Journal of Sport and Exercise Physiology
2024, 17(1): 113-128

Review Article

# The effect of skeletal muscle molecular clock on signaling of sportperformance adaptations

**Sahar Ghasemi pour, Mohammad Faramarzi***

Department of Sport Physiology, Faculty of Sport Sciences, Isfahan University, Isfahan, Iran

**Abstract**

Physiological and behavioral processes of almost all organisms depend on the time of day. In mammals, light enters these processes in the suprachiasmatic nucleus of the hypothalamus, which forms the body's central clock, and synchronizes the body's functions with the 24-hour cycle of light and darkness. In addition to perceptual and cognitive aspects of performance, circadian rhythms affect many aspects related to physiological performance such as muscle strength and flexibility. There is also a strong relationship between physical performance and circadian rhythm of body temperature, with optimal physical performance coinciding with peak body temperature in the early evening. There is a circadian clock or rhythm almost in every cell, and its disturbance leads to many diseases such as type 2 diabetes and metabolic syndrome. Previous findings show that skeletal muscle homeostasis may be disrupted not only due to lack of physica activity and low dietary protein intake, but also due to disruption of circadian rhythm conditions such as continuous night work, shift work, sleep deprivation, and jet lag. In this review study, articles were selected and studied using muscle molecular clock, exercise performance, circadian rhythm, and phenotype keywords from published texts, valid sites and search engines such as Google Scholar and Pubmed. The time of sports activities is very important for performance. Despite the timing of the activity, chrnotype can also be a very effective for performance. According to the reviewed studies, most of the sports performance such as strength, speed, endurance, accuracy, recovery ability, and harmony were better in the evening for athletes in different team and individual disciplines. This superiority in the evening can be attributed to body temperature, hormone release, circadian rhythm, rest and recovery. In some cases, such as swimming, strength and endurance performance was better in the morning.Based on the results of studies presented in this review it could be concluded that biological and physiological rhythms have an effect on individual's physical performance. Despite individual differences and personal preferences in determining training hours, taking into account a specific training time each day and training at the beginning of the day can improve performance. Higher body temperature in the evening, and increasing the level of secretion of hormones such as cortisol and testosterone, could be effective factors for better performance in the evening. However, depending on the type of activity, skill level, gender of the athletes and individual differences, the time to have a better performance can vary. In addition, individual preference to perform activities during the day or night is an important factor in improving performance.

**Keywords:** Performance, Muscular mmolecular clock, Circadian rhythm, Skeletal muscle, Chronotype

**How to cite this article:** Ghasemi pour S, Faramarzi M. The effect of skeletal muscle molecular clock on signaling of sportperformance adaptations.J Sport Exerc Physiol. 2024;17(1):113-128.

* Corresponding Author Email Address: m.faramarzi@spr.ui.ac.ir

https://doi.org/10.48308/joeppa.2024.234548.1223

Received: 13/02/2024 Revised: 29/04/2024 Accepted: 11/05/2024

**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
۱۴۰۳، دوره ۱۷، شماره ۱، صفحه‌های ۱۱۳-۱۲۸

مقاله مروری

# تأثیر ساعت مولکولی ماهیچهٔ اسکلتی بر پیام‌رسانی سازگاری‌های عملکرد ورزشی

سحر قاسمی‌پور، محمد فرامرزی*

گروه فیزیولوژی ورزشی ، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

## چکیده

فرایندهای فیزیولوژیکی و رفتاری کم‌وبیش همهٔ موجودات به زمان روز بستگی دارد. در پستانداران نور این فرایندها را در هستهٔ فوق کیاسمایی هیپوتالاموس وارد می‌کند که ساعت مرکزی بدن را تشکیل می‌دهد و عملکرد بدن را با چرخهٔ ۲۴ ساعته نور و تاریکی هماهنگ می‌کند. آهنگ شبانه‌روزی افزون بر جنبه‌های ادراکی و شناختی عملکرد، بر بسیاری از جنبه‌های وابسته به عملکرد فیزیولوژیکی مانند قدرت و انعطاف‌پذیری ماهیچه‌ها تأثیر می‌گذارند. همچنین بین عملکرد جسمی و تغییرات شبانه‌روزی (سیرکادین) دمای بدن همبستگی قوی و معناداری دیده می‌شود؛ به‌طوری‌که عملکرد بهینه همزمان با اوج دمای بدن در اوایل غروب است. ساعت شبانه‌روزی که مسئول آهنگ شبانه‌روزی است، کم‌وبیش در هر سلولی وجود دارد و اختلال در آن به بیماری‌های زیادی مانند دیابت نوع دو و نشانگان سوخت‌وسازی منجر می‌شود. یافته‌ها نشان می‌دهد هومئوستاز ماهیچه اسکلتی نه‌تنها به‌دلیل نبود و کمبود فعالیت ورزشی و دریافت کم‌پروتئین رژیم غذایی، بلکه با اختلال در شرایط آهنگ شبانه‌روزی مانند کار مداوم و پیوستهٔ شبانه، شیفت و نوبت کاری، کمبود خواب و پروازدگی (Jet lag) شاید دچار اختلال شود. در این مطالعهٔ مروری، مقالات وابسته به موضوع با استفاده از واژگان کلیدی ساعت مولکولی ماهیچه‌ای، عملکرد ورزشی، آهنگ شبانه‌روزی و فنوتیپ از متون منتشرشده و پایگاه‌های معتبر و با استفاده از موتورهای جست‌وجوی گوگل اسکالر و pubmed انتخاب و بررسی شدند. زمان انجام فعالیت‌های ورزشی اهمیت زیادی در عملکرد دارد. با وجود زمان انجام فعالیت، کرونوتایپ می‌تواند عامل بسیار مهمی بر عملکرد باشد. بر پایهٔ پژوهش‌های بررسی‌شده، در ورزشکاران رشته‌های مختلف تیمی و انفرادی بیشتر عملکردهای ورزشی مانند قدرت، سرعت، استقامت، دقت، توانایی بازیافت و هماهنگی در عصر و اوایل شب بهتر بوده است. این برتری در عصر را می‌توان به دمای بدن، ترشح هورمون‌ها، آهنگ سیرکادین، استراحت و بازیافت نسبت داد. در مواردی نیز مانند ورزش شنا، قدرت و استقامت در صبح بهتر بوده است. بر پایهٔ اطلاعات جمع‌آوری‌شده در این مطالعهٔ مروری، آهنگ‌های زیستی و فیزیولوژیکی بر عملکرد افراد تأثیر دارند. با وجود تفاوت‌های فردی و ترجیح شخصی در تعیین ساعات تمرین، با در نظر گرفتن زمان تمرینی ویژه در هر روز و تمرین در ابتدای روز می‌توان عملکرد افراد را بهبود بخشید. بالاتر بودن دمای بدن در عصرهنگام، افزایش سطح ترشح هورمون‌هایی مانند کورتیزول و تستوسترون و ... می‌تواند از عوامل مؤثر بر عملکرد بهتر ورزشکاران در عصر باشد. اما بسته به نوع فعالیت، سطح مهارت، جنسیت ورزشکاران و تفاوت‌های فردی زمان انجام فعالیت برای عملکرد بهتر می‌تواند متغیر باشد. افزون بر موارد ذکرشده ترجیح فردی برای انجام فعالیت در روز یا شب عاملی مهمی در بهبود عملکرد است.

**واژه‌های کلیدی:** آهنگ‌های سیرکادین، ساعت مولکولی ماهیچه، عملکرد ورزشی، کرونوتایپ

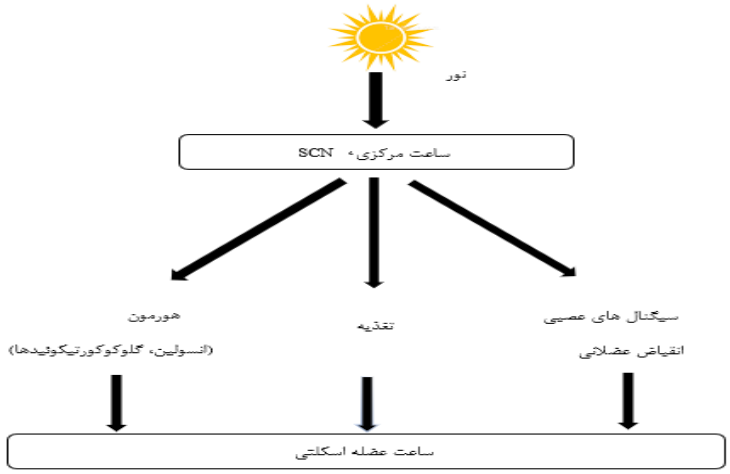
**نحوه استناد به این مقاله:** قاسمی پور س، فرامرزی م. تأثیر ساعت مولکولی ماهیچهٔ اسکلتی بر پیام‌رسانی سازگاری‌های عملکرد ورزشی ساعت مولکولی ماهیچه و عملکرد ورزشی. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی.۱۴۰۳؛۱۷(۱):۱۱۳-۱۲۸.

