Journal of Sport and Exercise Physiology
2024, 17(1)

Review Article

The Effect of Skeletal Muscle Molecular Clock on Signaling of Sports Performance Adaptations

Sahar Ghasemi pour, Mohammad Faramarzi*

Department of sport physiology, Faculty of sport sciences, Isfahan university, Isfahan, Iran

نسخه پیش از انتشار

Abstract

Background and Purpose: 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. he does. 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) changes in body temperature, with optimal physical performance coinciding with peak body temperature in the early evening. The circadian clock, which is responsible for the circadian rhythm, exists in almost every cell, and its disruption leads to many diseases such as type 2 diabetes and metabolic syndrome. The findings show that skeletal muscle homeostasis may be disrupted not only due to lack of exercise and low dietary protein intake, but also due to disruption of circadian rhythm conditions such as continuous night work, shift work, lack of sleep, and jet lag.

Materials and Methods: In this review study, articles related to the subject were selected and studied from published texts and authoritative sites using keywords muscle molecular clock, exercise performance, circadian rhythm, and phenotype.

Results: The time of sports activities is very important in performance. Despite the timing of the activity, individual preference for doing the activity in the morning or in the evening can be a very important factor on performance. According to the reviewed studies, most of the sports performance such as strength, speed, endurance, accuracy, recovery ability, harmony, etc., were better in the evening and early night in the athletes of different team and individual disciplines. This superiority in the evening can be attributed to body temperature, hormone release, circadian rhythm, rest and recovery, etc. In some cases, such as swimming, strength and endurance are better in the morning**.**

Conclusion: Based on the information collected in this review study, biological and physiological rhythms have an effect on people'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 people's performance. Higher body temperature in the evening, increasing the level of secretion of hormones such as cortisol and testosterone, etc. can be one of the factors affecting the better performance of athletes in the evening. But depending on the type of activity, skill level, gender of the athletes and individual differences, the time to perform the activity for better performance can vary. In addition to the mentioned cases, individual preference to perform activities during the day or night is an important factor in improving performance. Based on the information collected in this review study, biological and physiological rhythms have effect on people's physical performance. Despite individual differences and personal preferences in determining training hours, by considering a specific training time each day and training at the beginning of the day, people's performance can be improved.

Keywords: Athlete Performance, Muscle Mmolecular Clock, Circadian Rhythm, Skeletal Muscle, Chronotype

تاثیر ساعت مولکولی عضله اسکلتی بر پیام‌رسانی سازگاری‌های عملکرد ورزشی

سحرقاسمی پور، محمد فرامرزی*

گروه فیزیولوژی ورزشی ، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
m.faramarzi@spr.ui.ac.ir

نسخه پیش انتشار

چکیده

زمینه و هدف: فرآیندهای فیزیولوژیکی و رفتاری تقریباً همه موجودات به زمان روز بستگی دارد. در پستانداران نور این فرایندها را در هسته فوق کیاسمایی هیپوتالاموس وارد می‌کند که ساعت مرکزی بدن را تشکیل می دهد و عملکرد بدن را با چرخه ۲۴ ساعته نور و تاریکی هماهنگ می‌کند. ریتم‌های شبانه‌روزی علاوه بر جنبه‌های ادراکی و شناختی عملکرد، بر بسیاری از جنبه‌های مرتبط با عملکرد فیزیولوژیکی مانند قدرت و انعطاف‌پذیری عضلات تأثیر می‌گذارند. همچنین یک رابطه معنادار بین عملکرد جسمی و تغییرات شبانه روزی(سیرکادین) دمای بدن ارتباط قوی وجود دارد، با عملکردجسمی مطلوب که همزمان با اوج دمای بدن در اوایل عصر است. ساعت شبانه روزی که مسئول ریتم شبانه روزی است تقریبا در هر سلولی وجود دارد و اختلال در آن منجر به بیماری‌های زیادی مثل دیابت نوع دو و سندرم متابولیک می شود. یافته‌های مطالعات مختلف نشان می‌دهد هموستاز عضله‌های اسکلتی نه تنها به دلیل فقدان فعالیت ورزشی و دریافت کم پروتئین رژیم غذایی، بلکه با اختلال در شرایط ریتم شبانه روزی مانند کار مداوم شبانه، شیفت کاری، کمبود خواب و جت لگ (Jet lag) ممکن است دچار اختلال شود.

مواد و روش ها: در این مطالعه مروری، مقالات مرتبط با موضوع با استفاده از کلمات کلیدی ساعت مولکولی عضلانی، عملکرد ورزشی، ریتم شبانه روزی و فنوتیپ از متون منتشر شده و سایت‌های معتبر و با استفاده از موتورهای جستجوی گوگل اسکالر و pubmed انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند.

نتایج: زمان انجام فعالیت های ورزشی اهمیت زیادی در عملکرد دارد. با وجود زمان انجام فعالیت، کرونوتایپ[1] می تواند عامل بسیار مهمی بر عملکرد باشد. بر اساس مطالعات بررسی شده، در ورزشکاران رشته های مختلف تیمی و انفرادی بیشتر عملکردهای ورزشی مانند قدرت، سرعت، استقامت، دقت، توانایی برگشت به حالت اولیه و هماهنگی در عصر و اوایل شب بهتر بوده است. این برتری در عصر را می توان به دمای بدن، ترشح هورمون ها، ریتم سیرکادین، استراحت و برگشت به حالت اولیه نسبت داد. در مواردی نیز مانند ورزش شنا، قدرت و استقامت در صبح بهتر بوده است.

نتیجه گیری: بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده در این مطالعه مروری، ریتم‌های بیولوژیکی و فیزیولوژیکی بر عملکردجسمی افراد تأثیر دارند. با وجود تفاوت های فردی و ترجیح شخصی در تعیین ساعات تمرین، با در نظر گرفتن زمان تمرینی ویژه در هر روز و

