فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

2025 (Spring), 3 (1): 21-33
DOI:
Review article
Journal of Physiology of Training and Sports Injuries
(PTSIJournal@gmail.com)
(zanjan.ptsijournal@iau.ir)
https://sanad.iau.ir/journal/eps

Received: 2025/4/7
Accepted: 2025/6/10
(ISSN: 3060 - 6306)

The Role of Macronutrient, Hydration, and Electrolyte Timing in Optimizing Physical Performance in Young Athletes: A Narrative Review of Nutritional Strategies Before, During, and After Exercise

Daniel Tarmast

Assistant Professor, Department of Sports Science, Faculty of Humanities, Pa.C., Islamic Azad University, Parand, Tehran, Iran. Corresponding Author, Email: dr.tarmast@iau.ac.ir

Abstract:
In this narrative review, the most recent scientific research is used to critically evaluate the impact of macronutrient timing, fluid and electrolyte intake, and the athletic performance of young athletes. Optimal nutrition is crucial during the sensitive developmental period of adolescence and youth, characterized by continuous tissue growth, remodeling, and extensive physiological changes. This review unequivocally illustrates that athletic performance and recovery are significantly influenced by precise nutrient timing, in addition to the quality and quantity of nutrients.
Particularly for moderate-to-high-intensity activities, carbohydrates are the primary energy source. Optimal carbohydrate intake at specific intervals prior to exercise stabilizes liver and muscle glycogen stores, thereby improving training capacity. Controlled carbohydrate intake effectively prevents declines in blood glucose levels during prolonged exercise, thereby maintaining both cognitive focus and muscular strength. Additionally, the replenishment of glycogen is expedited by consuming carbohydrates in specific quantities immediately after exercise, particularly when they are combined with protein. The review emphasizes the significance of fats as a stable energy source during moderate-intensity activities and endurance exercises. A balanced and timely intake of fat enhances post-exercise hormonal regulation and inflammatory responses. Nevertheless, the necessity of controlled timing and dosage is underscored by the potential for gastrointestinal discomfort that can result from excessive fat consumption, especially during or immediately after exercise.
Proteins also play a critical role in this investigation. Protein synthesis pathways are activated and muscle breakdown is minimized through the consumption of protein at specific times, particularly before and after exercise. Muscle synthesis and energy restoration are significantly improved by the combined consumption of proteins and carbohydrates in specific proportions following exercise. It is also advisable for young athletes to consume protein daily to maintain a positive nitrogen balance and promote muscle growth. The critical role of fluid and electrolyte management in maintaining fluid balance and preventing dehydration is emphasized. The results highlight the importance of precise timing and appropriate intake volumes, especially in hot environments and during prolonged exercise, to maintain the health and performance.
In summary, this review underscores the importance of formulating precise, personalized nutritional strategies for young athletes. It recommends that sports nutrition professionals and coaches customize nutritional plans to meet the distinctive physiological and developmental needs of this age group. The insights gained from this review could be a valuable foundation for the development of comprehensive and practical nutritional guidelines for young athletes.

Keywords: Macronutrient timing in exercise, Carbohydrates, Proteins, Fats, Hydration, Electrolytes.

How to Cite: Tarmast, D. (2025). The Role of Macronutrient, Hydration, and Electrolyte Timing in Optimizing Physical Performance in Young Athletes: A Narrative Review of Nutritional Strategies Before, During, and After Exercise. Journal of Physiology of Training and Sports Injuries, 3(1):21-33. [Persian].

فصلنامه فیزیولوژی تمرین و آسیب‌های ورزشی؛ بهار ۱۴۰۴، ۳(۱).

CC BY

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۲۰
مقاله مروری

دورهٔ ۳ – شماره ۱
بهار ۱۴۰۴ – صص: ۲۱-۳۳

نقش زمان‌بندی مصرف درشت‌مغذی‌ها، آب و الکترولیت‌ها در ارتقای عملکرد بدنی ورزشکاران جوان: مرور روایتی بر راهبردهای تغذیه‌ای پیش، حین و پس از تمرین

دانیال تارمست

استادیار، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، تهران، ایران. (نویسندهٔ مسئول)
dr.tarmast@iau.ac.ir

چکیده:

این مقاله مروری روایتی به بررسی جامع نقش زمان‌بندی مصرف درشت‌مغذی‌ها، مایعات و الکترولیت‌ها در ارتقای عملکرد بدنی ورزشکاران جوان پرداخته است. اهمیت ویژه‌ای که تغذیه در سنین نوجوانی و جوانی دارد به‌علت تأثیر مستقیم آن بر رشد جسمی، هورمونی و عملکردی مورد تأکید قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که نه تنها کیفیت و کمیت درشت‌مغذی‌ها، بلکه زمان دقیق مصرف آن‌ها در پیش، حین و پس از تمرین، تأثیر معناداری بر عملکرد تمرینی و بازیابی عضلانی دارد. در این مطالعه، مشخص شده که مصرف کربوهیدرات‌ها با دقت زمانی، به حفظ انرژی، پیشگیری از افت گلیکوژن و خستگی عضلانی منجر می‌شود. همچنین تأکید شده که استفاده از مکمل‌های کربوهیدرات حین تمرین‌های طولانی برای حفظ عملکرد و تمرکز ذهنی بسیار مؤثر است. از طرف دیگر، مصرف هدفمند چربی‌ها به‌ویژه در تمرینات استقامتی و با شدت متوسط، موجب بهینه‌سازی ذخایر انرژی و کاهش التهاب پس از تمرین می‌شود. در زمینه پروتئین‌ها، نتایج نشان می‌دهند که مصرف آن‌ها در دوره‌های نزدیک به تمرین، به‌ویژه بلافاصله پس از تمرین، برای افزایش توده عضلانی و تقویت بازیابی بسیار مهم است. ترکیب پروتئین و کربوهیدرات در نسبت‌های مناسب، بهترین رویکرد برای بهینه‌سازی سنتز پروتئینی و بازسازی ذخایر گلیکوژن است.

مدیریت مصرف آب و الکترولیت‌ها نیز به‌عنوان بخش حیاتی از راهبرد تغذیه ورزشی بررسی شده است. نشان داده شده که تنظیم دقیق مصرف مایعات و الکترولیت‌ها پیش از تمرین برای جلوگیری از کم‌آبی بدن، حین تمرین برای حفظ تعادل مایعات، و پس از تمرین برای جبران ذخایر از دست‌رفته، کلیدی است. در نهایت، مقاله بر ضرورت رویکردهای تغذیه‌ای دقیق و فردمحور، و نیاز به دستورالعمل‌های مشخص برای ورزشکاران جوان، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، تأکید دارد تا از رشد و توسعه پایدار آنان حمایت شود.

واژگان کلیدی: زمان‌بندی مصرف درشت‌مغذی‌ها در عملکرد ورزشی، کربوهیدرات، پروتئین، چربی، هیدراتاسیون، الکترولیت‌ها.

شیوه استناددهی: تارمست، دانیال. نقش زمان‌بندی مصرف درشت‌مغذی‌ها، آب و الکترولیت‌ها در ارتقای عملکرد بدنی ورزشکاران جوان: مرور روایتی بر راهبردهای تغذیه‌ای پیش، حین و پس از تمرین. فصلنامه فیزیولوژی تمرین و آسیب‌های ورزشی، بهار ۱۴۰۴، ۳(۱)؛ ۲۱-۳۳.

فصلنامه فیزیولوژی تمرین و آسیب‌های ورزشی؛ بهار ۱۴۰۴، ۳(۱).

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

۱. مقدمه

تغذیه، یکی از ارکان بنیادین در فرآیند رشد، پیشرفت و شکوفایی توانمندی‌های بدنی و ذهنی ورزشکاران جوان است [۱, ۲]. در دوران حساس جوانی که بدن در اوج تحول قرار دارد، تأمین نیازهای تغذیه‌ای، علاوه بر پیشگیری از آسیب‌ها، محرک مهمی برای افزایش ظرفیت تمرینی و دستیابی به اهداف ورزشی است [۳]. در این دوران، تغذیه صحیح، نه‌تنها عامل تضمین‌کننده رشد استخوانی، عضلانی و عصبی است، بلکه نقش بسزایی در حفظ سلامت روان، تعادل هورمونی و ایمنی ایفا می‌کند [۴]. از این‌رو، نادیده‌گرفتن اصول علمی تغذیه در ورزشکاران جوان می‌تواند پیامدهایی فراتر از کاهش عملکرد بدنی به‌همراه داشته باشد و فرآیند رشد و تندرستی کلی آنان را مختل کند [۵].

درشت‌مغذی‌ها، شامل کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، پروتئین‌ها، به همراه مایعات و الکترولیت‌ها، اجزای کلیدی تغذیه ورزشکاران می‌باشند [۶, ۷]. این ترکیبات، منابع اصلی انرژی [۸]، ابزار بازسازی بافت‌ها [۹]، تنظیم‌کننده تعادل اسید و باز [۱۰] و تقویت‌کننده عملکرد عصبی و عضلانی [۱۱] هستند. کربوهیدرات‌ها با فراهم‌سازی سوخت سریع برای عضلات، در تمرینات با شدت بالا نقش حیاتی ایفا می‌کنند [۱۲]. چربی‌ها، سوخت مؤثر در فعالیت‌های استقامتی می‌باشند و همچنین نقش هورمونی و ساختاری در بدن دارند [۱۳]. پروتئین‌ها با پشتیبانی از سنتز پروتئین عضله، در بازسازی و سازگاری عضلانی نقش غیرقابل انکاری دارند [۱۴]. همچنین، تأمین مایعات و الکترولیت‌ها برای حفظ حجم پلاسما، پایداری دمای بدن و عملکرد روانی در تمرین‌های فشرده ضروری هستند [۱۵, ۱۶].