* رایانامه نویسنده مسئول: m.faramarzi@spr.ui.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲

## مقدمه

فرایندهای فیزیولوژیکی و رفتاری کم‌وبیش همهٔ موجودات به زمان روز بستگی دارد (۱، ۲). در پستانداران، نور این فرایندها را در هستهٔ فوق‌کیاسمایی هیپوتالاموس (SCN) وارد می‌کند که ساعت مرکزی را تشکیل می‌دهد و عملکرد کل بدن را با چرخهٔ ۲۴ساعته نور تا تاریکی هماهنگ می‌کند (۲). ورودی نور، ساعت شبانه‌روزی اصلی را در SCN با چرخه‌های نور-تاریکی محیطی، و در پی آن آهنگ‌های رفتاری و فیزیولوژیکی هماهنگ می‌کند. گمان می‌رود ماهیچهٔ اسکلتی به پیام‌های عصبی و انقباض ماهیچه‌ای حساس‌تر از تغذیه و عوامل هومورال است (شکل ۱). ماشین اصلی ساعت شبانه‌روزی در پستانداران از حلقه‌های بازخورد ترجمه و رونویسی خودتنظیمی تشکیل شده است که به محرک‌های محیطی و سوخت‌وسازی برای حفظ هومئوستاز زمانی پاسخ می‌دهد. بخش اصلی حلقه شامل "Circadian Locomotor Output Cycles Kaput" (CLOCK) و "Brain and Muscle ARNT-Like 1" (BMAL1) است که اعضای خانوادهٔ تنظیم‌کننده‌های رونویسی basic-helix-loop-helix/Per-ARNT-SIM (bHLH-PAS) هستند. این پروتئین‌ها در فاز غیرفعال به اوج فعالیت خود می‌رسند (انسان‌ها: شب، موش‌ها: روز) و با یکدیگر هترودایمر تشکیل می‌دهند تا به عناصر E-box در هسته متصل شوند و در نتیجه رونویسی ژن‌های هدف Period (PER1/2/3) و cryptochrome circadian regulator (CRY1/2) را تحریک کنند. PER و CRY در ابتدای فاز فعال به اوج فعالیت خود می‌رسند و مجموعه‌هایی بازدارنده تشکیل می‌دهند که فعالیت رونویسی CLOCK و BMAL1 را مهار می‌کند، بنابراین رونویسی ژن‌های خودشان نیز کاهش می‌یابد. بخش دوم حلقه از گیرنده‌های وابسته به اسید رتینوئیک (RORα/β/γ، NR1F1/2/3) و REV-ERBα/β (NR1D1/2) تشکیل شده است که تأثیرات متضادی بر ساعت مولکولی دارند؛ با فعال کردن یا سرکوب رونویسی BMAL1، به‌ترتیب، از طریق عناصر پاسخ ROR (RORE) در پروموتر BMAL1 افزون بر نقش آنها در حفظ نوسان ساعت، این عوامل بیان صدها ژن خارج از حلقهٔ بازخورد شبانه‌روزی را تنظیم می‌کنند. اهداف پایین‌دستی، ژن‌های کنترل‌شده توسط ساعت (CCGs)، بسیار بافت خاص هستند و پیامدهای فیزیولوژیکی خاص ساعت را کنترل می‌کنند (۲).




**شکل ۱. عوامل اثرگذار بر نوسان ساعت ماهیچهٔ اسکلتی. ورودی نور، ساعت شبانه‌روزی اصلی را در SCN با چرخه‌های نور-تاریکی محیطی، و به‌دنبال آن آهنگ‌های رفتاری و فیزیولوژیکی هماهنگ می‌کند. بافت‌های محیطی از نظر وابستگی به نشانه‌های زمانی مانند عوامل عصبی یا هومورال متفاوت‌اند. گمان می‌رود ماهیچهٔ اسکلتی به پیام‌های عصبی و انقباض ماهیچه‌ای حساس‌تر از تغذیه و عوامل هومورال است. مخفف: SCN، هستهٔ فوق‌کیاسمایی (۳).**

جدا از نقش آنها در حفظ نوسان ساعت، این عوامل بیان صدها ژن را در خارج از حلقه بازخورد شبانه‌روزی تنظیم می‌کنند. اهداف پایین‌دست، ژن‌های کنترل‌شدهٔ ساعت (Clock-Controlled Genes =CCG)، بسیار ویژهٔ بافت هستند و بر پیامدهای فیزیولوژیکی ویژهٔ ساعت حاکم‌اند (۲). ساعت شبانه‌روزی که مسئول آهنگ‌های شبانه‌روزی ماست، کم‌وبیش در هر سلولی وجود دارد و اختلال در آن به عواقب زیادی منجر می‌شود. افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ نشانه‌هایی از اختلال ساعت را نشان می‌دهند که وابستگی بین عملکرد ساعت و بیماری‌های سوخت‌وسازی را برجسته‌تر می‌کند (۴). با اینکه بین زمان انجام فعالیت و از دست دادن تودهٔ ماهیچه‌ای و قدرت همبستگی مستقیمی ثابت نشده است، اختلال در آهنگ شبانه‌روزی با چاقی و نشانگان سوخت‌وسازی همبستگی دارد (۳). در پستانداران، این فرایندها در هستهٔ فوق‌کیاسمایی هیپوتالاموس (SCN)، که ساعت مرکزی بدن را تشکیل می‌دهند، از نور پیروی کرده و عملکرد کل بدن را با چرخهٔ ۲۴ ساعتهٔ نور تا تاریکی هماهنگ می‌کنند (۱). یافته‌ها نشان می‌دهد هومئوستاز ماهیچه‌های اسکلتی شاید نه‌تنها به‌دلیل نبود ورزش و دریافت کم‌پروتئین رژیم غذایی، بلکه با اختلال در شرایط آهنگ شبانه‌روزی مانند کار مداوم شبانه، نوبت کاری، کمبود خواب و پروازدگی مختل شود (۳). نشانه‌های سیستمیک مانند «ساعت اصلی» (Master Clock) در SCN، نشانه‌های سوخت‌وسازی مانند تغذیه، و نشانه‌هایی مانند استرس یا ورزش بر تنظیم عوامل شبانه‌روزی برای ایجاد تغییرات خاص بافت در رونویسی، تجمع mRNA و ترجمه تأثیر می‌گذارد (۱).

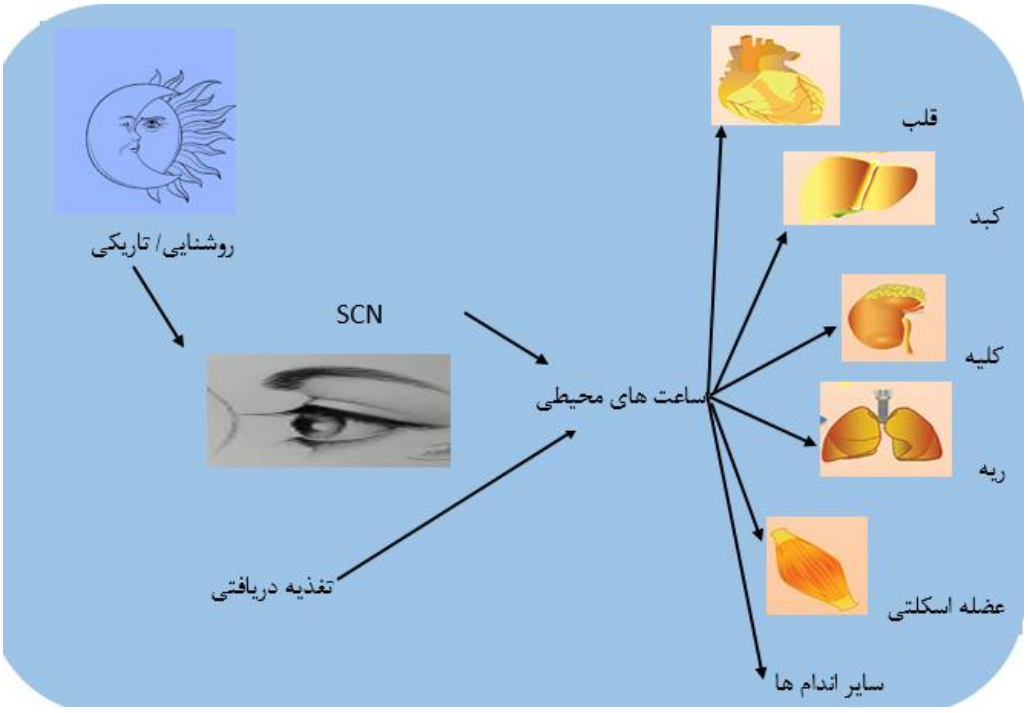
آهنگ‌های شبانه‌روزی از دید تکاملی، چرخه‌های زیستی ۲۴ ساعته‌ای هستند که اشکال مختلف موجودات زنده از باکتری‌ها گرفته تا گیاهان و پستانداران را برای نوسانات محیطی روزانه آماده می‌کنند (۳).