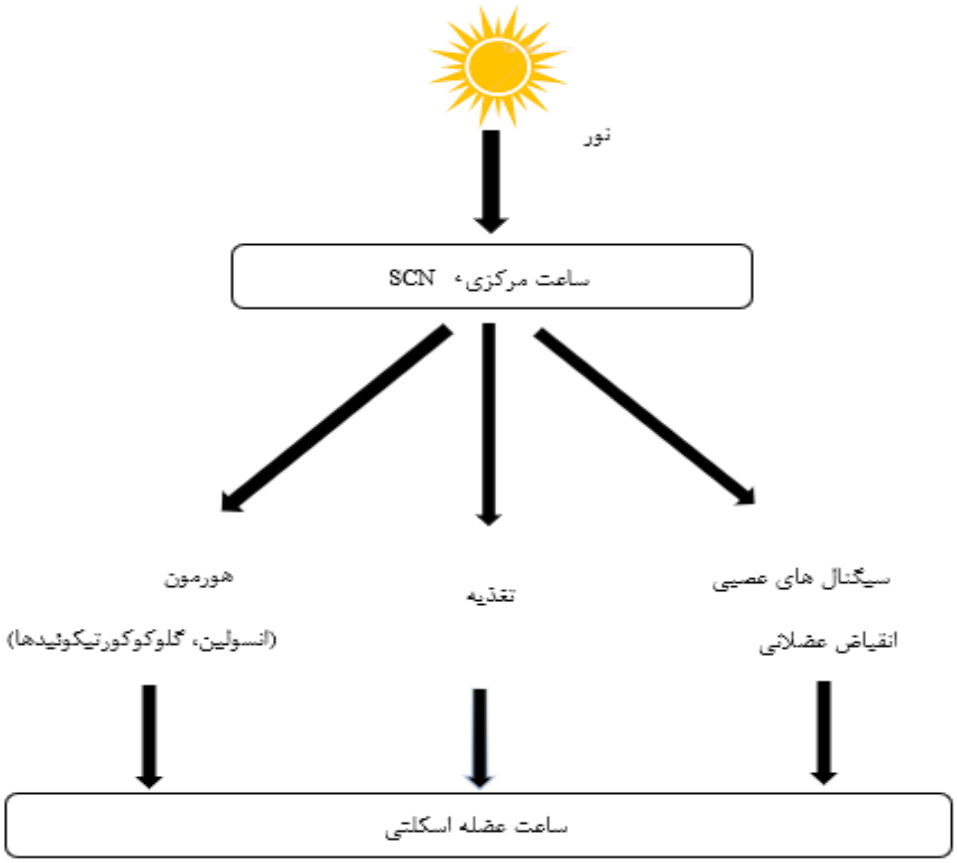
تمرین در ابتدای روز می توان عملکرد افراد را بهبود بخشید. بالاتر بودن دمای بدن در عصر هنگام، افزایش سطح ترشح هورمون‌هایی مانند کورتیزول و تستوسترون و ... می تواند ازعوامل موثر بر عملکرد بهتر ورزشکاران در عصر باشد. اما بسته به نوع فعالیت، سطح مهارت، جنسیت ورزشکاران و تفاوت‌های فردی زمان انجام فعالیت برای عملکرد بهتر می تواند متغیر باشد. علاوه بر موارد ذکر شده ترجیح فردی برای انجام فعالیت در روز یا شب عاملی مهمی در بهبود عملکرد است.

واژه های کلیدی: عملکرد ورزشی، ساعت مولکولی عضله، ریتم های سیرکادین، کرونوتایپ.

نسخه پیش انتشار

مقدمه

فرآیندهای فیزیولوژیکی و رفتاری تقریباً همه موجودات به زمان روز بستگی دارد (۱, ۲). در پستانداران، نور این فرآیندها را در هسته فوق کیاسمایی هیپوتالاموس (SCN) وارد می‌کند که ساعت مرکزی را تشکیل می‌دهد و عملکرد کل بدن را با چرخه ۲۴ ساعته نور تا تاریکی هماهنگ می‌کند(۲). ورودی نور، ساعت شبانه روزی اصلی را در SCN با چرخه های نور-تاریکی محیطی، و به دنبال آن ریتم های رفتاری و فیزیولوژیکی هماهنگ می‌کند. به نظر می‌رسد عضله اسکلتی به پیام‌های عصبی و انقباض عضلانی حساس‌تر از تغذیه و عوامل هومورال است(شکل ۱). ماشین اصلی ساعت شبانه روزی در پستانداران از حلقه های بازخورد ترجمه و رونویسی خودتنظیمی تشکیل شده است که به محرک‌های محیطی و متابولیکی برای حفظ هموستاز زمانی پاسخ می‌دهد. بخش اصلی حلقه شامل "Circadian Locomotor Output Cycles Kaput" (CLOCK) و "Brain and Muscle ARNT-Like 1" (BMAL1) است که اعضای خانواده‌ی تنظیم‌کننده‌های رونویسی basic-helix-loop-helix/Per-ARNT-SIM (bHLH-PAS) هستند. این پروتئین‌ها در فاز غیر فعال به اوج فعالیت خود می‌رسند (انسان‌ها: شب، موش‌ها: روز) و با یکدیگر هترو دایمر تشکیل می‌دهند تا به عناصر E-box در هسته متصل شده 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 یتیم مرتبط با اسید رتینوئیک (RORα/β/γ، NR1F1/2/3و) REV-ERBα/β (NR1D1/2) تشکیل شده است که اثرات متضادی بر ساعت مولکولی دارند؛ با فعال کردن یا سرکوب رونویسی BMAL1، به ترتیب، از طریق عناصر پاسخ ROR (RORE) در پروموتر BMAL1 علاوه بر نقش آنها در حفظ نوسان ساعت، این عوامل بیان صدها ژن خارج از حلقه بازخورد شبانه‌روزی را تنظیم می‌کنند. اهداف پایین‌دستی، ژن‌های کنترل‌شده توسط ساعت (CCGs)، بسیار بافت‌خاص هستند و عواقب فیزیولوژیکی خاص ساعت را کنترل می‌کنند(۲).



شکل ۱. عوامل اثرگذار بر نوسان ساعت عضله اسکلتی. ورودی نور، ساعت شبانه روزی اصلی را در SCN با چرخه های نور-تاریکی محیطی، و به دنبال آن ریتم های رفتاری و فیزیولوژیکی هماهنگ می کند. بافت های محیطی از نظر وابستگی به نشانه های زمانی مانند عوامل عصبی یا هومورال متفاوت هستند. به نظر می رسد عضله اسکلتی به پیام های عصبی و انقباض عضلانی حساس تر از تغذیه و عوامل هومورال است. مخفف: SCN، هسته فوق کیاسمایی(۳).