در سال‌های اخیر به‌ویژه در مطالعات تغذیه ورزشی، نکته‌ای که مورد توجه قرار گرفته، زمان‌بندی مصرف مواد مغذی[۱] بوده [۶, ۱۷, ۱۸] و صرف‌نظر از کیفیت و کمیت مواد مغذی، زمان مصرف آن‌ها می‌تواند اثری مستقیم بر عملکرد، بهبود بازیابی و حتی کاهش خطر آسیب‌های ورزشی داشته باشد [۱۹, ۲۰]. به‌عنوان نمونه، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مصرف کربوهیدرات با شاخص گلوکز[۲] بالا بلافاصله پس از تمرین، بازسازی ذخایر گلیکوژن را افزایش می‌دهد [۲۱, ۲۲]. این افزایش در حدود ۷۲ و ۱۰۶ میلی‌مول بر کیلوگرم گزارش شده، که نشان‌دهنده افزایش قابل‌توجهی در بازسازی گلیکوژن با مصرف کربوهیدرات‌های با GI بالا بوده است [۲۳]. همچنین، دریافت پروتئین با دوز مناسب پس از تمرین شدید، سنتز پروتئین عضله را تسریع [۲۴] و از تخریب عضلانی جلوگیری می‌نماید [۲۵]. در زمینه مایعات نیز، مصرف نوشیدنی‌های حاوی الکترولیت در حین فعالیت بدنی طولانی، از افت عملکرد و گرفتگی عضلات پیشگیری می‌کند [۲۶]. این یافته‌ها، اهمیت طراحی برنامه‌های تغذیه‌ای هدفمند را بر اساس مراحل مختلف تمرین آشکار می‌سازند [۲].

هدف این مقاله آن است که با رویکردی روایتی و بر پایه جدیدترین شواهد علمی معتبر، به بررسی و تحلیل نقش زمان‌بندی مصرف درشت‌مغذی‌ها در بهبود عملکرد ورزشی ورزشکاران جوان بپردازد [۶, ۲۷, ۲۸]. نخست، با تمرکز بر نیازهای خاص فیزیولوژیکی این گروه سنی، نقش هر یک از درشت‌مغذی‌ها در فرآیند تمرینی و تطابقات متابولیکی مرتبط با آن بررسی خواهد شد. سپس، با مرور ساختارمند بر راهبردهای تغذیه‌ای در سه مرحله کلیدی تمرین (پیش، حین و پس از تمرینات بدنی)، اهمیت انتخاب نوع، مقدار و زمان مصرف مواد مغذی برای افزایش عملکرد، و کاهش خستگی مورد واکاوی قرار خواهد گرفت. این مرور همچنین بر ضرورت توجه ویژه به برخی از ویژگی‌های جوانان تأکید می‌ورزد، چرا که نیازهای تغذیه‌ای آنان با ورزشکاران بزرگسال تفاوت‌های بنیادینی دارد [۲, ۲۹]. مسئله‌ای که در این راستا مطرح می‌باشد، کمبود راهبردهای تغذیه‌ای مبتنی بر زمان‌بندی دقیق در برنامه‌های تمرینی جوانان است. علی‌رغم حجم بالای مطالعات در بزرگسالان، داده‌های تخصصی برای جمعیت جوان هنوز محدود می‌باشد [۳۰, ۳۱]. این خلأ علمی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، می‌تواند منجر به طراحی ناکارآمد برنامه‌های تغذیه‌ای شده و بر رشد و عملکرد ورزشکاران جوان اثر منفی بگذارد. از سوی دیگر، توجه بیش‌ازحد به مکمل‌های تجاری بدون آگاهی از اصول زمان‌بندی و تعامل مواد مغذی، تهدیدی جدی برای سلامت متابولیکی ایشان است [۲۰, ۳۲, ۳۳]. بررسی حاضر، بر پایه داده‌های تجربی موجود در متون علمی، از جمله منابعی که در حوزه سوخت‌وساز، نیازهای تغذیه‌ای و پاسخ‌های تمرینی در نوجوانان و جوانان مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، تدوین شده است. نتایج می‌تواند به‌عنوان مرجع علمی کاربردی برای مربیان ورزشی، متخصصان تغذیه، خانواده‌ها و ورزشکاران جوان مورد استفاده قرار گیرد و نقشه راهی برای طراحی برنامه‌های تمرینی و تغذیه‌ای مؤثر فراهم سازد.

۲. روش پژوهش

در تدوین این مقاله مروری روایتی، تلاش گردیده است تا با رویکردی نظام‌مند و هدفمند، منابع علمی مرتبط با نقش زمان‌بندی مصرف درشت‌مغذی‌ها در بهبود عملکرد ورزشی ورزشکاران جوان گردآوری، تحلیل و تلفیق شوند. این فرآیند با در نظر گرفتن اصول علمی انتخاب منابع و اعتبارسنجی شواهد، بر پایه ساختار پژوهش‌های تغذیه‌ای در ورزش انجام شده و در چند گام پیاپی سامان یافته است. در نخستین مرحله، معیارهایی برای انتخاب منابع علمی تعیین گردید، تا دقت و ارتباط مطالب با اهداف تحقیق تضمین گردد. از جمله

---

۱. Nutrient Timing

۲. Glycemic Index (GI)

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

مهم‌ترین این معیارها می‌توان به مواردی مانند نوع منبع تا سال ۱۴۰۴ (مطابق با ۲۰۲۵ میلادی)، زبان انگلیسی و هم‌راستایی موضوعی با مفهوم تغذیه ورزشی، درشت‌مغذی‌ها، زمان‌بندی مصرف و ورزشکاران جوان اشاره نمود. منابعی که تنها به مسائل پزشکی عمومی یا تغذیه در بیماران یا افراد مسن پرداخته بودند، از دامنه تحلیل خارج شدند.

به منظور گردآوری جامع‌ترین مجموعه از مطالعات علمی مرتبط، پایگاه‌های داده معتبری همچون پاب‌مد (PubMed)، ساینس دایرکت (Since Direct)، اسکوپوس (Scopus) و گوگل اسکولار (Google Scholar) مورد استفاده قرار گرفتند. در روند جست‌وجوی مقالات، از ترکیبی از واژگان کلیدی و عبارات موضوعی بهره گرفته شد. واژگانی همچون (macronutrient timing)، (youth athletes)، (exercise performance)، (carbohydrate intake)، (protein ingestion)، (fat metabolism)، (hydration strategies)، (nutrient timing) همراه با واژه‌های (before/during/after exercise) در ترکیب‌های مختلف به‌کار برده شدند تا دامنه جست‌وجو جامع و دقیق باشد. پس از جست‌وجوی اولیه، غربالگری منابع بازیابی‌شده در دو مرحله صورت گرفت. ابتدا عنوان و چکیده مقالات مرور گردید تا مطالعاتی که به‌وضوح با هدف مقاله فاصله داشتند، حذف شوند. در مرحله دوم، مقالات باقی‌مانده به صورت کامل مطالعه شده و از منظر محتوای علمی، کاربرد در زمینه ورزشکاران جوان و کیفیت روش شناسی ارزیابی گردیدند. مقالاتی که ابهام در ارتباط موضوعی داشتند، از دایره جستجو حذف گردیدند.

در مرحله تحلیل، مقالات منتخب از منظر روش شناسی به‌کاررفته، گروه‌های مورد مطالعه، نوع تمرینات، شیوه مداخله تغذیه‌ای و نوع درشت‌مغذی بررسی شدند. به‌علاوه، یافته‌های کلیدی در خصوص تأثیر زمان‌بندی مصرف هر یک از درشت‌مغذی‌ها شامل کربوهیدرات، چربی، پروتئین و نیز مایعات و الکترولیت‌ها، در سه بازه زمانی پیش، حین و پس از تمرین استخراج و مقایسه گردید. الگوهای مشترک، تعارض‌های نتایج و شکاف‌های دانشی در ادبیات علمی با دقت شناسایی شدند تا تصویر روشن‌تری از وضعیت موجود ارائه گردد. با وجود تلاش برای جامعیت و دقت در انتخاب منابع، این مطالعه نیز محدودیت‌هایی دارد که باید در تحلیل نهایی در نظر گرفته شود. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به احتمال نادیده‌گرفتن برخی مطالعات منتشرشده به زبان‌های غیر انگلیسی یا مقالات نمایه‌نشده در پایگاه‌های جست‌وجو شده اشاره نمود. همچنین، به دلیل ماهیت روایتی مقاله، ارزیابی‌های کمی مانند متاآنالیز انجام نگردیده و تمرکز بر ترکیب کیفی و توصیفی یافته‌ها بود. با این‌حال، این روش‌شناسی تلاش نموده تا با بهره‌گیری از منابع به‌روز، معتبر و مرتبط، بنیانی استوار برای تحلیل علمی موضوع فراهم آورد.

۳. نتایج

۱،۳. کربوهیدرات‌ها

در میان درشت‌مغذی‌ها، کربوهیدرات‌ها یا قندها جایگاهی ممتاز در تغذیه ورزشی دارند، به‌ویژه در تمرینات با شدت متوسط تا بالا که نیاز متابولیکی بدن به انرژی سریع‌الانتقال، افزایش می‌یابد [۳۴]. این اهمیت، در ورزشکاران جوان در حال رشد ساختاری، عصبی و هورمونی، دوچندان می‌گردد؛ چرا که نه‌تنها برای تأمین انرژی تمرینی بلکه برای پشتیبانی از فرآیندهای زیستی اساسی مورد نیاز می‌باشند [۳۵]. مصرف زمان‌بندی‌شده و هوشمندانه کربوهیدرات‌ها در مراحل مختلف تمرین [۱۷] از افت عملکرد [۳۶]، خستگی زودهنگام [۳۷]، اختلال هومئوستاز گلوکز [۳۸] و خستگی عصبی-عضلانی [۳۹] پیشگیری می‌نماید.