در حال حاضر به‌خوبی مشخص شده است سازوکار اصلی آهنگ‌های شبانه‌روزی ساعت مولکولی (Molecular clock) است (۵). ساعت در بافت‌های محیطی می‌تواند به نشانه‌های غیرنوری مانند فعالیت ورزشی و تغذیه پاسخ دهد (۴). فعالیت ورزشی با تعدیل مسیرهای پیام‌رسانی به‌هم‌پیوستهٔ مختلف که سوخت‌وساز و عملکرد ماهیچه‌ای را تنظیم می‌کند و عملکرد ورزشی را بهبود می‌بخشد، بر ساعت مولکولی ماهیچهٔ اسکلتی تأثیر می‌گذارد (۱). از آنجایی که ساعت ماهیچه‌ای نقش مهمی در بیان ژن ویژهٔ ماهیچه‌ای دارد - که بیشتر آن مربوط به سوخت‌وساز است - زمان‌بندی فعالیت ورزشی ممکن است دلیلی برای تقویت سلامت سوخت‌وسازی باشد (۴). ساعت مولکولی افزون بر عملکرد حفظ زمان، برنامهٔ رونویسی روزانه را تنظیم می‌کند. برآورد شده است که BMAL1 و CLOCK به‌طور مستقیم بیان بیش از ۴۰۰۰ ژن را تعدیل می‌کنند و در اصطلاح به این ژن‌ها، ژن‌های کنترل‌کنندهٔ ساعت (CCGs) می‌گویند (۵).

آهنگ‌های شبانه‌روزی (circadian rhythms) که توسط ساعت (clock) شبانه‌روزی داخلی هدایت می‌شوند، وظیفهٔ تنظیم عملکرد روزانهٔ همهٔ اندام‌های اصلی بدن را بر عهده دارند. اجزای اصلی ساعت در بیشتر اندام‌های محیطی از جمله ریه‌ها، کبد و ماهیچه‌های اسکلتی شناسایی شده‌اند که نشان می‌دهد نوسانگرهای شبانه‌روزی (به نام ساعت‌های محیطی) در این بافت‌ها قرار دارند (۳) (شکل۲). این آهنگ‌ها برای حفظ سلامت انسان بسیار مهم‌اند. گلوکوکورتیکوئیدها نشانه‌های زمانی حیاتی برای ساعت‌های محیطی‌اند که با فعالیت ورزشی افزایش می‌یابد (۳). نوسان‌های آهنگین فرایندهای زیستی بسیاری از عادت‌ها و اعمال ما را مدیریت می‌کنند، همچنین بر فعالیت‌هایی تأثیر می‌گذارند که در طول روز انجام می‌دهیم. مشخص شده

است بسیاری از عملکردهای فیزیولوژیکی وابسته به عملکرد ورزشکاران از آهنگ‌های شبانه‌روزی خاصی پیروی می‌کنند. همچنین نشان داده شده است عملکردهایی مانند سطوح استراحتی حسگرها، عملکرد ادراکی و شناختی و چندین متغیر عصبی- ماهیچه‌ای، رفتاری، قلبی -عروقی و سوخت‌وسازی همزمان با اوج آهنگ دمای بدن در اوایل عصر اتفاق می‌افتند. در بین بافت‌هایی که از طریق فعالیت ساعت بدن تنظیم می‌شوند، ماهیچهٔ اسکلتی یک اندام اصلی است که بر تکامل انسان و همچنین سالمندی و بیماری تأثیر می‌گذارد (۵). فعالیت ورزشی می‌تواند به‌طور مستقیم بر ساعت ماهیچه‌ای اسکلتی تأثیر بگذارد و آن را تعدیل کند و در نتیجه بر نمایهٔ سوخت‌وسازی تأثیر بگذارد (۴). نوش‌آبادی و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند زمان‌های مختلف روز بر سازگاری‌های شاخص‌های التهابی (IL-6 و CRP) ناشی از تمرین هوازی اثرگذار است و این شاخص‌ها در عصر از کاهش بیشتری برخوردار است (۶).

ورزشکاران در تمرینات صبحگاهی در مقایسه با ورزشکاران در تمرینات بعدازظهر، افزایش بیشتری در سطح گلوکز خون نشان دادند که می‌تواند نتیجهٔ هایپرگلیسمی ناشی از ورزش با شدت بالا باشد. همچنین سطح گلوکز خون در ورزشکاران پس از ورزش صبحگاهی در روزهای بعدی استراحت تا هفتهٔ دوم افزایش یافته، درحالی‌که در ورزشکاران پس ازظهر تا حد زیادی بدون تغییر بوده است. بنابراین گمان می‌رود که ورزش صبحگاهی با شدت بالا به اثر نامطلوب مانند هایپرگلیسمی می‌انجامد (۴). غدهٔ پینه‌آل به‌عنوان اندامی که قابلیت تطابق با آهنگ شبانه‌روزی را دارد، مادهٔ -متوکسی ان-استیل تریپتامین (Methoxyn-acetyltryptamine) را که همان هورمون ملاتونین (Melatonin) است، ترشح می‌کند. این ماده می‌تواند هومئوستاز مغزی را تنظیم کند. آهنگ ساخت و ترشح ملاتونین از پیام‌های ۲۴ ساعتهٔ درون‌زاد واقع در هسته‌های فوق‌کیاسمایی مغز ایجاد می‌شود و به‌نوعی نقش زمان‌نمای درونی را ایفا می‌کند (۷).




**شکل ۲. ساعت شبانه‌روزی بدن. ساعت شبانه‌روزی وظیفهٔ تنظیم عملکرد روزانهٔ همهٔ اندام‌های اصلی انسان را بر عهده دارد. ساعت محیطی بدن به نشانه‌های غیرنوری مانند فعالیت بدنی و تغذیه نیز پاسخ می‌دهد.**