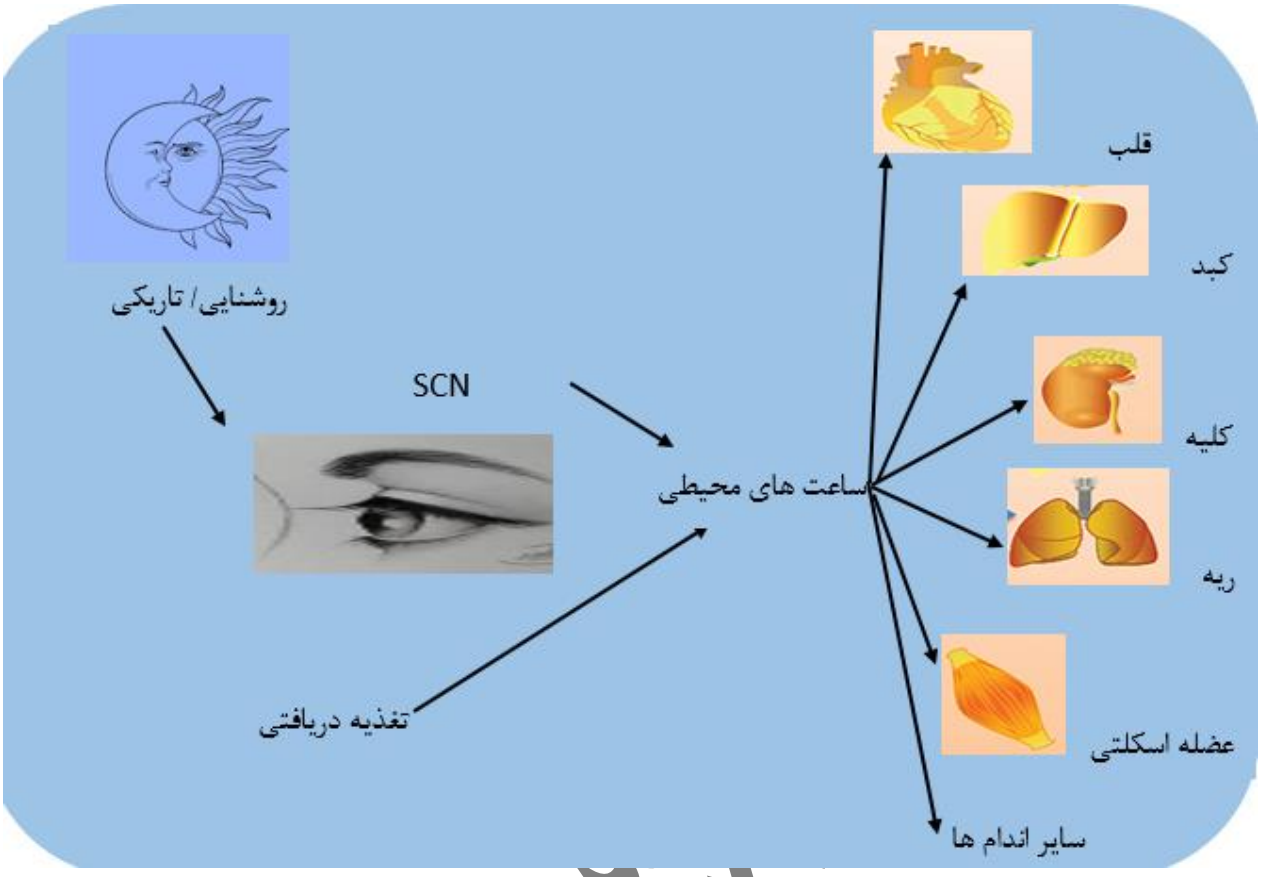
جدا از نقش آنها در حفظ نوسان ساعت، این عوامل بیان صدها ژن را در خارج از حلقه بازخورد شبانه‌روزی تنظیم می‌کنند. اهداف پایین‌دست، ژن‌های کنترل‌شده ساعت (Clock-Controlled Genes =CCG)، بسیار ویژه بافت هستند و بر پیامدهای فیزیولوژیکی ویژه ساعت حاکم هستند(۲). ساعت شبانه‌روزی که مسئول ریتم‌های شبانه‌روزی ما است، تقریباً در هر سلولی وجود دارد و اختلال در آن منجر به عواقب زیادی می‌شود. افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ نشانه هایی از اختلال ساعت را نشان می‌دهند که ارتباط بین عملکرد ساعت و بیماری های متابولیک را بیشتر برجسته می‌کند (۴). علیرغم این‌که بین زمان انجام فعالیت و از دست دادن توده عضلانی و قدرت رابطه مستقیمی ثابت نشده است، اختلال در ریتم شبانه روزی با چاقی و سندرم متابولیک در ارتباط است (۳). در پستانداران، این فرآیندها در هسته فوق کیاسمایی هیپوتالاموس (SCN)،که ساعت مرکزی بدن را تشکیل می‌دهند از نور پیروی می‌کنند و عملکرد کل بدن را با چرخه ۲۴ ساعته نور تا تاریکی هماهنگ می‌کند(۱). یافته‌ها نشان می‌دهد هموستاز عضله‌های اسکلتی ممکن است نه تنها به دلیل فقدان ورزش و دریافت کم پروتئین رژیم غذایی، بلکه با اختلال در شرایط ریتم شبانه‌روزی مانند کار مداوم شبانه، شیفت کاری، کمبود خواب و جت لگ مختل شود(۳). نشانه‌های سیستمیک مانند «ساعت اصلی» (Master Clock) در SCN، نشانه های متابولیک 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).

ریتم‌های شبانه‌روزی از نظر تکاملی، چرخه‌های بیولوژیکی 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 به خوبی مشخص شده است ساز و کار اصلی ریتم‌های شبانه روزی "ساعت مولکولی(Molecular clock) است (۵). ساعت در بافت‌های محیطی می‌تواند به نشانه‌های غیر نوری مانند فعالیت‌ورزشی و تغذیه پاسخ دهد(۴). فعالیت‌ورزشی از طریق تعدیل مسیرهای پیام‌رسانی به هم پیوسته مختلف که متابولیسم و عملکرد عضلانی را تنظیم می‌کند و عملکرد ورزشی را بهبود می‌بخشد، بر ساعت مولکولی عضله اسکلتی تأثیر می‌گذارد(۱). از آنجایی که ساعت عضلانی نقش مهمی در بیان ژن ویژه عضلانی دارد - که بیشتر آن مربوط به متابولیسم است - زمان بندی فعالیت ورزشی ممکن است دلیلی برای تقویت سلامت متابولیکی باشد (۴). ساعت ملکولی علاوه بر عملکرد حفظ زمان، برنامه رونویسی روزانه را تنظیم می‌کند. برآورد شده است که BMAL1 و CLOCK به طور مستقیم بیان بیش از ۴۰۰۰ ژن را تعدیل می‌کنند و اصطلاحاً به این ژن ها، ژن‌های کنترل کننده ساعت (CCGs) می گویند (۵).

