smrv.2022.101657 PubMed PMID: 35753151.
Mode WJA, Slater T, Pinkney MG, Hough J, James RM, Varley I, et al. Effects of Morning Vs. Evening exercise on appetite, energy intake, performance and metabolism, in lean males and females. Appetite. 2023 Mar 1;182. doi:10.1016/j.appet.2022.106422 PubMed PMID: 36539157.
Moholdt T, Parr EB, Devlin BL, Debik J, Giskeødegård G, Hawley JA. The effect of morning vs evening exercise training on glycaemic control and serum metabolites in overweight/obese men: a randomised trial [Internet]. doi:10.1007/s00125-021-05477-5/Published
Morales-Palomo F, Moreno-Cabañas A, Alvarez-Jimenez L, Mora-Gonzalez D, Ortega JF, Mora-Rodriguez R. Efficacy of morning versus afternoon aerobic exercise training on reducing metabolic syndrome components: A randomized controlled trial Key points. J Physiol. 2024;602:6463–77. doi:10.1113/JP285366#support-information-section
Morales-Palomo F, Moreno-Cabañas A, Alvarez-Jimenez L, Mora-Gonzalez D, Ortega JF, Mora-Rodriguez R. Efficacy of morning versus afternoon aerobic exercise training on reducing metabolic syndrome components: A randomized controlled trial Key points. J Physiol. 2024;602:6463–77. doi:10.1113/JP285366#support-information-section
Nelson KL, Davis JE, Corbett CF. Sleep quality: An evolutionary concept analysis. Nurs Forum (Auckl). 2022 Jan;57(1):144–51. doi:10.1111/nuf.12659 PubMed PMID: 34610163.
Neumann AM, Schmidt CX, Brockmann RM, Oster H. Circadian regulation of endocrine systems. Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical. Elsevier B.V.; 2019. p. 1–8. doi:10.1016/j.autneu.2018.10.001 PubMed PMID: 30598120.
Okechukwu CE. The neurophysiologic basis of the human sleep–wake cycle and the physiopathology of the circadian clock: a narrative review. Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery. 2022;58(1). doi:10.1186/s41983-022-00468-8
Patel AK, Reddy V, Shumway KR, Araujo JF. Physiology, Sleep Stages. In. Treasure Island (FL); 2025. PubMed PMID: 30252388.
Refinetti R. Circadian rhythmicity of body temperature and metabolism. Temperature. Routledge; 2020. p. 321–62. doi:10.1080/23328940.2020.1743605
Rupali D, Aruna V. The Pros And Cons Of Morning And Evening Exercise: A Review Article. IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS) e-ISSN. 2020;19:1–07. doi:10.9790/0853-1912140107
Rynders CA, Broussard JL. Running the clock: new insights into exercise and circadian rhythms for optimal metabolic health. Journal of Physiology. John Wiley and Sons Inc; 2024. p. 6367–71. doi:10.1113/JP287024 PubMed PMID: 39580235.

Schumacher LM, Kalala S, Thomas JG, Raynor HA, Rhodes RE, Bond DS. Consistent Exercise Timing as a Strategy to Increase Physical Activity: A Feasibility Study. Transl J Am Coll Sports Med. 2023 Apr 5;8(2). doi:10.1249/TJX.0000000000000227

Seo DY, Lee S, Kim N, Ko KS, Rhee BD, Park BJ, et al. Morning and evening exercise. Integr Med Res. 2013 Dec;2(4):139–44. doi:10.1016/j.imr.2013.10.003

Shen B, Liu H, Zhang S, Chen L, Yang G. Time-of-Day-Dependent Effects of Aerobic Exercise on Carotid Hemodynamics in Sedentary Adults. Biology (Basel). 2025 Jun 1;14(6). doi:10.3390/biology14060713

Shen B, Ma C, Wu G, Liu H, Chen L, Yang G. Effects of exercise on circadian rhythms in humans. Frontiers in Pharmacology. Frontiers Media SA; 2023. doi:10.3389/fphar.2023.1282357 PubMed PMID: 37886134.

Su Z, Xiang L. Exercise, circadian rhythms, and muscle regeneration: a path to healthy aging. Frontiers in Neuroscience. Frontiers Media SA; 2025. doi:10.3389/fnins.2025.1633835

Takahashi JS. Transcriptional architecture of the mammalian circadian clock. Nature Reviews Genetics. Nature Publishing Group; 2017. p. 164–79. doi:10.1038/nrg.2016.150 PubMed PMID: 27990019.

Tanaka Y, Sagayama H, Shimizu K. Insights into exercise timing to regulate circadian clocks and phenotypes. Clinical Nutrition Open Science. 2023 Feb 1;47:96–101. doi:10.1016/j.nutos.2022.12.007

Thomas JM, Kern PA, Bush HM, McQuerry KJ, Black WS, Clasey JL, et al. Circadian rhythm phase shifts caused by timed exercise vary with chronotype. JCI Insight. 2020 Feb 13;5(3). doi:10.1172/jci.insight.134270 PubMed PMID: 31895695.

Thosar SS, Shea SA. Circadian control of human cardiovascular function. Current Opinion in Pharmacology. Elsevier Ltd; 2021. p. 89–97. doi:10.1016/j.coph.2021.01.002 PubMed PMID: 33610933.

Tomatsu S, Abbott SM, Attarian H. Clinical Chronobiology: Circadian Rhythms in Health and Disease. Semin Neurol. 2025 Jun 26;45(3):317–32. doi:10.1055/a-2538-3259 PubMed PMID: 39961369.

Wang Wenlang; Zhao Yuanhui; Ren Hong WY. The Multidimensional Impact of Exercise Timing on Health: A Systematic Review. Int J Sports Med. 2025/08/15. 2025;47(04):243–54. doi:10.1055/a-2684-9245

Wolff CA, Esser KA. Exercise timing and circadian rhythms. Current Opinion in Physiology. Elsevier Ltd; 2019. p. 64–9. doi:10.1016/j.cophys.2019.04.020

Zha K, Mi B, Xiong Y, Wu S, Lu L, Zhang S, et al. Circadian Rhythm: Biological Functions, Diseases, and Therapeutic Targets. MedComm. John Wiley and Sons Inc; 2025. doi:10.1002/mco2.70435

Zhang Z, Li X, Zhang J, Du J, Zhang Q, Ge Z, et al. Chrono-Aerobic Exercise Optimizes Metabolic State in DB/DB Mice through CLOCK–Mitophagy–Apoptosis. Int J Mol Sci. 2022 Aug 1;23(16). doi:10.3390/ijms23169308 PubMed PMID: 36012573.