**ارتباط متقابل (Cross talk) ماهیچه‌های اسکلتی و خواب**

چرخهٔ خواب/بیداری انسان را می‌توان با الگوی دوفرایندی خواب توصیف کرد که شامل تعامل آهنگ‌های شبانه‌روزی و محرک هومئوستاتیک است (۸). هنگام بیداری، سطوح آدنوزین در مغز افزایش می‌یابد. این افزایش در غلظت آدنوزین مسئول مهار نورون‌های تحریک‌کننده و سرکوب فعالیت CNS است که بیداری را کاهش می‌دهد و در پی آن سبب ایجاد احساس خواب‌آلودگی و میل به خواب می‌شود. SCN بسته محرک هومئوستاتیک، چندین نشانه (zeitgeber) از محیط را تشخیص می‌دهد که ساعت داخلی بدن را همگام می‌کند و پیام ترشح هورمون‌هایی مانند ملاتونین را می‌دهد که فرایند به خواب رفتن را تسهیل می‌کنند. بنابراین برهم‌کنش محرک هومئوستاتیک و نوسانات شبانه‌روزی طبیعی تا حد زیادی چرخهٔ خواب/بیداری را تنظیم می‌کند. با این همه، در طول عمر، تغییرات مربوط به سن در الگوهای خواب (هم ساختار و هم مدت) تحت تأثیر عوامل درونی و بیرونی هستند که به نوبهٔ خود با تغییراتی در عملکرد چندین بافت اصلی از جمله ماهیچه‌های اسکلتی همراه است. برای نمونه مدت و کیفیت خواب با افزایش سن تغییر می‌کند، به‌طوری‌که نوزادان و کودکان در مقایسه با نوجوانان، بزرگسالان و افراد سالمند مدت خواب طولانی‌تری دارند (۹). در سنین بالاتر، زمانی‌که الگوهای خواب منظم به‌دست نمی‌آیند، مسیرهای پیام‌رسانی آنابولیک در ماهیچه‌های اسکلتی تنظیم کاهشی می‌یابند و به از دست دادن تودهٔ بدون چربی و مستعد شدن به سارکوپنیا کمک می‌کنند (۱۰). بیشترین تودهٔ ماهیچه‌ای اسکلتی در سه دههٔ اول زندگی به‌دست می‌آید و پس از آن با افزایش بروز و شدت سارکوپنیا به‌تدریج در طول باقیماندهٔ عمر شروع به کاهش می‌کند. تودهٔ ماهیچه‌ای طی سالمندی سالم کم‌وبیش از ۳۰ سالگی کاهش می‌یابد، این کاهش پس از ۶۵ سالگی به ۱ درصد در سال می‌رسد. کاهش تودهٔ ماهیچه‌ای همراه با افزایش تودهٔ چربی (سارکوپنیا)، در نهایت با اختلال در تحرک و یا ایجاد بسیاری از بیماری‌های مزمن وابسته به سبک زندگی آشکار می‌شود (۱۱). بر این اساس، دستیابی به مدت زمان خواب مناسب برای حفظ یکپارچگی تودهٔ ماهیچه‌ای در طول عمر مهم است. اختلال خواب می‌تواند به اختلال در چرخهٔ خواب و بیداری، عملکرد فیزیولوژیک و عملکرد شناختی، خستگی، خواب‌آلودگی (خلق‌وخو، هوشیاری و غیره) منجر شود (۱۲).

در سطح سلولی، حفظ بافت ماهیچه در طول روز به‌وسیلهٔ مجموعه‌ای از فرایندهای سوخت‌وسازی چرخه‌ای تنظیم می‌شود که سرعت ساخت و تجزیهٔ پروتئین را هماهنگ می‌کند (۱۳). چنین فرایندهایی تحت تأثیر سطوح معمول فعالیت بدنی، سن و در دسترس بودن پروتئین رژیم غذایی قرار دارند. اگر در یک دورهٔ پایدار (چند هفته و ماه) سرعت سنتز پروتئین ماهیچه بیشتر از سرعت تجزیهٔ پروتئین باشد، افزایش خالص در تجمع پروتئین و هیپرتروفی ماهیچه‌ای وجود دارد (۱۴). نرخ ساخت پروتئین ماهیچه‌ای را می‌توان با عواملی مانند فعالیت ورزشی مقاومتی، مصرف پروتئین و زمان‌بندی وعده‌های غذایی، محیط هورمونی و خواب افزایش داد. برای نمونه یک شب محرومیت کامل از خواب سبب ایجاد محیطی کاتابولیک می‌شود که احتمالاً به افزایش بعدی در سرعت تجزیهٔ پروتئین ماهیچه‌ای می‌انجامد (۱۵) .

**تأثیر فعالیت ورزشی بر بیان ژن ساعت شبانه‌روزی در ماهیچه‌های اسکلتی**

رونوشت (transcriptome) شبانه‌روزی ماهیچهٔ اسکلتی اولین بار توسط میلر و همکاران (۲۰۱۳) شناسایی شد (۱۶). مانند سایر انواع سلول، ساعت ماهیچه‌ای نقش مهمی در پیش‌بینی نوسانات سوخت‌وسازی مانند زمان

تغذیه یا الگوهای فعالیت ایفا می‌کند و بنابراین، تنظیم مرحلهٔ انتقال از مرحلهٔ ناشتا/استراحت به مرحلهٔ تغذیه/فعال را آماده می‌کند (۲). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ساعت‌ها در ماهیچه‌های اسکلتی را می‌توان با تغییر زمان فعالیت ورزشی یا زمان تغذیهٔ مستقل از ساعت مرکزی مغز، دوباره تنظیم کرد (۱۶). اختلال در ساعت مولکولی در ماهیچه، آتروفی ماهیچه‌ای و اختلال سوخت‌وسازی را تشدید می‌کند. بنابراین، تنظیم درست ساعت ماهیچه‌ای برای حفظ هومئوستاز فیزیولوژیکی ضروری است (۲). تغذیه یا فعالیت ورزشی برنامه‌ریزی‌شده می‌تواند ساعت مولکولی را در بافت‌های محیطی از ساعت مولکولی در SCN جدا کند (۱۷). فعالیت ورزشی یک نشانهٔ زمانی برای ساعت‌های ماهیچه‌ای اسکلتی مستقل از SCN است. فعالیت ورزشی با تغییرات منظم و گسترده مانند سوخت‌وساز سریع انرژی، نوسانات هورمونی، افزایش دمای بدن یا ماهیچه‌ها موضعی و سازگاری عصبی همراه است و مشخص نیست کدام عامل برای تنظیم مجدد ساعت ماهیچه‌ای حیاتی است (۳).

**اثر ساعت مولکولی بر عملکرد ورزشی**

یکی از عواملی که شاید در عملکرد ورزشی نقش داشته باشد و به‌طور کلی به آن توجه کمتری شده است، ساعت زیستی یا همان ساعت مولکولی است (۱۸). ساعت زیستی سازوکاری است که سازمان‌های زنده را با چرخه‌های ۲۴ ساعتهٔ زمانی طبیعی وفق می‌دهد. این ساعت، که به‌عنوان ساعت مولکولی شناخته می‌شود، در تنظیمات فیزیولوژیکی و رفتاری گوناگون و گسترده‌ای از جمله خواب و بیداری، ترشح هورمون‌ها و عملکرد ورزشی نقش دارد. در این بخش، تأثیر ساعت مولکولی بر عملکرد ورزشی بررسی می‌شود. ساعت زیستی انسان، که به‌عنوان یک سازوکار زمان‌سنج درونی کار می‌کند، در تعیین اوج و ضعف عملکرد ورزشی در طول روز نقش مهمی دارد. دستگاه شبانه‌روز بدن، که ژنتیک نیز آن را کنترل می‌کند، تأثیر بزرگی بر توانایی‌های ورزشی، از جمله قدرت، سرعت، دقت و استقامت دارد (۱۹). یافته‌ها نشان داده‌اند ساعت مولکولی می‌تواند بر عملکرد ورزشی تأثیرگذار باشد. برای نمونه برخی یافته‌ها نشان داده‌اند عملکرد ورزشی در طول روز متفاوت است و برخی ورزشکاران در ساعات معینی از روز بهتر عمل می‌کنند. این تفاوت‌ها می‌تواند به عواملی همچون ترشح هورمون‌ها، دمای بدن و سطح انرژی بازگردد. عملکرد ورزشی نیز می‌تواند تحت تأثیر این ساعت زیستی قرار گیرد. برای نمونه عملکرد ورزشی می‌تواند در ساعات مختلفی از روز تغییر کند. این تغییرات می‌توانند به عوامل گوناگونی مانند تغییرات در ترشح هورمون‌ها، تغییرات در دمای بدن و سطح انرژی بازگردند (۲۰)؛ درک و توجه به این آهنگ‌های زیستی می‌تواند در بهینه‌سازی زمان‌بندی تمرینات ورزشی و همچنین بازیابی و بازیافت پس از آن‌ها و در نتیجه بهبود عملکرد ورزشی کمک کند (۲۱).