ریتم‌های شبانه‌روزی(circadian rhythms) که توسط "ساعت(clock) شبانه‌روزی داخلی هدایت می‌شوند وظیفه تنظیم عملکرد روزانه همه اندام‌های اصلی بدن را بر عهده دارد. اجزای اصلی ساعت در بیشتر اندام‌های محیطی از جمله ریه‌ها، کبد و عضله‌های اسکلتی شناسایی شده‌اند که نشان می‌دهد نوسان‌گرهای شبانه‌روزی (به نام ساعت‌های محیطی) در این بافت‌ها قرار دارند (۳)(شکل۲). این ریتم‌ها برای حفظ سلامتی انسان بسیار مهم هستند. گلوکوکورتیکوئیدها نشانه‌های زمانی حیاتی برای ساعت های محیطی هستند که با فعالیت ورزشی افزایش می یابد (۳). نوسان‌های ریتمیک فرآیندهای بیولوژیکی بسیاری از عادت‌ها و اعمال ما را مدیریت می‌کنند و همچنین بر فعالیت‌هایی که در طول روز انجام می‌دهیم تأثیر می‌گذارند. مشخص شده است بسیاری از عملکردهای فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد ورزشکاران از ریتم‌های شبانه‌روزی خاصی پیروی می‌کنند. همچنین، نشان داده شده است عملکردهایی مثل سطوح استراحتی حسگرها، عملکرد ادراکی و شناختی و چندین متغییر عصبی- عضلانی، رفتاری، قلبی -عروقی و سوخت‌وسازی همزمان با اوج ریتم دمای بدن در اوایل عصر اتفاق می‌افتند. در میان بافت‌هایی که توسط فعالیت ساعت بدن تنظیم می‌شوند، عضله اسکلتی یک اندام اصلی است که بر تکامل انسان و همچنین سالمندی و بیماری تاثیر می‌گذارد(۵). فعالیت ورزشی می‌تواند به طور مستقیم بر ساعت عضلانی اسکلتی تأثیر بگذارد و آن را تعدیل کند و در نتیجه بر نمایه متابولیک تأثیر بگذارد(۴). نوش آبادی 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 نتیجه هایپرگلیسمی ناشی از ورزش با شدت بالا باشد. هم‌چنین سطح گلوکز خون در ورزشکاران پس از ورزش صبحگاهی در روزهای بعدی استراحت تا هفته دوم افزایش یافته است، درحالی که در ورزشکاران بعد ازظهر تا حد زیادی بدون تغییر بوده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که ورزش صبحگاهی با شدت بالا به یک اثر نامطلوب مانند هایپرگلیسمی می‌انجامد(۴). غده پینه‌آل به عنوان ارگانی که قابلیت تطابق باریتم شبانه روزی را داد، ماده -متوکسی ان-استیل تریپتامین (Methoxyn-acetyltryptamine) که همان هورمون ملاتونین (Melatonin) است را ترشح می کند. این ماده می‌تواند هموستاز مغزی را تنظیم کند. ریتم سنتز و ترشح ملاتونین از پیام های ۲۴ ساعته درون زاد واقع در هسته‌های فوق کیاسمایی مغز ایجاد می‌شود و به نوعی نقش یک زمان نمای درونی را ایفا می کند (۷).



شکل ۲. ساعت شبانه روزی بدن. ساعت شبانه روزی وظیفه تنظیم عملکرد روزانه همه اندام های اصلی انسان را بر عهده دارد. ساعت محیطی بدن به نشانه های غیر نوری مانند فعالیت بدنی و تغذیه نیز پاسخ می دهد.

ارتباط متقابل (Cross talk) عضلات‌اسکلتی و خواب

چرخه خواب/بیداری انسان را می‌توان با مدل دو فرآیندی خواب توصیف کرد که شامل تعامل ریتم‌های شبانه روزی و محرک هومئوستاتیک است(۸). در هنگام بیداری، سطوح آدنوزین در مغز افزایش می‌یابد. این افزایش در غلظت آدنوزین مسئول مهار نورون های تحریک کننده و سرکوب فعالیت CNS است که بیداری را کاهش می‌دهد و متعاقباً باعث ایجاد احساس خواب آلودگی و میل به خواب می‌شود. در ارتباط با محرک هومئوستاتیک، SCN چندین نشانه (**zeitgeber**) از محیط را تشخیص می‌دهد که ساعت داخلی بدن را همگام می‌کند و پیام ترشح هورمون‌هایی (مانند ملاتونین) را می‌دهد که فرآیند به خواب رفتن را تسهیل می‌کنند. بنابراین، برهم‌کنش محرک هومئوستاتیک و نوسانات شبانه روزی طبیعی تا حد زیادی چرخه خواب/بیداری را تنظیم می‌کند. با این حال، در طول عمر، تغییرات مربوط به سن در الگوهای خواب (هم ساختار و هم مدت) تحت تأثیر عوامل درونی و بیرونی هستند که به نوبه خود با تغییراتی در عملکرد چندین بافت اصلی از جمله عضلات اسکلتی همراه است. به عنوان مثال، مدت و کیفیت خواب با افزایش سن تغییر می‌کند، به طوری‌که نوزادان و کودکان در مقایسه با نوجوانان، بزرگسالان و افراد سالمند مدت خواب طولانی‌تری دارند (۹). در سنین بالاتر، زمانی که الگوهای خواب منظم به دست نمی‌آیند، مسیرهای پیام‌رسانی آنابولیک در عضله‌های اسکلتی تنظیم کاهشی می‌یابند و به از دست دادن توده بدون چربی و مستعد شدن به سارکوپنیا کمک می‌کنند (۱۰). حداکثر توده عضلانی اسکلتی در سه دهه اول زندگی به دست می‌آید و پس از آن با افزایش بروز و شدت سارکوپنیا به تدریج در طول باقیمانده عمر شروع به کاهش

می‌کند. توده عضلانی در طی سالمندی سالم تقریباً از ۳۰ سالگی کاهش می‌یابد، این کاهش پس از ۶۵ سالگی به میزان ۱٪ در سال می‌رسد.کاهش توده عضلانی همراه با افزایش توده چربی (سارکوپنیا)، در نهایت با اختلال در تحرک و یا ایجاد بسیاری از بیماری‌های مزمن مرتبط با سبک زندگی آشکار می‌شود(۱۱). بر این اساس، دستیابی به مدت زمان خواب مناسب برای حفظ یکپارچگی توده عضلانی در طول عمر مهم است. اختلال خواب می‌تواند منجر به اختلال در چرخه خواب و بیداری، عملکرد فیزیولوژیک و عملکرد شناختی، خستگی، خواب آلودگی (خلق و خو، هوشیاری و غیره) گردد(۱۲).