سطح ذخایر گلیکوژن عضلانی و کبدی پیش از تمرین، نقش مهمی در ظرفیت تمرینی و تحمل بار تمرینی دارد. نوسانات ذخایر گلیکوژن در پاسخ به فعالیت بدنی، میزان خستگی و مصرف کربوهیدرات، مورد اشاره قرار گرفته است [۳۵]. گلیکوژن، به‌عنوان شکل ذخیره‌ای گلوکز در عضلات اسکلتی و کبد نقش پشتیبان سوختی دارد و بر اساس شدت، مدت و نوع فعالیت، مقدار آن می‌تواند تا حد چشم‌گیری تعیین‌کننده حد تحمل تمرین بدنی باشد [۴۰]. بر اساس شواهد علمی، افزایش سطح گلیکوژن پیش از تمرین می‌تواند زمان رسیدن به خستگی را تا ۲۰٪ به تعویق اندازد [۳۵, ۴۱]. افراد جوان به دلیل تفاوت در حجم عضله، فعالیت آنزیمی و الگوهای تغذیه‌ای، اغلب ذخایر گلیکوژنی کمتری نسبت به بزرگسالان دارند که اهمیت برنامه‌ریزی دقیق مصرف کربوهیدرات پیش از تمرین را افزایش می‌دهد. مصرف وعده‌ای حاوی ۱ تا ۳ گرم کربوهیدرات به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در بازه زمانی ۱ تا ۳ ساعت پیش از آغاز تمرین، می‌تواند توازن قند خون را حفظ نماید، منابع انرژی را اشباع کند و از بروز هیپوگلیسمی عملکردی در طول تمرین جلوگیری نماید [۲۲]. مقدار کربوهیدرات مورد نیاز بر پایه‌ی کل انرژی مصرفی، به عواملی مانند سن، جنسیت، وزن بدن، شدت فعالیت بدنی، نوع ورزش و میزان انرژی مورد نیاز آن وابسته است. جدول ۱ راهنمایی کلی برای برآورد نیازهای کربوهیدراتی فراهم می‌کند [۳۵].

در حین تمرین، به‌ویژه در جلسات تمرینی مداوم با مدت‌زمان بیش از ۶۰ دقیقه، خطر افت گلوکز خون، کاهش سوخت‌های درون‌عضله‌ای و آغاز فرآیندهای کاتابولیک وجود دارد [۴۲]. در این شرایط، مصرف مکمل‌های کربوهیدرات با جذب سریع می‌تواند راهکاری مؤثر برای حفظ گلوکز خون، جلوگیری از افت ذهنی و عضلانی و تأخیر در واماندگی باشد [۱۱, ۴۳]. دریافت حدود ۳۰ تا ۶۰ گرم کربوهیدرات در هر ساعت تمرین، به‌صورت نوشیدنی‌های ایزوتونیک یا ژل‌های ورزشی، می‌تواند تعادل سوختی را حفظ کرده و اکسایش بهینه کربوهیدرات‌ها را تداوم بخشد. میزان مصرف مکمل‌های کربوهیدرات در حین فعالیت بدنی

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

حدود ۱ گرم در دقیقه گزارش شده است [۴۴]، در حالی‌که برای تأمین حداکثر انرژی مورد نیاز از طریق کربوهیدرات‌ها در طی ورزش، مصرف روزانه حدود ۱۲ تا ۱۳ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن توصیه می‌شود [۴۵]. نوع ترکیب کربوهیدراتی (مانند گلوکز، مالتودکسترین و فروکتوز) نیز در نرخ جذب مؤثر می‌باشد و مصرف ترکیبی آن‌ها موجب افزایش نرخ جذب تا بیش از ۹۰ گرم در ساعت نیز گزارش شده است [۴۶]. این استراتژی برای ورزشکاران استقامتی یا در تمرینات ترکیبی مقاومتی-هوازی در ورزشکاران جوان کاربرد دارد [۲۳, ۴۴].

جدول ۱. محاسبه مقدار کربوهیدرات مورد نیاز جوانان ورزشکار.

شدت تمرین	نیازهای کربوهیدراتی ($g.kg^{-1}$)	محاسبه کربوهیدرات مورد نیاز (g)	
		حد پایین	حد بالا
سبک	۳ تا ۵	وزن بدن (kg) × ۳	وزن بدن (kg) × ۵
متوسط	۵ تا ۶	وزن بدن (kg) × ۵	وزن بدن (kg) × ۶
سنگین	۷ تا ۸	وزن بدن (kg) × ۷	وزن بدن (kg) × ۸

پس از تمرین، بدن در وضعیت بازسازی قرار می‌گیرد و در عضلات، مسیرهای مولکولی وابسته به سنتز گلیکوژن فعال می‌شوند. در این مرحله که به‌اصطلاح پنجره آنابولیک [۱] یا زمان طلایی [۲] نامیده می‌شود، سرعت برداشت گلوکز و سنتز مجدد گلیکوژن به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد [۶]. مصرف کربوهیدرات در این بازه زمانی (۳۰ دقیقه نخست پس از تمرین)، با دوز پیشنهادی ۱ تا ۱,۲ گرم برای کیلوگرم وزن بدن، باعث بازسازی سریع ذخایر گلیکوژن می‌گردد [۲۱]. این امر برای ورزشکاران جوانی که در طول روز بیش از یک جلسه تمرین دارند یا در اردوهای فشرده شرکت می‌نمایند، اهمیتی مضاعف دارد. ترکیب کربوهیدرات با پروتئین به نسبت تقریبی ۳ به ۱ می‌تواند نه‌تنها سنتز گلیکوژن را تسریع، بلکه فرآیندهای بازسازی عضلانی را نیز تقویت نماید [۴۷, ۴۸]. در برنامه‌ریزی تغذیه‌ای جوانان، نباید تنها به دوز و نوع کربوهیدرات توجه گردد، بلکه زمان‌بندی مصرف آن در هماهنگی با الگوهای تمرین، سطح آمادگی بدنی و پاسخ‌های متابولیکی این گروه سنی مهم است [۳۵]. تحقیقات صورت‌گرفته طی سال‌های اخیر در این حوزه، بر تأثیر مثبت مداخلات تغذیه‌ای مرحله‌ای در ورزشکاران جوان تأکید داشته و ضرورت توسعه دستورالعمل‌های خاص سنی را مطرح می‌نمایند [۵۱-۴۹].

۲,۳. چربی‌ها

چربی‌ها، به‌عنوان یکی از ارکان بنیادین درشت‌مغذی‌ها، نقشی حیاتی و چندلایه در حفظ تعادل انرژی، سلامت متابولیکی و عملکرد ورزشی ایفا می‌نمایند [۵۲]. برخلاف کربوهیدرات‌ها که منبعی سریع‌الاثر برای تأمین انرژی فوری در فعالیت‌های با شدت بالا هستند، چربی‌ها منبعی دیرسوز و پایدار از انرژی به شمار می‌روند که عمدتاً در فعالیت‌های بدنی با شدت پایین تا متوسط و با مدت‌زمان طولانی به‌کار گرفته می‌شوند [۵۳]. در ورزشکاران جوان که سیستم‌های انرژی آن‌ها در حال بلوغ و تنظیم متابولیکی می‌باشند، درک صحیح از زمان‌بندی و نوع مصرف چربی، می‌تواند نقشی کلیدی در بهینه‌سازی عملکرد و جلوگیری از ناهماهنگی‌های تغذیه‌ای ایفا کند [۵۴].

اگرچه بافت چربی، به‌عنوان منبع اصلی ذخیره چربی شناخته می‌شود، اما مقادیر قابل‌توجهی از چربی درون عضلات نیز انباشته می‌شود. این ذخایر، که به‌عنوان تری‌گلیسریدهای درون‌عضلانی [۳] شناخته می‌شوند، از نظر اندازه و تراکم با توجه به نوع عضله، سطح فعالیت فرد و وضعیت تغذیه‌ای متغیر هستند [۵۳]. غلظت تری‌گلیسرید عضلانی در محدوده‌ای بین ۷ تا ۴۰ میلی‌مول در هر کیلوگرم عضله قرار دارد [۱۳]. در یک مرد ۸۰ کیلوگرمی با حدود ۱۸ کیلوگرم توده عضلانی فعال، مجموع ذخایر چربی عضلانی ممکن است از حدود ۱۰۰ تا ۶۰۰ گرم متغیر باشد. توزیع چربی درون‌عضلانی نیز تابعی از نوع فیبر عضلانی بوده، به‌طوری‌که فیبرهای عضلانی نوع I (کندانقباض و اکسیداتیو) [۴] نسبت به فیبرهای عضلانی نوع II (تندانقباض و گلیکولیتیک) [۵] دارای میزان بیشتری از تری‌گلیسرید ذخیره هستند [۱۳]. افزون بر آن، مقادیر اندکی از اسیدهای چرب آزاد در جریان خون نیز حضور دارند که یا به‌صورت استریفیه‌شده در لیپوپروتئین‌ها حمل می‌شوند، یا به‌شکل غیر استریفیه‌شده به آلبومین اتصال یافته و بین بافت‌ها منتقل می‌گردند [۱۳, ۵۳, ۵۴]. علاوه بر تری‌گلیسریدها، که از اتصال سه اسید چرب به یک مولکول گلیسرول تشکیل می‌شوند، چربی‌های دیگری مانند فسفولیپیدها، استرول‌ها و اسیدهای چرب آزاد نیز وجود دارند که نقش ساختاری یا عملکردی در بدن ایفا می‌کنند [۵۵]. در سیستم گوارشی، تری‌گلیسریدهای غذایی پیش از جذب باید به شکل‌های ساده‌تری مانند مونوگلیسریدها و اسیدهای چرب آزاد [۶] شکسته شوند. این ترکیبات پس از جذب در سلول‌های روده‌ای مجدداً به تری‌گلیسرید بازسازی شده و وارد جریان لنف و در نهایت خون می‌شوند. نوع و ساختار اسیدهای چرب بازترکیب‌شده (زنجیره‌بلند، کوتاه، اشباع یا غیراشباع) می‌تواند بر چگونگی مصرف آن‌ها در سلول‌های عضلانی اثرگذار باشد [۵۴]. در زمینه عملکرد ورزشی، به‌ویژه در مرحله پیش از تمرین، توجه به نوع و زمان‌بندی مصرف چربی می‌تواند بر دسترسی به منابع انرژی و ظرفیت استقامت عضلانی تأثیر بگذارد. چربی‌ها برخلاف کربوهیدرات‌ها منبعی