اوج عملکرد ورزشی همواره بعدازظهر و اوایل شب رخ می‌دهد، درحالی‌که بیشترین کاهش عملکرد ورزشی در اوایل صبح دیده می‌شود. این الگوها گمان می‌رود دربارهٔ نوسانات در سطح دمای بدن و سطح کورتیزول است که به افزایش عملکرد ورزشی کمک می‌کند (۲۲). پژوهش‌های بی‌شماری به بررسی این موضوع اختصاص یافته است تا با به‌کارگیری این دانش عملکرد ورزشی را بهبود دهیم. فیسر چیلدز و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی نشان دادند ورزشکاران می‌توانند از طریق تعیین دقیق زمان فعالیت ورزشی خود بر پایهٔ ساعت زیستی، عملکرد خود را بهبود بخشند (۲۳). لئوتا و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی دیگر نشان دادند زمان انجام فعالیت ورزشی در طول روز می‌تواند تأثیر چشمگیری بر عملکرد داشته باشد. به‌طور خاص، عملکرد بدنی به‌طور کلی در ساعات بعدازظهر و اوایل شب به اوج می‌رسد. گمان می‌رود این پدیده بر اثر

تأثیرات تنظیم فیزیولوژیک دما (Thermophysiological) و عوامل دیگر مانند غلظت هورمون‌ها و آهنگ‌های خواب/ بیداری کنترل می‌شود (۲۴). ویتال و همکاران (۲۰۲۱) چگونگی تأثیر ساعت زیستی بر توانایی‌های تحمل و عملکرد ورزشی را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد ورزشکارانی که در ساعات صبح ورزش می‌کنند، عملکرد بهتری در تحمل برخی تمرینات دشوار داشته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد این تفاوت عملکرد می‌تواند به‌طور چشمگیری تحت تأثیر ساعت زیستی باشد (۲۵). همچنین یافته‌ها نشان داده‌اند عملکرد ورزشی می‌تواند از طریق ساعت زیستی فردی، به نام «کرونوتایپ» تحت تأثیر قرار گیرد. کرونوتایپ یک فرد می‌تواند به‌عنوان «صبح‌خیز» یا «شب‌زنده‌دار» تعریف شود، که تعیین‌کنندهٔ آهنگ‌های زیستی طبیعی فرد است. ویتال و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند ورزشکاران شب‌زنده‌دار می‌توانند عملکرد بهتری در بعدازظهر و شب داشته باشند (۲۵). این یافته‌ها نشان می‌دهند برنامه‌ریزی و تنظیم دقیق زمان انجام فعالیت ورزشی با توجه به ساعت زیستی می‌تواند به بهبود عملکرد کمک کند. این نکته به‌ویژه برای ورزشکاران حرفه‌ای که در سطح بالا رقابت می‌کنند، اهمیت دارد. بررسی بیشتر در این زمینه می‌تواند در فهم بهتر نقش ساعت زیستی در ورزش کمک کند و در نتیجه راهکارهای نوینی برای بهبود عملکرد ورزشی ارائه دهد (۲۶). جدول ۱ یافته‌های گوناگون بر تأثیر ساعت مولکولی بر عملکرد ورزشی را مرور می‌کند.

**جدول ۱. خلاصه یافته‌های پژوهشی وابسته به اثر ساعت مولکولی بر عملکرد ورزشی**

| رفرنس | نتایج | نمونه | مهارت‌ها | نوع فعالیت ورزشی |
|---|---|---|---|---|
| (۲۶) | عملکرد بهتر در اواخر بعدازظهر و اوایل شب (۱) | مردان و زنان، ۱۰۰ نفر | تحمل، سرعت، قدرت | ورزش‌های استقامتی (مانند دویدن) |
| (۲۳) | عملکرد بهتر در اواخر بعدازظهر و اوایل شب (۲) | مردان و زنان، ۱۵۰ نفر | هماهنگی، استراتژی، توانایی تصمیم‌گیری | ورزش‌های تیمی (مانند فوتبال) |
| (۲۷) | عملکرد بهتر در اواخر بعدازظهر (۳) | مردان، ۲۴ نفر | قدرت، حجم ماهیچه‌ای، توانایی بازیافت | ورزش‌های قدرتی (مانند بدنسازی) |
| (۲۲) | عملکرد بهتر در صبح (۴) | مردان و زنان، ۶۰ نفر | دقت، تمرکز، زمان واکنش | ورزش‌های دقت (مانند تیراندازی) |
| (۲۸) | بهترین عملکرد در بعدازظهر | ۱۵ مرد و زن | سرعت و استقامت | دو |
| (۲۹) | بهترین عملکرد در صبح | ۲۰ مرد و زن | قدرت و استقامت | شنا |
| (۳۰) | بهترین عملکرد در بعدازظهر | ۱۰ مرد و زن | استقامت و توان پایدار | چرخ‌سواری |
| (۳۱) | بهترین عملکرد در بعدازظهر | ۱۸ مرد | سرعت، دقت و تیمی | بسکتبال |
| (۳۲) | بهترین عملکرد در بعدازظهر | ۱۶ مرد و زن | سرعت و دقت | تنیس |
| (۳۳) | بهترین عملکرد در بعدازظهر | ۱۲ مرد | سرعت، قدرت و استقامت | بدمینتون |

گمان می‌رود که در بسیاری از موارد، عملکرد ورزشی بهتری در بعدازظهر دیده می‌شود. چند دلیل برای این موضوع وجود دارد:

۱. دمای بدن: دمای بدن می‌تواند تحت تأثیر ساعت زیستی قرار گیرد. در ساعات صبح، دمای بدن کمتر است و این شاید به کاهش عملکرد ورزشی منجر شود. در مقابل، در ساعات بعدازظهر و شب، دمای بدن بیشتر است و شاید به بهبود عملکرد ورزشی منجر شود (۳۴)؛

۲. ترشح هورمون‌ها: سطح برخی هورمون‌ها مانند کورتیزول و تستوسترون در بعدازظهر ممکن است به‌صورتی تغییر کند که بر عملکرد ورزشی تأثیر مثبت بگذارد؛

۳. آهنگ سیرکادین: آهنگ سیرکادین بدن شاید سبب شود افراد در بعدازظهر بیشتر از سایر اوقات روز آمادهٔ

فعالیت‌های ورزشی باشند؛

۴. استراحت و بازیافت: پس از یک شب خواب، بدن از دید جسمی و ذهنی استراحت می‌کند و ممکن است در بعدازظهر بیشتر آمادهٔ عملکرد بهتر باشد.

با این همه، شایان توجه است که تأثیر زمان روز بر عملکرد ورزشی ممکن است بسته به نوع ورزش، سطح مهارت، جنسیت ورزشکاران، همچنین تفاوت‌های فردی متفاوت باشد. بنابراین هر ورزشکار باید به زمان مشخصی در روز که برای او بهترین عملکرد را دارد، داشته باشد.

بر پایهٔ تحقیقات مرورشده، مشخص است ساعت مولکولی و زمان روز تأثیر چشمگیری بر عملکرد ورزشی دارند. این تأثیرات می‌توانند در برخی موارد به عوامل فیزیولوژیکی مانند ترشح هورمون‌ها، دمای بدن و سطح انرژی بازگردد. با این همه، این تأثیرات شاید بسته به نوع ورزش، سطح مهارت و جنسیت ورزشکاران متفاوت باشد. برای بهبود عملکرد ورزشی، می‌توان توصیه کرد ورزشکاران و مربیان به ساعت مولکولی و زمان روز توجه کنند و برنامه‌ریزی ورزشی خود را با توجه به این عوامل انجام دهند. همچنین برای کسب نتایج بهتر در مسابقات، می‌توان از دانسته‌های پیرامون تأثیر ساعت مولکولی بر عملکرد ورزشی بهره برد.

**آهنگ شبانه‌روزی و عملکرد ورزشی**

آزمایش‌ها در سلول‌های اسکلتی اولیهٔ انسان نه‌تنها وجود آهنگ‌های شبانه‌روزی خودگردان سلولی را تأیید کرده، بلکه ترشح مایوکاین‌های گوناگون وابسته به زمان را نیز نشان داده است (۳۵). بنابراین تغییر ترشح مایوکاین‌ها توسط ماهیچه که پیام‌ها را به بافت‌های دیگر منتقل می‌کنند، نشان‌دهندهٔ وابستگی مولکولی بین ساعت ماهیچه‌ای و دستگاه‌های گوناگون است (۳۶). امروزه مشخص شده است انجام تمرینات ورزشی انسان یک الگوی روزانه را نشان می‌دهد. اوج عملکرد اغلب در اواخر بعدازظهر/عصر در مقایسه با ساعات صبح رخ می‌دهد؛ چراکه ظرفیت استقامتی، توان خروجی، تولید نیرو و بیشترین جذب VO2 در عصر افزایش یافته است (۴). جدای از تغییرات روزانه در دستگاه‌های فیزیولوژیکی، ترجیح دادن انجام فعالیت در زمان روز یا شب یکی دیگر از عوامل مهم روانی است که هنگام مطالعهٔ آهنگ شبانه‌روزی در عملکرد ورزشی باید مورد توجه قرار گیرد (۵). یافته‌ها نشان داده است فعالیت ورزشی می‌تواند به‌عنوان یک نشانهٔ قوی غیرنوری عمل کند که می‌تواند بر آهنگ‌های شبانه‌روزی تأثیر بگذارد (۴). جدا از نقش آنها در حفظ نوسان ساعت، این عوامل بیان صدها ژن را در خارج از حلقهٔ بازخورد شبانه‌روزی تنظیم می‌کنند. زمانی از روز که در آن فعالیت ورزشی انجام می‌شود، می‌تواند بر دستیابی به عملکرد بدنی خوب تأثیر بگذارد (۳۷). لوک و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند عملکرد شنا به‌شدت تحت تأثیر زمان از روز قرار می‌گیرد و سریع‌ترین زمان‌های شنا را در اواخر بعدازظهر حدود ساعت ۱۷:۱۲ نشان داده می‌شود (۳۸).