در سطح سلولی، حفظ بافت عضله در طول روز به وسیله مجموعه از فرآیندهای متابولیک چرخه ای تنظیم می‌شود که سرعت سنتز و تجزیه پروتئین را هماهنگ می‌کند(۱۳). چنین فرآیندهایی تحت تأثیر سطوح معمول فعالیت بدنی، سن و در دسترس بودن پروتئین رژیم غذایی قرار دارند. اگر در یک دوره پایدار (یعنی چند هفته و ماه) سرعت سنتز پروتئین عضله بیشتر از سرعت تجزیه پروتئین باشد، افزایش خالص در تجمع پروتئین و هیپرتروفی عضلانی وجود دارد (۱۴). نرخ سنتز پروتئین عضلانی را می‌توان با عواملی مانند فعالیت ورزشی مقاومتی، مصرف پروتئین و زمان‌بندی وعده‌های غذایی، محیط هورمونی و خواب افزایش داد. به عنوان مثال، یک شب محرومیت کامل از خواب باعث ایجاد محیطی کاتابولیک می‌شود که احتمالاً به افزایش بعدی در سرعت تجزیه پروتئین عضلانی منجر می‌شود (۱۵) .

تاثیر فعالیت ورزشی بر بیان ژن ساعت شبانه روزی در عضلات اسکلتی

رونوشت (transcriptome) شبانه‌روزی عضله اسکلتی اولین بار توسط میلر و همکارانش شناسایی شد (۱۶). مانند سایر انواع سلول، ساعت عضلانی نقش مهمی در پیش‌بینی نوسانات متابولیک مانند زمان تغذیه یا الگوهای فعالیت ایفا می‌کند و بنابراین، تنظیم مرحله انتقال از فاز ناشتا/استراحت به فاز تغذیه/فعال را آماده می‌کند(۲). مطالعات نشان داده‌اند که فاز ساعت‌ها در عضلات اسکلتی را می‌توان با تغییر زمان فعالیت ورزشی یا زمان تغذیه مستقل از ساعت مرکزی مغز، مجددا تنظیم کرد (۱۶). اختلال در ساعت مولکولی در عضله، آتروفی عضلانی و اختلال متابولیک را تشدید می‌کند. بنابراین، تنظیم صحیح ساعت عضلانی برای حفظ هموستاز فیزیولوژیکی ضروری است(۲). تغذیه یا فعالیت ورزشی برنامه ریزی شده می‌تواند ساعت مولکولی را در بافت‌های محیطی از ساعت مولکولی در SCN جدا کند(۱۷). فعالیت ورزشی یک نشانه زمانی برای ساعت‌های عضلانی اسکلتی مستقل از SCN است. فعالیت ورزشی با تغییرات سیستمیک، مانند متابولیسم سریع انرژی، نوسانات هورمونی، افزایش دمای بدن یا عضلات موضعی و سازگاری عصبی همراه است، و مشخص نیست کدام عامل برای تنظیم مجدد ساعت عضلانی حیاتی است (۳).

اثر ساعت مولکولی بر عملکرد ورزشی

یکی از عواملی که ممکن است در عملکرد ورزشی نقش داشته باشد و به طور کلی به آن توجه کمتری شده است، ساعت بیولوژیکی یا همان ساعت مولکولی است(۱۸). ساعت بیولوژیکی مکانیزمی است که سازمان‌های زنده را با چرخه‌های ۲۴ ساعته زمانی طبیعی وفق می‌دهد. این ساعت، که به عنوان ساعت مولکولی شناخته می‌شود، در تنظیمات فیزیولوژیکی و رفتاری متنوعی از جمله خواب و بیداری، ترشح هورمون‌ها و عملکرد ورزشی نقش دارد. در این بخش، تأثیر ساعت مولکولی بر عملکرد ورزشی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ساعت بیولوژیکی انسان، که به عنوان یک مکانیزم زمان‌سنج داخلی عمل می‌کند، در تعیین اوج و ضعف عملکرد ورزشی در طول روز نقش مهمی دارد. سیستم شبانه‌روز بدن، که ژنتیک نیز آن را کنترل می‌کند، تأثیر بزرگی بر توانایی‌های ورزشی، از جمله قدرت، سرعت، دقت و استقامت دارد(۱۹). تحقیقات نشان داده‌اند ساعت مولکولی می‌تواند بر عملکرد ورزشی تأثیر گذار باشد. به عنوان مثال، برخی از مطالعات نشان داده‌اند عملکرد ورزشی در طول روز متفاوت است و برخی از ورزشکاران در ساعات معینی از روز بهتر عمل می‌کنند. این تفاوت‌ها می‌توانند به عواملی همچون ترشح هورمون‌ها، دمای بدن و سطح انرژی بازگردد. عملکرد ورزشی نیز

می‌تواند تحت تأثیر این ساعت بیولوژیکی قرار بگیرد. برای مثال، عملکرد ورزشی می‌تواند در ساعات مختلفی از روز تغییر کند. این تغییرات می‌توانند به عوامل مختلفی مانند تغییرات در ترشح هورمون‌ها، تغییرات در دمای بدن و سطح انرژی بازگردد (20) . درک و توجه به این ریتم‌های بیولوژیکی می‌تواند در بهینه‌سازی زمان‌بندی تمرینات ورزشی و همچنین بازیابی و برگشت به حالت اولیه بعد از آن‌ها کمک کند و در نتیجه به بهبود عملکرد ورزشی کمک کند (۲۱).