۱. Anabolic Window
۲. Golden Window
۳. Intramuscular Triglycerides
۴. Slow-Twitch Muscle Fibers
۵. Fast-Twitch Muscle Fibers
۶. Monoglycerides and Free-Fatty Acids

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

آهسته‌سوز ولی پایدار از انرژی محسوب می‌شوند که بیشتر در فعالیت‌های با شدت پایین تا متوسط نقش دارند [۳۵, ۵۴].

در فرایند تأمین انرژی طی فعالیت‌های بدنی، شدت تمرین نقش اساسی در تعیین منبع غالب سوخت ایفا می‌کند [۵۶]. در شدت‌های پایین‌تر، چربی‌ها سهم عمده‌ای در تولید انرژی دارند، به‌گونه‌ای‌که در حدود ۲۵٪ از حداکثر اکسیژن مصرفی، تقریباً کل انرژی مصرفی از چربی تأمین می‌شود [۵۷]. با افزایش شدت تمرین تا حدود ۶۵٪، همچنان چربی منبع مهمی از انرژی باقی می‌ماند و حدود نیمی از انرژی را فراهم می‌سازد [۱۳, ۵۳]. در این سطح، سهم اکسایش[1]چربی به‌طور مطلق در بیشترین حد خود است. با افزایش شدت تمرین تا ۸۵٪، اگرچه نیاز به انرژی بیشتر می‌شود، اما نسبت مشارکت چربی در اکسایش، کاهش می‌یابد و کربوهیدرات‌ها نقش اصلی را بر عهده می‌گیرند [۱۳].

تمرینات با شدت پایین تا متوسط عمدتاً به مسیرهای هوازی وابسته هستند و استفاده بیشتری از منابع چربی دارند [۵۸]. در این حالت، غلظت اسیدهای چرب آزاد در پلاسما افزایش یافته و ورود آن‌ها به عضله برای اکسایش بیشتر می‌شود. اما با رسیدن به سطوح بالاتر شدت، آزادسازی اسیدهای چرب از بافت چربی محدود شده و تحویل این مواد به عضلات کاهش می‌یابد [۵۹]. حتی با افزایش مصنوعی اسیدهای چرب پلاسما، اکسایش چربی‌ها به سطح تمرینات با شدت متوسط بازنمی‌گردد که نشان می‌دهد در شدت‌های بالا، عوامل درون‌سلولی مانند افزایش لاکتات، کاهش جریان خون چربی‌ساز و رقابت متابولیکی درون میتوکندری مانع استفاده مؤثر از چربی‌ها می‌شود [۵۲].

علاوه بر نوع سوخت، نوع فیبر عضلانی نیز در این فرآیند دخیل بوده و در این خصوص، فیبرهای کندانقباض که بیشتر در تمرینات هوازی فعال هستند، توان بالایی در اکسایش چربی دارند؛ در حالی که فیبرهای تند انقباض که در شدت‌های بالا فعال‌تر هستند، عمدتاً وابسته به کربوهیدرات‌ها می‌باشند [۵۳]. از این‌رو، تمرین با شدت بالا اگرچه درصد کمتری از انرژی را از چربی تأمین می‌کند، اما به دلیل نیاز انرژی بیشتر، در مجموع می‌تواند حجم بیشتری از چربی را بسوزاند [۶۰]. بنابراین، در طراحی راهبردهای تغذیه‌ای پیش، حین و پس از تمرین، توجه به شدت فعالیت و زمان‌بندی مصرف چربی‌ها، می‌تواند بهینه‌سازی مصرف انرژی، حفظ ذخایر گلیکوژن و بهبود عملکرد بدنی ورزشکاران جوان را به‌دنبال داشته باشد. بهره‌برداری مؤثر از منابع چربی، به‌ویژه در محدوده شدت تمرینی متوسط، نقطه تعادلی میان توان هوازی و بهره‌وری سوخت است.

در یک الگوی استاندارد تغذیه مبتنی بر دریافت روزانه ۲۰۰۰ کیلوکالری، توزیع انرژی به‌طور معمول شامل حدود ۳۰٪ از چربی‌ها، ۶۰٪ از کربوهیدرات‌ها و ۱۰٪ از پروتئین‌ها است [۵۴]. از این میزان چربی دریافتی، توصیه می‌شود که حداکثر یک‌سوم آن از منابع چربی اشباع‌شده تأمین گردد، به‌منظور حفظ سلامت قلبی‌عروقی و کنترل وضعیت متابولیکی بدن [۵۴]. با این حال، در گروه‌های سنی فعال مانند جوانان، نیازهای انرژی و درشت‌مغذی‌ها دچار تغییراتی متناسب با سطح فعالیت بدنی و فیزیولوژی رشد می‌شود. در این گروه، پیشنهاد می‌شود که بین ۲۵ تا ۳۵٪ از کل انرژی دریافتی روزانه از چربی‌ها تأمین شود [۵۸, ۶۱]. این بازه متعادل، ضمن حمایت از عملکرد متابولیکی و هورمونی، به تأمین انرژی پایدار در تمرینات ورزشی به‌ویژه در بازه‌های زمانی طولانی یا با شدت متوسط کمک می‌کند. برنامه‌ریزی زمان‌بندی‌شده برای مصرف چربی‌ها، به‌ویژه در وعده‌های پیش از تمرین، می‌تواند نقش مؤثری در بهینه‌سازی استفاده از ذخایر چربی و حمایت از عملکرد استقامتی داشته باشد، در حالی‌که مصرف بیش‌ازحد چربی‌های اشباع، به‌ویژه در وعده‌های نزدیک به فعالیت بدنی و ورزش، ممکن است منجر به کاهش کارایی گوارشی و افزایش بار متابولیکی شود [۱۳].

برآورد نیاز کالری در جوانان، به‌ویژه در ورزشکاران، پیچیده‌تر از جمعیت بزرگسال است و نیازمند لحاظ کردن فاکتورهایی چون رشد، سطح فعالیت بدنی و جنسیت است [۱۳]. در محاسبه این نیاز، چربی معمولاً پس از تعیین مقدار کربوهیدرات و پروتئین محاسبه می‌شود، نه به دلیل کم‌اهمیت بودن، بلکه به‌دلیل اولویت‌سنجی نسبت به سوخت‌های فوری‌تر در فعالیت ورزشی [۵۵]. از آنجا که چربی‌ها انرژی بیشتری در هر گرم نسبت به سایر درشت‌مغذی‌ها فراهم می‌کنند، محاسبه آن باید با دقت و بر اساس کالری باقی‌مانده انجام شود [۵۴]. برای تخمین نیاز انرژی روزانه ورزشکاران جوان، معادلاتی اختصاصی برای دختران و پسران تدوین شده است، که در آن‌ها سطح آمادگی بدنی نقش تعیین‌کننده دارد [۵۸]. این سطح آمادگی، با ضرایبی مشخص در جدول ۲ معرفی شده، و بسته به شدت فعالیت روزانه و جنسیت، از وضعیت بی‌تحرک تا بسیار فعال متغیر است [۵۸]. به‌عنوان مثال، یک پسر نوجوان با فعالیت ورزشی منظم، می‌تواند سطح انرژی مورد نیاز روزانه‌ای در حدود ۳۸۰۰ کیلوکالری داشته باشد، که از این مقدار، بر پایه محاسبه نیازهای کربوهیدرات [۳۵] و پروتئین [۶۲]، میزان چربی لازم به‌عنوان باقیمانده انرژی تعیین می‌شود [۵۴]. سهم چربی در رژیم غذایی این گروه سنی معمولاً باید در محدوده ۲۵ تا ۳۵٪ از کل انرژی دریافتی قرار گیرد [۵۵, ۶۱]. در مواردی مانند نوجوانانی که در تمرینات شدید ورزشی شرکت دارند یا دچار مشکل در افزایش وزن هستند، ممکن است این مقدار به سقف ۳۵٪ نزدیک شود. با این حال، استفاده بیش از حد از چربی در رژیم غذایی به‌ویژه اگر از منابع اشباع‌شده باشد،

---

[1]. Contribution of Oxidation

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

توصیه نمی‌شود. برای ارتقای کیفیت تغذیه، دریافت چربی‌ها باید عمدتاً از منابع مفید مانند آجیل، دانه‌ها، روغن‌های گیاهی، و اسیدهای چرب امگا-۳ تأمین گردد [۵۵]. در چارچوب برنامه‌ریزی تغذیه ورزشی، به‌ویژه در زمان پیش از تمرین بدنی، تخصیص متعادل چربی‌ها نقش مهمی در حفظ انرژی پایدار و بهینه‌سازی عملکرد فیزیولوژیک دارد. محاسبه دقیق و شخصی‌سازی‌شده، با در نظر گرفتن معادلات جنسی و ضرایب سطح آمادگی بدنی در جدول ۲، می‌تواند به تنظیم برنامه‌ای علمی و کاربردی برای ورزشکاران جوان منجر شود [۵۴].