با توجه به دامنهٔ گسترده‌ای از افراد که ترجیح می‌دهند صبح یا عصر فعال باشند، باور بر این است که این ویژگی نشان‌دهندهٔ توانایی یا ناتوانی در واکنش به دستگاه‌های گوناگون شبانه‌روزی است (۵). افزون بر این، یونگستدو همکاران (۱۹۹۹) هفت متغیر دیگر را شناسایی کردند که ممکن است در عملکرد ضعیف در صبح نقش داشته باشند و به توجیه آهنگ شبانه‌روزی در عملکرد ورزشی کمک کنند. این عوامل شامل تفاوت در وضعیت تغذیه‌ای از صبح تا عصر، انعطاف‌پذیری کم در صبح، زمان ناکافی برای بازیابی از حالت سستی و کرختی پس از خواب، زمان ترجیحی تمرین، تفاوت در مقدار استراحت بین جلسات، تفاوت فردی در پاسخ‌های فیزیولوژیکی و تفاوت‌ها در انگیزه و تأثیر مورد انتظار است (۳۹).

**زمان روز و پاسخ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به فعالیت بدنی**

بسیاری از عملکردهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انسان به زمان روز (TOD) وابسته‌اند. در اوایل عصر (حدود ساعت ۶ بعدازظهر) میزان بیشتری از فشار اکسایشی، گلبول‌های سفید، هموسیستئین و نشانگرهای آسیب ماهیچه‌ای و در اوایل صبح (حدود ساعت ۶:۰۰ صبح) فعالیت ضداکسایشی کارامدتری مشاهده شده است. هنگام انجام فعالیت بدنی، بیشتر عملکردهای فیزیولوژیکی از قبل تا پس از تمرین ورزشی با سرعت‌های متفاوتی از صبح تا عصر افزایش می‌یابد (۴۰). یافته‌ها نشان داده‌اند دویدن زیربیشینه در ساعت ۰۸:۰۰ یا ۲۰:۰۰ پاسخ‌های متفاوتی را در متغیرهای اصلی رئولوژی خون ایجاد نمی‌کند (۴۱). برخی یافته‌های دیگر نشان داد زمان روز بر رویدادهای وابسته به فعال شدن پلاکت‌ها تأثیر دارد و تغییرات شبانه‌روزی شاخص‌های فیزیولوژیکی ممکن است بر تشکیل ترومبوز توسط فعال شدن پلاکت تأثیر بگذارد (۴۲). زمان روز یکی از عوامل مؤثر بر دمای بدن نیز است. همواره در اوایل صبح دمای بدن در کمترین مقدار و در اواخر بعدازظهر در بالاترین حد خود قرار دارد. فعالیت ورزشی نیز می‌تواند بر دمای بدن تأثیر بگذارد. در طول فعالیت ورزشی شدید، دمای بدن می‌تواند به‌طور موقت تا ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۰۴ درجهٔ فارنهایت) افزایش یابد (۴۳).

**تأثیر زمان روز بر دمای مرکزی بدن، عملکرد بدنی و خستگی**

افزایش دمای بدن در طول روز را می‌توان به‌عنوان عاملی برای گرم کردن غیرفعال ماهیچه، افزایش سرعت هدایت عصبی، افزایش دامنهٔ حرکتی و کاهش ویسکوزیتهٔ ماهیچه‌ای در نظر گرفته است که می‌تواند کارایی دستگاه عصبی-ماهیچه‌ای را بهبود بخشد (۴۴). با اینکه تعیین ساعت تمرین در برخی ورزشکاران اجتناب‌ناپذیر است، دمای بدن نقش مهمی در عملکرد بدنی ایفا می‌کند. با این همه، تأثیر تغییرات شبانه‌روزی و دمای بدن و همچنین اثر آن بر عملکرد جسمی در ورزشکاران نخبه نامشخص است (۴۵).

با اینکه تغییرات روزانه در عملکرد ماهیچه‌ای، فعالیت ورزشی طولانی‌مدت به میزان کمی تحت تأثیر زمان روز قرار می‌گیرد. با این همه، دمای بالاتر بدن در بعدازظهر می‌تواند ظرفیت ذخیرهٔ گرما را کاهش دهد و به کاهش ظرفیت فعالیت ورزشی در محیط‌های گرم منجر شود (۴۶) .

**آهنگ‌های شبانه‌روزی و عملکرد ورزشی و بدنی**

عملکرد ورزشی تحت تأثیر آهنگ شبانه‌روزی بدن «بیداری» است. مطالعات، تغییرات روزانه‌ای را در شاخص‌های عملکرد کلیدی مانند VO2max، قدرت، انعطاف‌پذیری، سرعت و زمان واکنش در ورزشکاران نشان داده‌اند (۴۷). همان‌طورکه پروازدگی که به معنای ناهماهنگی شبانه‌روزی حاصل بین آهنگ‌های شبانه‌روزی داخلی و چرخهٔ خواب-بیداری افراد پس از سفر در سه منطقهٔ زمانی یا بیشتر است، عملکرد و سلامت ورزشی ورزشکاران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما این ناهماهنگی ممکن است فراتر از اختلال عملکرد باشد. این ناهماهنگی بر ترشح هورمون‌های آنابولیک و کاتابولیک که برای هومئوستاز ماهیچه‌ای بسیار مهم‌اند، اثر گذاشته و شاید بر بازیافت ماهیچه‌ها تأثیر بگذارد (۴۷). همچنین زمان روز عاملی است که عملکردهای جسمی مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای نمونه عملکرد تعادلی در یک روز عادی بین ساعت ۶ صبح تا ۶ عصر در نوسان است. سبزی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند تعادل ایستا در ساعت ۱۵:۰۰ نسبت به ساعت ۱۰:۰۰ و ۲۰:۰۰ بهتر بود (۴۸).

**سلامتی و زمان انجام فعالیت ورزشی**

دستگاه ساعت شبانه‌روزی، الگوهای خواب و تغذیه، هوشیاری، دمای بدن، فعالیت امواج مغزی، تولید هورمون، سطوح گلوکز و انسولین، تولید ادرار، بازسازی

سلولی (۴۹)، درجهٔ حرارت بدن، سوخت‌وساز، ترشح هورمون (۵۰) و بسیاری از فعالیت‌های زیستی دیگر را تنظیم می‌کند (۴۹). در صبح چسبندگی پلاکت‌ها افزایش و فعالیت شکنندهٔ فیبرین بافتی کاهش می‌یابد که به افزایش نسبی در انعقادپذیری خون منجر می‌شود و خطر تشکیل ترومبوز و در نتیجه ایسکمی را افزایش می‌دهد. همچنین در برخی پژوهش‌ها بیشترین زمان خطر وقوع حملات در بعدازظهر و هنگام غروب گزارش شده است (۵۱). از آنجا که فعالیت ورزشی به‌عنوان تنظیم‌کنندهٔ ژن‌های ساعت بدن در ماهیچه‌ها و دیگر بافت‌ها شناخته شده است، می‌توان گفت زمان مناسب و منظم فعالیت ورزشی می‌تواند در تنظیم مجدد و روزانهٔ ساعت بدن و شرایط پاتولوژیک آهنگ‌های شبانه‌روزی اثرگذار باشد. بهبود این اختلالات در کاهش عوارض سوخت‌وسازی مؤثر است (۵۲). همچنین عملکرد بدن هنگام یا پس از فعالیت‌های ورزشی در زمان‌های متفاوت روز یکسان نیست. پژوهشگران بر این باورند که قابلیت عملکردی ورزشکاران در ساعات عصر و نزدیک به شب، در بالاترین حالت است، زیرا درجهٔ حرارت مرکزی بدن و میزان سوخت‌وساز، به بالاترین مقادیر خود نزدیک است (۵۰).