اوج عملکرد ورزشی معمولاً در بعد از ظهر و اوایل شب رخ می‌دهد، در حالی که بیشترین کاهش عملکرد ورزشی در اوایل صبح مشاهده می‌شود. این الگوها به نظر می‌رسد در ارتباط با نوسانات در سطح دمای بدن و سطح کورتیزول است که به افزایش عملکرد ورزشی کمک می‌کند (۲۲). پژوهش‌های متعددی به بررسی این موضوع اختصاص یافته است تا با به کارگیری این دانش عملکرد ورزشی را بهبود دهیم. فیسر چیلدز و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه ای نشان دادند ورزشکاران می‌توانند به وسیله تعیین دقیق زمان فعالیت ورزشی خود بر اساس ساعت بیولوژیکی، عملکرد خود را بهبود ببخشند (۲۳). لئوتا و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای دیگر نشان دادند زمان انجام فعالیت ورزشی در طول روز می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر عملکرد داشته باشد. به طور خاص، عملکرد جسمی بطور کلی در ساعات بعد از ظهر و اوایل شب به اوج می‌رسد. این پدیده احتمالاً بر اثر تأثیرات تنظیم فیزیولوژیک دما (Thermophysiological) و عوامل دیگر مانند غلظت هورمون‌ها و ریتم‌های خواب/ بیداری کنترل می‌شود (۲۴). ویتال و همکاران (۲۰۲۱) چگونگی تاثیر ساعت بیولوژیکی بر توانایی های تحمل و عملکرد ورزشی را بررسی کردند. این مطالعه نشان داد ورزشکارانی که در ساعات صبح ورزش می‌کنند، عملکرد بهتری در تحمل برخی از تمرینات دشوار داشته‌اند. این تحقیق نشان داد این تفاوت عملکرد می‌تواند به طور قابل توجهی تحت تأثیر ساعت بیولوژیکی باشد(۲۵). همچنین، مطالعات نشان داده‌اند عملکرد ورزشی می‌تواند توسط ساعت بیولوژیکی فردی، به نام "کرونوتایپ" تحت تأثیر قرار گیرد. کرونوتایپ یک فرد می‌تواند به عنوان "صبح‌خیز" یا "شب‌زنده دار" تعریف شود، که تعیین کننده‌ی ریتم‌های بیولوژیکی طبیعی فرد است. ویتال و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند ورزشکاران شب‌زنده‌دار می‌توانند عملکرد بهتری در بعد از ظهر و شب داشته باشند (۲۵). نتایج این تحقیقات نشان می‌دهند برنامه‌ریزی و تنظیم دقیق زمان انجام فعالیت ورزشی با توجه به ساعت بیولوژیکی 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 بیولوژیکی در ورزش کمک کند و در نتیجه راهکارهای جدیدی برای بهبود عملکرد ورزشی ارائه دهد (۲۶). جدول ۱ نتایج مطالعات مختلف بر تأثیر ساعت مولکولی بر عملکرد ورزشی را مرور می‌کند.

جدول ۱. خلاصه نتایج تحقیقات بر ساعت مولکولی

رفرنس	نتایج	نمونه	مهارت ها	نوع فعالیت ورزشی
(۲۶)	عملکرد بهتر در اواخر بعد از ظهر و اوایل شب(1)	مردان و زنان، ۱۰۰ نفر	تحمل، سرعت، قدرت	ورزش های استقامتی (مانند دویدن)
(۲۳)	عملکرد بهتر در اواخر بعد از ظهر و اوایل شب(2)	مردان و زنان، ۱۵۰ نفر	هماهنگی، استراتژی، توانایی تصمیم گیری	ورزش های تیمی (مانند فوتبال)
(۲۷)	عملکرد بهتر در اواخر بعد از ظهر(3)	مردان، ۲۴ نفر	قدرت، حجم عضلانی، توانایی برگشت به حالت اولیه	ورزش های قدرتی (مانند بدنسازی)
(۲۲)	عملکرد بهتر در صبح(4)	مردان و زنان، ۶۰ نفر	دقت، تمرکز، زمان واکنش	ورزش های دقت (مانند تیراندازی)
(۲۸)	بهترین عملکرد در بعدازظهر	15مرد و زن	سرعت و استقامت	دو
(۲۹)	بهترین عملکرد در صبح	20مرد و زن	قدرت و استقامت	شنا
(۳۰)	بهترین عملکرد در بعدازظهر	10مرد و زن	استقامت و توان پایدار	چرخ‌سواری
(۳۱)	بهترین عملکرد در بعدازظهر	18مرد	سرعت، دقت و تیمی	بسکتبال
(۳۲)	بهترین عملکرد در بعدازظهر	16مرد و زن	سرعت و دقت	تنیس

نسخه پیش انتشار

به نظر می‌رسد که در بسیاری از موارد، عملکرد ورزشی بهتری در بعد از ظهر دیده می‌شود. چند دلیل برای این موضوع وجود دارد:

۱. دمای بدن: دمای بدن می‌تواند تحت تأثیر ساعت بیولوژیکی قرار گیرد. در ساعات صبح، دمای بدن کمتر است و این ممکن است به کاهش عملکرد ورزشی منجر شود. در مقابل، در ساعات بعد از ظهر و شب، دمای بدن بیشتر است و این ممکن است به بهبود عملکرد ورزشی منجر شود (34).

۲. ترشح هورمون‌ها: سطح بعضی هورمون‌ها مانند کورتیزول و تستوسترون در بعد از ظهر ممکن است به صورتی تغییر کنند که بر عملکرد ورزشی تأثیر مثبت بگذارند.

۳. ریتم سیرکادین: ریتم سیرکادین بدن ممکن است باعث شود افراد در بعد از ظهر بیشتر از سایر اوقات روز آماده‌ی فعالیت‌های ورزشی باشند.

۴. استراحت و برگشت به حالت اولیه: بعد از یک شب خواب، بدن از لحاظ جسمی و ذهنی استراحت کرده و ممکن است در بعد از ظهر بیشتر آماده عملکرد بهتر باشد.

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

بر اساس مطالعات مرور شده، مشخص است ساعت مولکولی و زمان روز تأثیر قابل توجهی بر عملکرد ورزشی دارند. این تأثیرات می‌توانند در برخی موارد به عوامل فیزیولوژیکی مانند ترشح هورمون‌ها، دمای بدن، و سطح انرژی بازگردد. با این حال، این تأثیرات ممکن است 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.

ریتم شبانه روزی و عملکرد ورزشی

آزمایش‌ها در سلول‌های اسکلتی اولیه انسان نه تنها وجود ریتم‌های شبانه‌روزی خودگردان سلولی را تأیید کرده است، بلکه ترشح مایوکاین‌های مختلف وابسته به زمان را نیز نشان داده است(35). بنابراین، تغییر ترشح مایوکاین‌ها توسط عضله که پیام‌ها را به بافت‌های دیگر منتقل می‌کنند نشان‌دهنده ارتباط مولکولی بین ساعت عضلانی و سیستمیک است(۳۶). امروزه مشخص شده است انجام تمرینات ورزشی انسان یک الگوی روزانه را نشان می‌دهد. اوج عملکرد اغلب در اواخر بعد از ظهر/عصر در مقایسه با ساعات صبح رخ می‌دهد چرا که ظرفیت استقامتی، توان خروجی، تولید نیرو و حداکثر جذب VO2 در عصر افزایش یافته است(۴). جدای از تغییرات روزانه در سیستم‌های فیزیولوژیکی، ترجیح دادن انجام فعالیت در زمان روز یا شب یکی دیگر از عوامل مهم روانی است که هنگام مطالعه ریتم شبانه‌روزی در عملکرد ورزشی باید مورد توجه قرار گیرد (۵). مطالعات در مورد فعالیت ورزشی نشان داده است فعالیت ورزشی می‌تواند به عنوان یک نشانه قوی غیرنوری عمل کند که می‌تواند بر ریتم‌های شبانه‌روزی تأثیر بگذارد(۴). جدا از نقش آنها در حفظ نوسان ساعت، این عوامل بیان صدها ژن را در خارج از حلقه 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)

نسخه پیش انتشار

نشان دادند عملکرد شنا به شدت تحت تأثیر زمان از روز قرار می‌گیرد و سریع ترین زمان های شنا را در اواخر بعد از ظهر حدود ساعت ۱۷:۱۲ نشان داده می‌شود (۳۸) .