جدول ۲. مقدار ضریب سطح آمادگی بدنی با توجه به جنسیت.

گروه سنی و جنسیت	سطح آمادگی	مقدار ضریب	گروه سنی و جنسیت	سطح آمادگی	مقدار ضریب
دختران با اضافه وزن تا ۱۹ سال	بی‌تحرک	۱/۰۰	دختران ۹ تا ۱۹ سال	بی‌تحرک	۱/۰۰
	پایین	۱/۱۸		پایین	۱/۱۶
	فعال	۱/۳۵		فعال	۱/۳۱
	بسیار فعال	۱/۶۰		بسیار فعال	۱/۵۶
پسران با اضافه وزن تا ۱۹ سال	بی‌تحرک	۱/۰۰	پسران ۹ تا ۱۹ سال	بی‌تحرک	۱/۰۰
	پایین	۱/۱۲		پایین	۱/۱۳
	فعال	۱/۲۴		فعال	۱/۲۶
	بسیار فعال	۱/۴۵		بسیار فعال	۱/۴۲

برای پسران جوان:

۲۵ + {(متر) قد × ۹۰۳ + (کیلوگرم) وزن × ۲۶/۷} × سطح آمادگی + {(سال) سن × ۶۱/۹} – ۸۸/۵ = **کالری**

برای دختران جوان:

۲۵ + {(متر) قد × ۹۳۴ + (کیلوگرم) وزن × ۱۰} × سطح آمادگی + {(سال) سن × ۳۰/۸} – ۱۳۵/۳ = **کالری**

در مرحله پیش از تمرین، چربی‌ها می‌توانند به‌عنوان منبع سوختی مؤثر برای فعالیت‌هایی با بار تمرینی ملایم یا پایدار مورد استفاده قرار گیرند [۵۵]. با این حال، ویژگی دیرجذب بودن چربی‌ها و فرآیند هضم آهسته آن‌ها سبب می‌گردد که مصرف مقادیر بالای چربی در وعده غذایی نزدیک به زمان تمرین با خطر بروز ناراحتی‌های گوارشی مانند تهوع، دل‌درد و کاهش تمایل به فعالیت همراه باشد. از این‌رو، مصرف چربی‌ها در وعده‌های غذایی پیش از تمرین، به‌ویژه در بازه کمتر از ۲ ساعت مانده به تمرین، باید با احتیاط و در مقادیر کنترل‌شده انجام گیرد [۵۴]. توصیه می‌شود از چربی‌های غیراشباع مانند روغن زیتون، آووکادو و اسیدهای چرب امگا-۳ ماهی استفاده شود، چرا که ضمن پایداری در متابولیسم، در تنظیم پاسخ‌های التهابی ناشی از تمرین نیز مؤثر می‌باشند [۵۵].

در حین تمرین، چربی‌ها در تمرینات استقامتی و فعالیت‌هایی با شدت پایین‌تر نسبت به آستانه لاکتات مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶۳]. در این شرایط، فعالیت آنزیم‌های مرتبط با اکسایش چربی در میتوکندری‌ها افزایش یافته و سوخت چربی به‌تدریج جایگزین کربوهیدرات‌ها می‌گردد [۶۴]. در جوانان، با توجه به تفاوت‌های هورمونی و نرخ بالاتر اکسایش چربی در مقایسه با بزرگسالان، این مسیر متابولیکی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد [۶۵]. در برخی شرایط خاص، مانند مسابقات چندمرحله‌ای یا اردوهای طولانی‌مدت، استفاده از منابع چربی همراه با مقادیر کم کربوهیدرات در نوشیدنی‌های تمرینی مفید می‌باشد، هرچند کارایی این راهکار در جوانان نیازمند مطالعات بیشتری می‌باشد. وجود اسیدهای چرب آزاد در پلاسما در هنگام تمرین، با کمک به حفظ ذخایر گلیکوژن، می‌تواند تأخیر در بروز خستگی را تسهیل نماید [۵۶].

در مرحله پس از تمرین، بازسازی منابع انرژی مصرف‌شده، بازآرایی غشای سلولی و حفظ تعادل متابولیکی از اهداف اصلی تغذیه به شمار می‌روند [۵۵]. اگرچه تمرکز بازسازی معمولاً بر کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها می‌باشد، اما چربی‌ها نیز در این مرحله نقش مکملی مهم ایفا می‌نمایند. مصرف چربی‌های سالم پس از تمرین، ضمن کمک به بازیابی انرژی کل، می‌تواند در تنظیم مسیرهای التهابی، تعدیل پاسخ ایمنی و بازسازی هورمونی مفید واقع شود [۶۸-۶۶]. در این میان، اسیدهای چرب ضروری مانند دوکوزاهگزانوئیک اسید[۱] و ایکوزاپنتانوئیک اسید[۲] که در ماهی و مکمل‌های امگا-۳ یافت می‌شوند، با کاهش مارکرهای التهابی نظیر اینترلوکین-۶ و پروستاگلاندین‌ها، روند بازسازی و تحمل تمرینی را در ورزشکاران تسریع می‌نمایند [۱۳, ۵۹, ۶۰]. در برخی گروه‌های خاص از ورزشکاران، به‌ویژه ورزشکاران استقامتی یا کسانی که در معرض تمرینات طولانی و پی‌درپی قرار دارند، استفاده هدفمند از مکمل‌های چربی مورد توجه قرار گرفته است. مکمل‌هایی نظیر تری‌گلیسریدهای با زنجیره متوسط که جذب سریع‌تری نسبت به چربی‌های بلندزنجیره دارند، می‌تواند به‌عنوان منبع انرژی قابل استفاده در حین تمرین مدنظر قرار گیرد [۶۹]. هرچند در مورد جوانان، به دلیل تفاوت در سرعت‌های گوارشی، سازوکارهای هورمونی و حساسیت سیستم گوارش، مصرف این مکمل‌ها باید تحت نظر متخصصین تغذیه ورزشی و با احتیاط باشد.

۳,۳. پروتئین‌ها

پروتئین‌ها به‌عنوان اجزای ساختاری اصلی بافت‌های بدن و به‌ویژه عضلات اسکلتی، نقشی غیرقابل‌انکار در تنظیم تعادل نیتروژنی، بازسازی

[۱]. Docosahexaenoic Acid (DHA)

[۲]. Eicosapentaenoic Acid (EPA)

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی
واحد ترجمان

سلولی و پشتیبانی از عملکردهای فیزیولوژیکی در شرایط تمرینی ایفا می‌نمایند [۲۵, ۳۴]. پروتئین‌ها حاوی اتم‌های نیتروژن هستند و از این‌رو به آن‌ها آمینو[۱]اطلاق می‌شود، چرا که این واژه به وجود گروه‌های حاوی نیتروژن اشاره دارد [۱۴, ۶۲]. از منظر ساختار شیمیایی، پروتئین‌ها از تعداد زیادی اسید آمینه تشکیل شده‌اند، که از طریق پیوندهای پپتیدی[۲]به یکدیگر متصل می‌شوند. در بدن انسان، پروتئین‌ها

جدول ۳. اسیدهای امینه ضروری و غیرضروری.

اسیدهای امینه ضروری	اسیدهای امینه غیرضروری
هیستیدین	آلانین
ایزولوسین*	آرژنین+
لوسین*	آسپارژین
لیزین	اسید آسپارتیک
میتیونین	سیستئین+
فنیلآلانین	اسید گلوتامیک
ترئونین	گلوتامین+
تریپتوفان	گلاسین+
والین*	پرولین+
	سرین
	تیروزین+
*اسیدامینه شاخه‌دار هستند	+تحت شرایط خاصی ضروری هستند

به‌صورت زنجیره‌های پلی‌پپتیدی وجود دارند که هر یک شامل دست‌کم ۱۰۰ اسید آمینه متصل به هم هستند. انواع اسیدهای امینه ضروری و غیرضروری[۳]را می‌توان در جدول ۳ ملاحظه نمود [۵۹].

جدول ۴. مقدار مصرف پروتئین.

سطح آمادگی	مقدار مصرف پروتئین (گرم/کیلوگرم وزن بدن در هر روز)
غیر فعال (جوان و بزرگسال)	۰/۸
فعال در زمینه اقات فراغت (جوان و بزرگسال)	۱/۰ الی ۱/۴
تمرین قدرتی (نگهداری میزان پروتئین)	۱/۲ الی ۱/۴
تمرین قدرتی (افزایش میزان پروتئین)	۱/۴ الی ۱/۸
تمرین استقامتی	۱/۲ الی ۱/۴
تمرینات متناوبی و با شدت بالا	۱/۲ الی ۱/۸
ورزش‌هایی با محدودیت وزن بدن	۱/۴ الی ۲/۰

جدول ۵. محاسبه مقدار پروتئین مورد نیاز برای جوانان.