**فعالیت ورزشی و کیفیت خواب**

با بررسی پژوهش‌های انجام‌گرفته می‌توان بین کیفیت خواب و عملکرد ورزشی همبستگی مستقیمی پیدا کرد (۵۳). یافته‌ها نشان می‌دهد آهنگ شبانه‌روزی و اختلال خواب با برخی از اختلالات وابسته‌اند. از آنجا که کارگران نوبت‌کاری بیشتر در طول شب که مرحلهٔ استراحت برای انسان است کار می‌کنند، در معرض خطرهای ناشی از برهم خوردن آهنگ شبانه‌روزی و اختلال خواب و بیماری‌های سوخت‌وسازی هستند (۵۴). سلامت انسان با کمیت و کیفیت خواب او وابسته است، به‌طوری‌که بی‌خوابی شبانه می‌تواند کیفیت زندگی افراد را تحت تأثیر قرار دهد. فعالیت ورزشی راهکار غیردارویی است که می‌تواند تأثیرات مفیدی بر کیفیت خواب و اختلالات خواب داشته باشد (۵۵). انجام ۱۲ هفته تمرینات استقامتی با تکرار سه جلسه در هفته بر کیفیت خواب افراد سالمند اثر مثبتی داشته است. یافته‌ها نشان می‌دهد تمرین در محیط خارج از سالن ورزشی در طول روز به‌دلیل قرارگیری در معرض نور خورشید می‌تواند عملکرد خواب را بهبود بخشد، نور خورشید قوی‌ترین محرک برای آهنگ‌های شبانه‌روزی است که به تنظیم چرخهٔ خواب- بیداری کمک شایانی می‌کند (۵۵). موریتا و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند در افراد سالمند تمرین صبحگاهی به‌ویژه در افرادی که شروع خواب خوبی ندارند، می‌تواند کیفیت خواب را بهبود دهد (۵۶). کاسما اسچیلد و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند ۱۲ هفته تمرین قدرتی و استقامتی در شب به بهبود عملکرد جسمی، هایپرتروفی ماهیچه‌ای و غلظت هورمون سرم در مقایسه با ورزش صبحگاهی منجر شده است (۵۷).

## بحث و نتیجه‌گیری

بر پایهٔ اطلاعات جمع‌آوری‌شده در تحقیق مروری حاضر، آهنگ‌های زیستی و فیزیولوژیکی بر عملکرد بدنی افراد اثر دارد. این تأثیرات می‌تواند در برخی موارد به عوامل فیزیولوژیکی مانند ترشح هورمون‌ها، دمای بدن، و سطح انرژی بازگردد. همچنین قرارگیری در معرض نور خورشید می‌تواند سبب بهبود عملکرد شود. با اینکه تفاوت‌های فردی و ترجیح شخصی در تعیین ساعت تمرینی، با در نظر گرفتن ساعت تمرینی مشخص در هر روز و تمرین می‌تواند عملکرد افراد را بهبود بخشد، اوج عملکرد ورزشی به‌طور معمول در بعدازظهر و ابتدای شب مشاهده شده است. بالاتر بودن دمای بدن در عصرهنگام، افزایش سطح ترشح هورمون‌هایی مانند کورتیزول و تستوسترون و ... می‌تواند از عوامل مؤثر بر

عملکرد بهتر ورزشکاران در عصر باشد. اما برخی یافته‌ها نشان داده‌اند ورزشکارانی که در صبح تمرین می‌کنند، توانایی تحمل تمرینات دشوار را داشته‌اند. اما بسته به نوع فعالیت، سطح مهارت، جنسیت ورزشکاران و تفاوت‌های فردی زمان انجام فعالیت برای عملکرد بهتر می‌تواند متغیر باشد. افزون بر موارد یادشده ترجیح فردی برای انجام فعالیت در روز یا شب عاملی مهم در بهبود عملکرد است. با این همه، شایان توجه است که تأثیر زمان روز بر عملکرد ورزشی شاید بسته به نوع ورزش، سطح مهارت، جنسیت ورزشکاران، همچنین تفاوت‌های فردی متفاوت باشد. بنابراین هر ورزشکار باید توجه به زمانی در روز را که برای او بهترین عملکرد را دارد، داشته باشد.

## تشکر و قدردانی

از نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی که فرصت ارائهٔ این مطالب را در اختیار ما قرار دادند، صمیمانه سپاسگزاریم.

## حمایت مالی

در نوشتن این مقاله از هیچ کمک مالی استفاده نشده است.

## مشارکت نویسندگان

همهٔ نویسندگان به طور مساوی در اجرای این پژوهش مشارکت داشتند.

## تعارض منافع

نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

## منابع

1. Mansingh S, Handschin C. Time to train: the involvement of the molecular clock in exercise adaptation of skeletal muscle. Frontiers in Physiology. 2022:809.

2. Mansingh S, Handschin C. Time to train: the involvement of the molecular clock in exercise adaptation of skeletal muscle. Frontiers in Physiology. 2022;13:902031.

3. Nakao R, Nikawa T, Oishi K. The skeletal muscle circadian clock: current insights. ChronoPhysiology and Therapy. 2017;7:47-57.

4. Martin RA, Esser KA. Time for Exercise? Exercise and its influence on the Skeletal Muscle Clock. Journal of biological rhythms. 2022;37(6):579-92.

5. Faramarzi, Mohammad, Bazgir, Rahimi, Shirvani. Effects of circadian rhythm on the physical and physiological performance of military forces-narrative review. military medicine 2022;22(4):52-62.

6. Asarzadeh Noushabadi M, Akbarpour M. Comparison of the effect of aerobic exercise in the morning and in the evening on inflammatory indicators of cardiovascular risk in obese men. Physiology of exercise and physical activity journal. 2012;5(1).

7. Khaleghipour SH, Ahadi H, Enayati M, Pasha GH, Naderi F and Masjedi M. Comparison of night and day serum melatonin levels of patients. New findings in psychology. 2011;20(5).

8. Borb AA, Achermann P. Sleep homeostasis and models of sleep regulation. Journal of biological rhythms. 1999;14(6):559-70.

9. D'Ambrosio C, Redline S. Sleep across the lifespan. Impact of sleep and sleep disturbances on obesity and cancer. 2014:1-23.

10. Piovezan RD, Abucham J, dos Santos RVT, Mello MT, Tufik S, Poyares D. The impact of sleep on age-related sarcopenia: Possible connections and clinical implications. Ageing Research Reviews. 2015;23:210-20.

11. Parr EB, Coffey VG, Hawley JA. 'Sarcobesity': A metabolic conundrum. Maturitas. 2013;74(2):109-12.

12. Yusefpour Dehaqani AR, Karakhanlou R, Reza Soltani Z. The effect of 30 hours of sleep deprivation on the shooting score and corticospinal excitability of soldiers. Physiology of exercise and physical activity journal. 2019;12(2):15-

13. Schoenfeld BJ. Science and development of muscle hypertrophy: Human Kinetics; 2020.

14. Schiaffino S, Dyar KA, Ciciliot S, Blaauw B, Sandri M. Mechanisms regulating skeletal muscle growth and atrophy. The FEBS journal. 2013;280(17):4294-314.

15. Cedernaes J, Schönke M, Westholm JO, Mi J, Chibalin A, Voisin S, et al. Acute sleep loss results in tissue-specific alterations in genome-wide DNA methylation state and metabolic fuel utilization in humans. Science advances. 2018;4(8):eaar8590.

16. Schroder EA, Esser KA. Circadian rhythms, skeletal muscle molecular clocks and exercise. Exercise and sport sciences reviews. 2013;41(4).

17. Stokkan K-A, Yamazaki S, Tei H, Sakaki Y, Menaker M. Entrainment of the circadian clock in the liver by feeding. Science. 2001;291(5503):490-3.