با توجه به طیف گستردهای از افراد که ترجیح می‌دهند صبح و یا عصر فعال باشند، اعتقاد بر این است که این ویژگی نشان دهنده توانایی یا عدم توانایی در واکنش به سیستمهای مختلف شبانه‌روزی است (۵). علاوه بر این، یونگستدو دیگران (۱۹۹۹) هفت متغیر دیگر را شناسایی کردند که ممکن است در عملکرد ضعیف در صبح نقش داشته باشند و به توجیه ریتم شبانه روزی در عملکرد ورزشی کمک کنند. این عوامل شامل تفاوت در وضعیت تغذیه ای از صبح تا عصر، انعطاف پذیری کم در صبح، زمان ناکافی برای بازیابی از حالت سستی و کرختی بعد از خواب، زمان ترجیحی تمرین، تفاوت در مقدار استراحت بین جلسات، تفاوت فردی در پاسخ‌های فیزیولوژیکی و تفاوتها در انگیزه و تاثیر مورد انتظار است (۳۹).

زمان روز و پاسخ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی به فعالیت جسمانی

بسیاری از عملکردهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انسان به زمان روز(TOD) وابسته هستند. در اوایل عصر (حدود ساعت ۶ بعد از ظهر) میزان بیشتری از استرس اکسیداتیو، گلبول‌های سفید، هموسیستئین و نشانگرهای آسیب عضلانی و در اوایل صبح (حدود ساعت ۶:۰۰ صبح) فعالیت آنتی‌اکسیدانی کارآمدتری مشاهده شده است. هنگام انجام فعالیت بدنی، بیشتر عملکردهای فیزیولوژیکی از قبل تا بعد از تمرین ورزشی با سرعت های متفاوتی از صبح تا عصر افزایش می یابد(۴۰). مطالعات نشان داده‌اند دویدن زیربیشینه در ساعت ۰۸:۰۰ یا ۲۰:۰۰ پاسخ های متفاوتی را در متغیرهای اصلی رئولوژی خون ایجاد نمی کند(۴۱). مطالعه دیگری نشان داد زمان روز بر رویدادهای مرتبط با فعال شدن پلاکت ها تأثیر دارد و تغییرات شبانه روزی پارامترهای فیزیولوژیکی ممکن است بر تشکیل ترومبوز توسط فعال شدن پلاکت تأثیر بگذارد (۴۲). زمان روز یکی از عوامل موثر بر دمای بدن نیز هست. معمولاً در اوایل صبح دمای بدن در کمترین مقدار و در اواخر بعد از ظهر در بالاترین حد خود قرار دارد. فعالیت ورزشی نیز می تواند بر دمای بدن تأثیر بگذارد. در طول فعالیت ورزشی شدید، دمای بدن می تواند به طور موقت تا ۴۰ درجه سانتیگراد (۱۰۴ درجه فارنهایت) افزایش یابد(۴۳).

تاثیر زمان روز بر دمای مرکزی بدن، عملکرد جسمانی و خستگی

افزایش دمای بدن در طول روز را می‌توان به عنوان عاملی برای گرم‌کردن غیرفعال عضله، افزایش سرعت هدایت عصبی، افزایش دامنه حرکتی وکاهش ویسکوزیته عضلانی در نظرگرفت است که می تواندکارایی سیستم عصبی‌عضلانی را بهبود بخشد(۴۴). بااین که تعیین ساعت تمرین در برخی ورزشکاران اجتناب ناپذیراست، دمای بدن نقش مهمی در عملکرد بدنی ایفا می‌کند. با این حال، تأثیر تغییرات شبانه روزی و دمای بدن وهمچنین اثر آن بر عملکرد جسمی در ورزشکاران نخبه نامشخص است (۴۵).

علیرغم این تغییرات روزانه در عملکرد عضلانی، فعالیت ورزشی طولانی مدت به میزان کمی تحت تاثیر زمان روز قرار می‌گیرد. با این حال، دمای بالاتر بدن در بعد از ظهر می‌تواند ظرفیت ذخیره گرما را کاهش و منجر به کاهش ظرفیت فعالیت ورزشی در محیط‌های گرم شود (۴۶) .

ریتم‌های شبانه روزی و عملکرد ورزشی و جسمانی

عملکرد ورزشی تحت تأثیر ریتم شبانه روزی بدن «بیداری» است. مطالعات، تغییرات روزانه ای را در شاخص‌های عملکرد کلیدی مانند VO2max، قدرت، انعطاف‌پذیری، سرعت و زمان واکنش در ورزشکاران نشان داده‌اند (۴۷). همان طور که سفرزدگی که به معنای ناهماهنگی شبانه روزی حاصل بین ریتم های شبانه روزی داخلی و چرخه خواب-بیداری افراد پس از سفر در سه منطقه زمانی یا بیشتر است عملکرد و سلامت ورزشی ورزشکاران را تحت تاثیر قرار می دهد. اما این ناهماهنگی ممکن است فراتر از اختلال عملکرد

باشد. این ناهماهنگی بر ترشح هورمون‌های آنابولیک و کاتابولیک که برای هموستاز عضلانی بسیار مهم هستند اثر گذاشته و ممکن است بر برگشت به حالت اولیه عضلات تأثیر بگذارد(۴۷). همچنین زمان روز عاملی است که عملکردهای جسمی مختلف را تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای مثال 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