فعالیت	نیاز پروتئینی ($g.kg^{-1}$)	محاسبه پروتئین مورد نیاز (g)	
		حد پایین	حد بالا
استقامتی	۱/۲ الی ۱/۴	وزن بدن (kg) × ۱/۲	وزن بدن (kg) × ۱/۴
قدرتی	۱/۲ الی ۱/۷	وزن بدن (kg) × ۱/۲	وزن بدن (kg) × ۱/۷

در ورزشکاران جوان که در مرحله رشد سریع، افزایش توده عضلانی و تحول سیستم‌های هورمونی و عصبی قرار دارند، مصرف بهینه و زمان‌بندی‌شده پروتئین‌ها، نه‌تنها عاملی ضروری در حفظ سلامت و رشد می‌باشد، بلکه در افزایش کیفیت تمرین، پیشگیری از تحلیل عضلانی و تسریع بازسازی نقش بسزایی دارد [۷۰]. مصرف اسیدهای آمینه به‌ویژه پیش از تمرین، به‌ویژه در ترکیب با مقدار کمی کربوهیدرات، می‌تواند به افزایش جذب پروتئین کمک کند [۲۵, ۷۱]. زمان‌بندی مصرف پروتئین در فاصله نزدیک به تمرین، به‌ویژه بلافاصله پس از آن، نقشی مؤثر در افزایش حجم عضلات و قدرت بدنی ایفا می‌کند [۱۷, ۷۲]. مصرف پروتئین پیش و پس از تمرین، در مقایسه با دریافت تنها کربوهیدرات، می‌تواند رشد عضلانی بیشتری به همراه داشته باشد [۷۳, ۷۴]. ترکیب پروتئین با کربوهیدرات نیز در بهبود سنتز گلیکوژن مؤثرتر از مصرف کربوهیدرات به‌تنهایی است، اگرچه مصرف دیرهنگام کربوهیدرات با دوز بالا پس از تمرین، اثرگذاری کمتری دارد [۱۷]. همچنین، مصرف

۱. Amino
۲. Peptide Bonds
۳. Essential & Non-essential Amino Acids

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

همزمان پروتئین، کربوهیدرات و اسیدهای آمینه‌های ضروری می‌تواند بهبود بیشتری در سنتز پروتئین عضله[۱]ایجاد کند [۷۵]. از دیگر آثار مثبت مصرف پروتئین پس از تمرین می‌توان به کاهش عفونت‌ها [۷۶]، خستگی ناشی از گرما [۷۷]، درد عضلانی [۲۴] و افزایش عملکرد جسمانی [۷۸] اشاره کرد. بنابراین، زمان‌بندی مصرف درشت‌مغذی‌ها به‌ویژه پروتئین، در کنار نوع و ترکیب مواد مغذی مصرفی، نقشی کلیدی در ارتقای عملکرد و بازیابی ورزشکاران جوان دارد [۲۵].

میزان نیاز به پروتئین در ورزشکاران جوان متأثر از عواملی چون نوع تمرین، سطح آمادگی جسمانی، شدت فعالیت، سن، جنسیت، وزن بدن و میزان انرژی مصرفی روزانه است [۶۲]. این تنوع در نیازها باعث می‌شود تعیین دقیق مقدار پروتئین مورد نیاز برای این گروه سنی چالشی باشد. جدول ۴ نمایی کلی از مقادیر توصیه‌شده پروتئین برای گروه‌های مختلف ورزشی ارائه می‌دهد، که در مورد جوانان در حال رشد، افزایش حدود ۱۰ درصدی بر این مقادیر پیشنهاد می‌شود [۵۹]. همچنین، در افرادی که از داروهای حاوی هورمون‌هایی مانند تستوسترون، انسولین یا هورمون رشد استفاده می‌کنند، نیاز به پروتئین ممکن است فراتر از مقادیر معمول باشد تا به افزایش بیشتر توده عضلانی کمک شود. به‌منظور برآورد دقیق‌تر نیاز پروتئینی بر اساس نوع فعالیت بدنی، جدول ۵ به‌عنوان راهنمایی کاربردی برای ورزش‌های استقامتی و قدرتی ارائه شده است، که می‌تواند مبنای تنظیم برنامه تغذیه‌ای مناسب قرار گیرد [۶۲].

در مرحله پیش از تمرین، تأمین آمینواسیدهای ضروری به‌ویژه از نوع شاخه‌دار می‌تواند از طریق القای تعادل مثبت نیتروژنی، کاهش تخریب پروتئین عضله و ارتقای آمادگی متابولیکی عضلات برای انقباض و تحمل فشار تمرینی مؤثر واقع شود [۶]. مصرف حدود ۰,۲۵ تا ۰,۴ گرم پروتئین به ازای هر کیلوگرم وزن بدن، حدود ۱ تا ۲ ساعت پیش از تمرین، به‌ویژه در ترکیب با منبعی از کربوهیدرات‌های با شاخص گلوکز متوسط، باعث تحریک مسیرهای سنتز پروتئین و همزمان مهار مسیرهای کاتابولیک عضله می‌گردد [۷۹]. این ترکیب تغذیه‌ای همچنین موجب تثبیت سطح گلوکز خون و افزایش سطح انسولین می‌گردد که خود محرکی مهم برای آغاز سنتز پروتئین عضله و حفظ توده بدون چربی در شرایط تمرین‌های شدید می‌باشد. در طول تمرین، مصرف پروتئین معمولاً ضرورتی ندارد، چراکه فرآیند گوارش و جذب پروتئین‌ها در حین فعالیت شدید با محدودیت‌هایی مواجه می‌باشد و حتی ممکن می‌باشد در برخی افراد منجر به ناراحتی‌های گوارشی گردد [۱۴, ۸۰]. با این حال، در مواردی که تمرینات بسیار طولانی‌مدت (بیش از دو ساعت) یا ترکیب تمرین‌های استقامتی با قدرتی صورت می‌گیرد، مصرف مقادیر اندکی از پروتئین، معمولاً در قالب نوشیدنی‌های مخلوط حاوی کربوهیدرات و پروتئین با نسبت‌های سبک، می‌تواند در حفظ توده عضلانی و کاهش تخریب بافتی مؤثر واقع شود [۶۲]. شواهد بیوشیمیایی در علوم ورزشی نشان داده‌اند که مصرف همزمان مقادیر پایین پروتئین (حدود ۵ تا ۱۰ گرم در ساعت) همراه با کربوهیدرات در تمرینات سنگین، می‌تواند فعالیت آنزیم‌های مرتبط با بازسازی عضله را حتی در حین تمرین تحریک نماید [۸۱].

پس از تمرین، مسیرهای آنابولیک مانند mTOR[۲]فعال می‌شوند و عضلات حساسیت بیشتری به آمینواسیدها پیدا می‌کنند. بنابراین، این بازه زمانی بهترین فرصت برای مصرف پروتئین جهت بازسازی عضلانی است [۲۵]. مصرف سریع پروتئین پس از اتمام تمرین، به‌ویژه در مدت زمان ۳۰ دقیقه نخست، می‌تواند سنتز پروتئین عضله را به حداکثر برساند [۱۷, ۶۰, ۸۲]. ترکیب پروتئین با کربوهیدرات در نسبت تقریباً ۱ به ۳ (برای مثال ۲۰ گرم پروتئین در کنار ۶۰ گرم کربوهیدرات)، ضمن تسریع بازسازی گلیکوژن، منجر به تحریک ترشح انسولین و جذب بهتر آمینواسیدها توسط عضلات می‌گردد [۱۷, ۲۵, ۳۴]. منابع پروتئینی با ارزش زیستی بالا، نظیر سفیده تخم‌مرغ و پروتئین‌های حیوانی کم‌چرب، بیشترین اثربخشی را در این زمینه دارند.

در ورزشکاران جوان، به‌دلیل افزایش نیازهای تغذیه‌ای ناشی از رشد همزمان بدنی و تمرینی، مدیریت دقیق مقدار، نوع و زمان مصرف پروتئین‌ها از اهمیتی دوچندان برخوردار می‌باشد [۱۴, ۲۵, ۶۲]. همچنین، در برخی شرایط خاص مانند دوره‌های تمرینی با حجم بالا، زمان‌بندی مصرف چندگانه پروتئین در طول روز (هر سه تا چهار ساعت) می‌تواند منجر به حفظ نیتروژن مثبت در تمام طول شبانه‌روز شده و زمینه‌ساز سازگاری‌های مطلوب عضلانی گردد. این الگو، به‌ویژه در ورزش‌های قدرتی و ترکیبی برای جوانان در مرحله حداکثر رشد قدی و وزنی توصیه می‌گردد. در نهایت، تنظیم دریافت پروتئین در برنامه تغذیه ورزشکاران جوان نباید صرفاً بر مبنای مقادیر کل روزانه صورت گیرد، بلکه توجه دقیق به زمان‌بندی مصرف، نوع پروتئین و سازگاری آن با نوع تمرین و اهداف عملکردی، راهبردی کارآمد و مبتنی بر شواهد علمی است که می‌تواند پیامدهای تمرینی را بهبود بخشد [۶۲].

۴,۳. مصرف آب و الکترولیت‌ها

آب و الکترولیت‌ها، هرچند از لحاظ ساختار شیمیایی در زمره درشت‌مغذی‌ها طبقه‌بندی نمی‌گردند، اما از نظر عملکردی و فیزیولوژیک، نقش بنیادینی در پایداری عملکرد ورزشی [۵۹]، تنظیم دمای بدن [۸۳]، حفظ حجم خون [۸۴]، تعادل اسید-باز [۸۵] و انتقال پیام‌های عصبی [۸۶] ایفا می‌نمایند. در ورزشکاران جوان که به‌دلیل

[۱]. Muscle Protein Synthesis (MPS)

[۲]. Mechanistic Target of Rapamycin

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

متابولیسم فعال، سطح بالاتر تعریق و تمایلات رفتاری تغذیه‌ای خاص در معرض خطر بالاتر کم‌آبی بدن[1] قرار دارند، مدیریت دقیق زمان‌بندی [۱۷, ۸۲]، مقدار مصرف مایعات و الکترولیت‌ها [۸۳] به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیری از راهبردهای تغذیه‌ای تمرینی مطرح می‌باشد.