18. Küüsmaa-Schildt M, Liukkonen J, Vuong M, Nyman K, Häkkinen K, Häkkinen A. Effects of morning vs. evening combined strength and endurance training on physical performance, sleep and well-being. Chronobiology International. 2019;36(6):811-25.

19. Reilly T, Waterhouse J. Sports performance: is there evidence that the body clock plays a role? European journal of applied physiology. 2009;106:321-32.

20. Gupta L, Morgan K, Gilchrist S. Does elite sport degrade sleep quality? A systematic review. Sports Medicine. 2017;47:1317-33.

21. Lastella M, Roach GD, Halson SL, Sargent C. Sleep/wake behaviours of elite athletes from individual and team sports. European journal of sport science. 2015;15(2):94-100.

22. Drust B, Waterhouse J, Atkinson G, Edwards B, Reilly T. Circadian rhythms in sports performance—an update. Chronobiology international. 2005;22(1):21-44.

23. Facer-Childs E, Brandstaetter R. The impact of circadian phenotype and time since awakening on diurnal performance in athletes. Current biology. 2015;25(4):518-22.

24. Leota J, Hoffman D, Czeisler MÉ, Mascaro L, Drummond S, Anderson C, et al. Eastward jet lag is associated with impaired performance and game outcome in the national basketball association. Frontiers in Physiology. 2022:1162.

25. Vitale JA, Bonato M, Galasso L, La Torre A, Merati G, Montaruli A, et al. Sleep quality and high intensity interval training at two different times of day: A crossover study on the influence of the chronotype in male

collegiate soccer players. Chronobiology international. 2017;34(2):260-8.

26. Chtourou H, Souissi N. The effect of training at a specific time of day: a review. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2012;26(7):1984-2005.

27. Sedliak M, Finni T, Cheng S, Lind M, Häkkinen K. Effect of time-of-day-specific strength training on muscular hypertrophy in men. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2009;23(9):2451-7.

28. Brisswalter J, Bieuzen F, Giacomoni M, Tricot V, Falgairette G. Morning-to-evening differences in oxygen uptake kinetics in short-duration cycling exercise. chronobiology international. 2007;24(3):495-506.

29. Kline CE, Durstine JL, Davis JM, Moore TA, Devlin TM, Zielinski MR, Youngstedt SD. Circadian variation in swim performance. Journal of Applied physiology. 2007;102(2):641-9.

30. Reilly T, Waterhouse J. Altered sleep–wake cycles and food intake: The Ramadan model. Physiology & behavior. 2007;90(2-3):219-28.

31. Lyons M, Al-Nakeeb Y, Nevill A. The impact of moderate and high intensity total body fatigue on passing accuracy in expert and novice basketball players. Journal of sports science & medicine. 2006;5(2):215.

32. Souissi N, Gauthier A, Sesboüé B, Larue J, Davenne D. Effects of regular training at the same time of day on diurnal fluctuations in muscular performance. Journal of sports sciences. 2002;20(11):929-37.

33. Lericollais R, Gauthier A, Bessot N, Sesboüé B, Davenne D. Time-of-day effects on fatigue during a sustained anaerobic test in well-trained cyclists. Chronobiology international. 2009;26(8):1622-35.

34. Milewski MD, Skaggs DL, Bishop GA, Pace JL, Ibrahim DA, Wren TA, Barzdukas A. Chronic lack of sleep is associated with increased sports injuries in adolescent athletes. Journal of Pediatric Orthopaedics. 2014;34(2):129-33.

35. Perrin L, Loizides-Mangold U, Skarupelova S, Pulimeno P, Chanon S, Robert M, et al. Human skeletal myotubes display a cell-autonomous circadian clock implicated in basal myokine secretion. Molecular metabolism. 2015;4(11):834-45.

36. Lipton JO, Yuan ED, Boyle LM, Ebrahimi-Fakhari D, Kwiatkowski E, Nathan A, et al. The circadian protein BMAL1 regulates translation in response to S6K1-mediated phosphorylation. Cell. 2015;161(5):1138-51.

37. Ayala V, Martínez-Bebia M, Latorre JA, Gimenez-Blasi N, Jimenez-Casquet MJ, Conde-Pipo J, et al. Influence of circadian rhythms on sports performance. Chronobiology International. 2021;38(11):1522-36.

38. Lok R, Zerbini G, Gordijn M, Beersma D, Hut R. Gold, silver or bronze: circadian variation strongly affects performance in Olympic athletes. Scientific reports. 2020;10(1):16088.

39. Youngstedt SD, O'Connor PJ. The influence of air travel on athletic performance. Sports Medicine. 1999;28:197-207.

40. Ammar A, Chtourou H, Souissi N. Effect of time-of-day on biochemical markers in

response to physical exercise. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2017;31(1):272-82.

41. Aldemir H, Kiliç N. The effect of time of day and exercise on platelet functions and platelet–neutrophil aggregates in healthy male subjects. Molecular and cellular biochemistry. 2005;280:119-24.

42. Ahmadizad S, Bassami M. Interaction effects of time of day and sub-maximal treadmill exercise on the main determinants of blood fluidity. Clinical hemorheology and microcirculation. 2010;45(2-4):177-84.

43. Harding C, Pompei F, Bordonaro SF, McGillicuddy DC, Burmistrov D, Sanchez LD. The daily, weekly, and seasonal cycles of body temperature analyzed at large scale. Chronobiology International. 2019;36(12):1646-57.

44. Amanat S, Sinaei E, Panji M, MohammadporHodki R, Bagheri-Hosseinabadi Z, Asadimehr H, et al. A randomized controlled trial on the effects of 12 weeks of aerobic, resistance, and combined exercises training on the serum levels of nesfatin-1, irisin-1 and HOMA-IR. Frontiers in physiology. 2020;11:562895.

45. West DJ, Cook CJ, Beaven MC, Kilduff LP. The influence of the time of day on core temperature and lower body power output in elite rugby union sevens players. J Strength Cond Res. 2014;28(6):1524-8.

46. Racinais S. Different effects of heat exposure upon exercise performance in the morning and afternoon. Scand J Med Sci Sports. 2010;20 Suppl 3:80-9.

47. Simmons N, Mandal S, Paton B, Ahmed I. Are Circadian Rhythms a New Frontier in Athletic Performance? Current Sports Medicine Reports. 2022;21(1):5-7.

48. Sabzi A, Vaez Mousavi M and Mokhtari P. Prediction of static balance performance based on arousal and activation in the biological cycle of the day. Bimonthly scientific-research journal of rehabilitation medicine. 2022;11(3):438-51.

49. Shabani S and Valian Borojni S. Circadian rhythm in humans and its effect on genetic diseases. Laboratory and diagnosis. 2018;9(38):62-72.

50.Mehrabi A, Pasavand P and Salasi M. Comparing the time of sports activity (morning and evening) on the level of troponin T in the plasma of men with cardiovascular disease. Razi Journal of Medical Sciences. 2015;22(134):107-14.

51. Salehian M, Danesh A, Hasanzadeh M. Circadian variation in the onset of acute. Internal Medicine Today. 2005;11(2):41-4.

52. Gabriel BM, Zierath JR. Circadian rhythms and exercise—re-setting the clock in metabolic disease. Nature Reviews Endocrinology. 2019;15(4):197-206.

53. Myllymäki T, Kyröläinen H, Savolainen K, Hokka L, Jakonen R, Juuti T, et al. Effects of vigorous late-night exercise on sleep quality and cardiac autonomic activity. Journal of sleep research. 2011;20(1pt2):146-53.

54. Potter GD, Skene DJ, Arendt J, Cade JE, Grant PJ, Hardie LJ. Circadian rhythm and sleep disruption: causes, metabolic consequences, and countermeasures. Endocrine reviews. 2016;37(6):584-608.

55. Abdi H, Khodaparast S. The Effect of 12 Weeks of Aerobic Exercises on the Level of Sleep Quality and Quality of Life Indicators of Students. Journal of Research in Behavioural Sciences. 2022;20(2):380-9.

56. Morita Y, Sasai-Sakuma T, Inoue Y. Effects of acute morning and evening exercise on subjective and objective sleep quality in older individuals with insomnia. Sleep Medicine. 2017;34:200-8.

57. Küüsmaa-Schildt M, Liukkonen J, Vuong MK, Nyman K, Häkkinen K, Häkkinen A. Effects of morning vs. evening combined strength and endurance training on physical performance, sleep and well-being. Chronobiology International. 2019;36(6):811-25.