سیستم ساعت شبانه روزی، الگوهای خواب و تغذیه، هوشیاری، دمای بدن، فعالیت امواج مغزی، تولید هورمون، سطوح گلوکز و انسولین، تولید ادرار، بازسازی سلولی(۴۹)، درجه حرارت بدن، متابولیسم، ترشح هورمون(۵۰) و بسیاری از فعالیت های بیولوژیکی دیگر را تنظیم می کند(۴۹). در صبح چسبندگی پلاکت‌ها افزایش و فعالیت شکننده فیبرین بافتی کاهش می‌یابد که به افزایش نسبی در انعقادپذیری خون منجر می‌گردد و خطر تشکیل ترومبوز و در نتیجه ایسکمی را افزایش می دهد. همچنین در برخی مطالعات بیشترین زمان خطر وقوع حملات در بعد از ظهر و هنگام غروب گزارش شده است(۵۱). از آنجا که فعالیت ورزشی به عنوان تنظیم کننده ژن‌های ساعت بدن در عضلات و دیگر بافت‌ها شناخته‌شده‌است می‌توان پیشنهاد کرد زمان مناسب و منظم فعالیت ورزشی می‌تواند در تنظیم مجدد و روزانه ساعت بدن و شرایط پاتولوژیک ریتم‌های شبانه‌روزی اثرگذارباشد. بهبود این اختلالات در کاهش عوارض متابولیک موثر است(۵۲). همچنین عملکرد بدن هنگام یا پس از فعالیت های ورزشی در زمان های متفاوت روز یکسان نیست. محققان بر این باورند کـه قابلیـت عملکـردی ورزشـکاران در ساعات عصر و نزدیک به شـب، در بـالاترین حالـت است؛ زیرا درجـه حـرارت مرکـزی بـدن و میـزان متابولیسم، به بالاترین مقادیرخـود نزدیـک اسـت(۵۰).

فعالیت ورزشی و کیفیت خواب

با بررسی مطالعات انجام شده می‌توان بین کیفیت خواب و عملکرد ورزشی ارتباط مستقیمی پیدا کرد(۵۳). مطالعات نشان می‌دهد ریتم شبانه‌روزی و اختلال خواب با برخی از اختلالات مرتبط هستند: از آنجا که کارگران شیفتی اغلب در طول شب که مرحله استراحت برای انسان است کار می کنند، در معرض خطرات ناشی از برهم خوردن ریتم شبانه‌روزی و اختلال خواب و بیماری های متابولیکی هستند (۵۴). سلامت انسان با کمیت و کیفیت خواب او در ارتباط است به طوری‌که بی‌خوابی شبانه می‌تواند کیفیت زندگی افراد را تحت تاثیر قرار دهد. فعالیت ورزشی راهکار غیر دارویی است که می‌تواند اثرات مفیدی بر روی کیفیت خواب و اختلالات خواب داشته باشد(۵۵). انجام ۱۲ هفته تمرینات استقامتی با تکرار ۳ جلسه در هفته بر کیفیت خواب افراد سالمند اثر مثبتی داشته است. یافتـه هـا نشـان مـی دهـد تمریـن در محیـط خـارج از سـالن ورزشـی در طـول روز به‌دلیل قرارگیری در معـرض نـور خورشید مـی‌توانـد عملکـرد خـواب را بهبـود بخشـد، نـور خورشـید قـوی‌تریـن محـرک بـرای ریتـم‌هـای شـبانه روزی بـوده کـه بـه تنظیـم چرخـه خـواب- بیـداری کمـک شـایانی مـی‌کنـد(۵۵). موریتا و همکاران(۲۰۱۷) نشان دادند در افـراد سالمند تمریـن صبحگاهی به‌ویژه در افرادی کـه شـروع خـواب خوبـی ندارنـد مـی توانـد کیفیـت خـواب را بهبـود دهد (۵۶).کاسما اسچیلد و همکاران(۲۰۱۹) نشان دادند ۱۲ هفته تمرین قدرتی و استقامتی در شب منجر به بهبود عملکرد جسمی، هایپرتروفی عضلانی وغلظت هورمون سرم در مقایسه با ورزش صبحگاهی شده است (۵۷).

بحث و نتیجه گیری

براساس اطلاعات جمع آوری شده در مطالعه مروری حاضر، ریتم‌های بیولوژیکی و فیزیولوژیکی بر عملکرد جسمی افراد اثردارد. این تأثیرات می‌توانند در برخی موارد به عوامل فیزیولوژیکی مانند ترشح هورمون‌ها، دمای بدن، و سطح انرژی بازگردد. همچنین قرار گیری در معرض نور خورشید می تواند باعث بهبود عملکرد گردد. علیرغم تفاوت‌های فردی و ترجیح شخصی در تعیین ساعت تمرینی، با در نظر گرفتن ساعت تمرینی مشخص در هر روز و تمرین می توان عملکرد افراد را بهبود داد. اوج عملکرد ورزشی معمولا در

بعدازظهر و ابتدای شب مشاهده شده‌است. بالاتر بودن دمای بدن در عصر هنگام، افزایش سطح ترشح هورمون هایی مانند کورتیزول و تستوسترون و ... می تواند از عوامل موثر بر عملکرد بهتر ورزشکاران در عصر باشد.اما برخی تحقیقات نشان داده اند ورزشکارانی که در صبح تمرین می‌کنند توانایی تحمل تمرینات دشوار را داشته‌اند. اما بسته به نوع فعالیت، سطح مهارت، جنسیت ورزشکاران و تفاوت های فردی زمان انجام فعالیت برای عملکرد بهتر می تواند متغیر باشد. علاوه بر موارد ذکر شده ترجیح فردی برای انجام فعالیت در روز یا شب عاملی مهم در بهبود عملکرد است.با این حال، لازم است توجه داشت که تأثیر زمان روز بر عملکرد ورزشی ممکن است بسته به نوع ورزش، سطح مهارت، جنسیت ورزشکاران، و همچنین تفاوت‌های فردی متفاوت باشد. بنابراین، هر ورزشکار باید توجه به زمانی در روز که برای او بهترین عملکرد را دارد، داشته باشد.

تشکر و قدردانی

از نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی که فرصت ارائه این مطالب را در اختیار ما قرار دادند صمیمانه سپاسگذاریم.

حامی/ حامیان مالی

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

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور مساوی در اجرا این پژوهش مشارکت داشتند .

تعارض منافع

نویسندگان تصریح می کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه 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;23:210-2.
11. Parr EB, Coffey VG, Hawley JA. 'Sarcobesity': A metabolic conundrum. Maturitas. 2013;74(2):109-12.
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(1.۴۵-۸۳۴:(۱
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):1646-5.۷
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- ۱and 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):1524.۸-
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(1pt2.۵۳-۱۴۶:(
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.