در مرحله پیش از تمرین، دستیابی به وضعیت هیدراتاسیون کامل، پیش‌شرطی کلیدی برای عملکرد بهینه عضلانی و شناختی محسوب می‌گردد [۷]. کاهش جزئی در سطح مایعات بدن، تنها به‌اندازه ۱ تا ۲٪ وزن بدن ورزشکار جوان، می‌تواند منجر به افزایش دمای مرکزی [۸۷]، کاهش بازده قلبی [۸۸] و افت توان ذهنی و جسمی [۸۹] شود. بر این اساس، توصیه می‌گردد ورزشکاران جوان حدود ۵ تا ۷ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم وزن بدن، دو تا چهار ساعت پیش از تمرین، آب یا نوشیدنی مناسب مصرف نمایند [۹۰]. در شرایط آب‌وهوایی گرم یا هنگام تمرین‌های طولانی‌مدت، استفاده از نوشیدنی‌هایی که حاوی سدیم (در حدود ۲۰ تا ۵۰ میلی‌میلی‌اکی‌والان در لیتر) می‌باشند، می‌تواند سبب افزایش نگهداری مایعات در بدن و پیشگیری از ادرار زودرس گردد [۹۱, ۹۲]. این رویکرد به‌ویژه در جوانانی که هنوز سازوکارهای تنظیم دمای بدن آن‌ها به‌طور کامل تکامل نیافته‌اند، اهمیت دوچندان دارد.

در جریان تمرین، خصوصاً هنگامی که فعالیت بدنی بیش از ۶۰ دقیقه به‌طول می‌انجامد، نیاز به جبران مایعات از دست‌رفته و حفظ تعادل الکترولیتی به‌شدت افزایش می‌یابد [۸۷]. نرخ تعریق در نوجوانان بسته به نوع تمرین، شدت، دمای محیط و ویژگی‌های فردی متفاوت می‌باشد، اما به‌طور معمول بین ۰,۵ تا ۱,۵ لیتر در ساعت گزارش شده است [۱۶, ۹۳, ۹۴]. مصرف محلول‌های ایزوتونیک که دربردارنده کربوهیدرات (۶ تا ۸٪)، سدیم و سایر الکترولیت‌ها نظیر پتاسیم [۹۵] و کلر [۹۶] باشد، موجب بهبود جذب روده‌ای، تأخیر در خستگی و حفظ توازن مایعات میان‌بافتی می‌گردد. نوشیدن حدود ۱۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌لیتر از این محلول‌ها در هر ۱۵ تا ۲۰ دقیقه تمرین یک راهبرد مؤثر برای جبران مایعات از دست‌رفته در ورزشکار جوان است [۱۵, ۹۷]، مشروط بر آن‌که تحمل گوارشی مناسبی نیز در فرد وجود داشته باشد [۴۳].

مرحله پس از تمرین، فرصتی ارزشمند برای بازیابی کامل ذخایر مایعات و الکترولیت‌ها بوده، به طوری که هدف از آن نه‌تنها جبران میزان تعریق، بلکه الکترولیت‌هایی که به‌ویژه از طریق تعریق دفع شده‌اند (نظیر سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلر) نیز به‌درستی جایگزین شوند [۲۴, ۳۷, ۶۶]. میزان مایعات دریافتی در این مرحله باید از میزان مایعات ازدست‌رفته فراتر باشد و توصیه می‌گردد به ازای هر کیلوگرم کاهش وزن بدن پس از تمرین، حدود ۱,۲ تا ۱,۵ لیتر مایع جایگزین گردد [۸۹, ۹۰, ۹۷]. برای جبران سریع‌تر مایعات و الکترولیت‌ها، مصرف نوشیدنی‌های حاوی سدیم در ۳۰ دقیقه نخست پس از تمرین توصیه می‌شود، زیرا باعث افزایش بازجذب آب در کلیه‌ها و کاهش ادرار می‌شود [۱۶, ۹۱, ۹۲]. در برخی موارد، به‌ویژه در ورزشکارانی که در روز بیش از یک جلسه تمرین دارند [۹۸] یا در محیط‌هایی با رطوبت بالا [۹۹] تمرین می‌نمایند، مصرف مکمل‌های حاوی الکترولیت، به‌شکل قرص، پودر یا محلول آماده، تحت نظر متخصص تغذیه ورزشی توصیه می‌گردد. همچنین، پایش مکرر وزن بدن قبل و بعد از تمرین، رنگ ادرار و احساس تشنگی می‌تواند به‌عنوان شاخص‌های ساده ولی کاربردی در ارزیابی وضعیت هیدراتاسیون مورد استفاده قرار گیرد.

۴. نتیجه‌گیری

این مقاله، نقش حیاتی زمان‌بندی مصرف درشت‌مغذی‌ها، مایعات و الکترولیت‌ها را در بهبود عملکرد ورزشی ورزشکاران جوان به‌طور دقیق مورد بررسی قرار داده است. یافته‌ها به‌وضوح نشان می‌دهند که تغذیه زمان‌بندی‌شده نه‌تنها عملکرد جسمی را بهینه می‌کند، بلکه بازیابی مؤثر را پس از تمرین تسهیل می‌نماید. تغذیه صحیح، به‌ویژه در مراحل حساس رشدی، عاملی کلیدی در پیشگیری از آسیب‌ها، افزایش توان تمرینی و بهبود پاسخ‌های متابولیکی و هورمونی است. زمان‌بندی مصرف کربوهیدرات‌ها، به‌خصوص مصرف مقادیر مناسب در زمان‌های خاص پیش از تمرین برای تثبیت ذخایر گلیکوژن و در حین تمرین برای حفظ قند خون، موجب به تأخیر انداختن خستگی می‌شود. همچنین ترکیب کربوهیدرات با پروتئین پس از تمرین برای بازسازی سریع ذخایر انرژی و ترمیم بافت عضلانی مؤثر است. نقش چربی‌ها، به‌عنوان منبع پایدار انرژی در تمرینات استقامتی و تمرینات با شدت متوسط برجسته شده و اهمیت مصرف کنترل‌شده آن‌ها در وعده‌های پیش از تمرین برای جلوگیری از اختلالات گوارشی مورد تأکید است. علاوه بر این، چربی‌های مفید، نقش حمایتی در تعدیل پاسخ‌های التهابی و تنظیمات متابولیکی پس از تمرین دارند. در مورد پروتئین، زمان‌بندی مصرف قبل و بلافاصله پس از تمرین برای حفظ و افزایش توده عضلانی و تسریع بازیابی اهمیت ویژه‌ای دارد. یافته‌ها حاکی از اثربخشی بالای مصرف همزمان پروتئین و کربوهیدرات به نسبت‌های دقیق در تقویت سنتز پروتئین و بازسازی ذخایر گلیکوژن است. مدیریت آب و الکترولیت‌ها در سه مرحله تمرینی (پیش، حین و پس از تمرین) برای جلوگیری از دهیدراتاسیون و حفظ تعادل مایعات و الکترولیتی در بدن ورزشکاران جوان حیاتی می‌باشد.

به‌طور کلی، این بررسی، ضرورت توجه به راهبردهای تغذیه‌ای زمان‌بندی‌شده، متناسب با نیازهای فیزیولوژیک، متابولیک و رشدی ورزشکاران جوان را برجسته می‌نماید و پیشنهاد می‌کند که مربیان و متخصصان تغذیه ورزشی به این جنبه‌ها توجه جدی‌تری داشته باشند.

[1]. Dehydration

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

این رویکرد فردمحور و علمی، منجر به رشد بهتر، ارتقای عملکرد ورزشی و سلامت پایدار در ورزشکاران جوان خواهد شد.

منابع

[1] Brenner, J.S., Council on Sports, Fitness. (2016). Sports specialization and intensive training in young athletes. Pediatrics, 138(3).
[2] Desbrow, B. (2021). Youth athlete development and nutrition. Sports Medicine, 51(Suppl 1), 3-12.
[3] Alcock, R., et al. (2024). Youth and adolescent athlete musculoskeletal health: Dietary and nutritional strategies to optimise injury prevention and support recovery. Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 9(4), 221.
[4] Lassi, Z., Moin, A., Bhutta, Z. (2017). Nutrition in middle childhood and adolescence. In Child and Adolescent Health and Development (3rd ed.).
[5] Burke, L.M., et al. (2019). International Association of Athletics Federations consensus statement 2019: Nutrition for athletics. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 29(2), 73-84.
[6] Amawi, A., et al. (2024). Athletes' nutritional demands: A narrative review of nutritional requirements. Frontiers in Nutrition, 10, 1331854.
[7] Rodriguez, N.R., Di Marco, N.M., Langley, S. (2009). American College of Sports Medicine position stand: Nutrition and athletic performance. Medicine and Science in Sports and Exercise, 41(3), 709-731.
[8] Heymsfield, S.B., Shapses, S.A. (2024). Guidance on energy and macronutrients across the life span. New England Journal of Medicine, 390(14), 1299-1310.
[9] Papadopoulou, S.K. (2020). Rehabilitation nutrition for injury recovery of athletes: The role of macronutrient intake. Nutrients, 12(8), 2449.
[10] Knoblauch, M. (2024). Micronutrients. In Clinical Nutrition in Athletic Training (pp. 25-40). Routledge.
[11] Muth, A.-K., Park, S.Q. (2021). The impact of dietary macronutrient intake on cognitive function and the brain. Clinical Nutrition, 40(6), 3999-4010.
[12] Ivy, J.L. (1999). Role of carbohydrate in physical activity. Clinical Sports Medicine, 18(3), 469-484.
[13] Turcotte, L.P. (1999). Role of fats in exercise: Types and quality. Clinical Sports Medicine, 18(3), 485-498.
[14] Rankin, J.W. (1999). Role of protein in exercise. Clinical Sports Medicine, 18(3), 499-511.
[15] Latzka, W.A., Montain, S.J. (1999). Water and electrolyte requirements for exercise. Clinical Sports Medicine, 18(3), 513-524.
[16] Barnes, K.A., et al. (2019). Normative data for sweating rate, sweat sodium concentration, and sweat sodium loss in athletes: An update and analysis by sport. Journal of Sports Sciences, 37(20), 2356-2366.
[17] Kerksick, C.M., et al. (2017). International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 14, 1-21.
[18] Jeukendrup, A. (2014). A step towards personalized sports nutrition: Carbohydrate intake during exercise. Sports Medicine, 44(Suppl 1), S25-S33.
[19] da Silva Castanho, R. (2023). Major nutrological approaches to macronutrients in the performance and body composition of highly trained athletes: A systematic review. International Journal of Nutrology, 16(2).
[20] Bingham, M.E., Borkan, M.E., Quatromoni, P.A. (2015). Sports nutrition advice for adolescent athletes: A time to focus on food. American Journal of Lifestyle Medicine, 9(6), 398-402.
[21] Alghannam, A.F., Gonzalez, J.T., Betts, J.A. (2018). Restoration of muscle glycogen and functional capacity: Role of post-exercise carbohydrate and protein co-ingestion. Nutrients, 10(2).
[22] Murray, B., Rosenbloom, C. (2018). Fundamentals of glycogen metabolism for coaches and athletes. Nutrition Reviews, 76(4), 243-259.
[23] Burke, L.M., Collier, G.R., Hargreaves, M. (1993). Muscle glycogen storage after prolonged exercise: Effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. Journal of Applied Physiology, 75(2), 1019-1023.
[24] Naderi, A., et al. (2025). Nutritional strategies to improve post-exercise recovery and subsequent exercise performance: A narrative review. Sports Medicine, 1-19.
[25] Jäger, R., et al. (2017). International Society of Sports Nutrition position stand: Protein and exercise. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 14(1), 20.
[26] McIntosh, M.C., et al. (2024). The effects of a sugar-free amino acid-containing electrolyte beverage on 5-kilometer performance, blood electrolytes, and post-exercise cramping versus a conventional carbohydrate-electrolyte sports beverage and water. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 21(1), 2296888.
[27] Martín-Rodríguez, A., et al. (2024). Advances in understanding the interplay between dietary practices, body composition, and sports performance in athletes. Nutrients, 16(4), 571.
[28] Noakes, T.D. (2022). What is the evidence that dietary macronutrient composition influences exercise performance? A narrative review. Nutrients, 14(4), 862.
[29] Varghese, M., Ruparell, S., LaBella, C. (2022). Youth athlete development models: A narrative review. Sports Health, 14(1), 20-29.
[30] Hargreaves, D., et al. (2022). Strategies and interventions for healthy adolescent growth, nutrition, and development. The Lancet, 399(10320), 198-210.
[31] North, M., et al. (2022). Nutritional considerations in high performance youth soccer: A systematic review. Journal of Science in Sport and Exercise, 4(3), 195-212.
[32] Garthe, I., Maughan, R.J. (2018). Athletes and supplements: Prevalence and perspectives. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 28(2), 126-138.
[33] Benardot, D. (2024). Nutrition strategies for young athletes: Myths and realities – A review. Journal of Physical Medicine Rehabilitation and Disability, 10(092), 2.
[34] Kerksick, C.M., et al. (2018). ISSN exercise and sports nutrition review update: Research and recommendations. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 15(1), 38.
[35] Tarmast, D. (2019). Metabolism and nutrients intake in adolescents in exercise: Carbohydrates. In The 4th National Conference on Novel Approaches to Education and Research.
[36] Nagashima, Y., et al. (2024). High-carbohydrate energy intake during a round of golf maintained blood glucose levels, inhibited energy deficiencies, and prevented fatigue: A randomized, double-blind, parallel group comparison study. Nutrients, 16(23), 4120.

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

[37] Cheng, G., et al. (2025). An investigation into how the timing of nutritional supplements affects the recovery from post-exercise fatigue: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in Nutrition, 12, 1567438.
[38] Trim, W.V., et al. (2023). The impact of physical inactivity on glucose homeostasis when diet is adjusted to maintain energy balance in healthy, young males. Clinical Nutrition, 42(4), 532-540.
[39] Elghobashy, M.E., et al. (2024). Carbohydrate ingestion increases interstitial glucose and mitigates neuromuscular fatigue during single-leg knee extensions. Medicine and Science in Sports and Exercise, 56(8), 1495-1504.
[40] Vigh-Larsen, J.F., et al. (2021). Muscle glycogen metabolism and high-intensity exercise performance: A narrative review. Sports Medicine, 51(9), 1855-1874.
[41] Hawley, J.A., et al. (1997). Carbohydrate-loading and exercise performance: An update. Sports Medicine, 24(2), 73-81.
[42] Smith, J.A.B., et al. (2023). Exercise metabolism and adaptation in skeletal muscle. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 24(9), 607-632.
[43] Perez-Castillo, I.M., et al. (2023). Compositional aspects of beverages designed to promote hydration before, during, and after exercise: Concepts revisited. Nutrients, 16(1).
[44] Coggan, A.R., Coyle, E.F. (1991). Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: Effects on metabolism and performance. Exercise and Sport Sciences Reviews, 19(1), 1-40.
[45] Brouns, F., et al. (1989). Effect of carbohydrate intake during warming-up on the regulation of blood glucose during exercise. International Journal of Sports Medicine, 10(Suppl 1), S68-S75.
[46] Fuchs, C.J., Gonzalez, J.T., van Loon, L.J.C. (2019). Fructose co-ingestion to increase carbohydrate availability in athletes. Journal of Physiology, 597(14), 3549-3560.
[47] van Loon, L.J., et al. (2000). Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: Carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures. American Journal of Clinical Nutrition, 72(1), 106-111.
[48] Ivy, J.L. (2004). Regulation of muscle glycogen repletion, muscle protein synthesis and repair following exercise. Journal of Sports Science and Medicine, 3(3), 131-138.
[49] Amawi, A., et al. (2024). Junior athletes' nutritional demands: A narrative review of consumption and prevalence of eating disorders. Frontiers in Nutrition, 11, 1390204.
[50] Smith, J.W., Holmes, M.E., McAllister, M.J. (2015). Nutritional considerations for performance in young athletes. Journal of Sports Medicine, 2015, 734649.
[51] Tomljanovic, M., et al. (2025). Sports nutrition knowledge and carbohydrate intake in young male elite football players: Insights from a case study of HNK Hajduk Academy. Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 10(2), 169.
[52] Jeukendrup, A.E., Saris, W.H., Wagenmakers, A.J. (1998). Fat metabolism during exercise: A review – Part II: Regulation of metabolism and the effects of training. International Journal of Sports Medicine, 19(5), 293-302.
[53] Jeukendrup, A.E., Saris, W.H., Wagenmakers, A.J. (1998). Fat metabolism during exercise: A review – Part I: Fatty acid mobilization and muscle metabolism. International Journal of Sports Medicine, 19(4), 231-244.
[54] Tarmast, D. (2020). Metabolism and nutrients intake in adolescents in exercise: Lipids. In The 3rd National Conference on Health and Lifestyle.
[55] Jeukendrup, A.E., Saris, W.H., Wagenmakers, A.J. (1998). Fat metabolism during exercise: A review – Part III: Effects of nutritional interventions. International Journal of Sports Medicine, 19(6), 371-379.
[56] Alghannam, A.F., Ghaith, M.M., Alhussain, M.H. (2021). Regulation of energy substrate metabolism in endurance exercise. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(9), 4963.
[57] Romijn, J.A., et al. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. American Journal of Physiology, 265(3 Pt 1), E380-E391.
[58] Benardot, D. (2021). Advanced sports nutrition. Human Kinetics Publishers.
[59] Antonio, J., et al. (2009). Essentials of sports nutrition and supplements. Springer Science & Business Media.
[60] Patnaik, L. (2024). The role of nutrition in improving performance and recovery for athletes. South Carolina State University.
[61] Weichselbaum, E. (2017). Nutrition and teenagers/young adults. In Public Health Nutrition (2nd ed., pp. 159-174).
[62] Tarmast, D. (2020). Metabolism and nutrients intake in adolescents in exercise: Proteins. In The 4th National Conference on Applied Research in Physical Education, Sport & Athletic Science.
[63] Magalhães, P.M., et al. (2024). Effects of a 16-week training program with a pyramidal intensity distribution on recreational male cyclists. Sports, 12(1), 17.
[64] Hayes, A.M., et al. (2025). Moderating carbohydrate digestion rate in mice promotes fat oxidation and metabolic flexibility revealed through a new approach to assess metabolic substrate utilization. European Journal of Nutrition, 64(2), 1-19.
[65] Frisancho, A.R. (2003). Reduced rate of fat oxidation: A metabolic pathway to obesity in the developing nations. American Journal of Human Biology, 15(4), 522-532.
[66] Wang, L., Meng, Q., Su, C.H. (2024). From food supplements to functional foods: Emerging perspectives on post-exercise recovery nutrition. Nutrients, 16(23).
[67] Weyh, C., Kruger, K., Strasser, B. (2020). Physical activity and diet shape the immune system during aging. Nutrients, 12(3).
[68] Shao, T., et al. (2021). Physical activity and nutritional influence on immune function: An important strategy to improve immunity and health status. Frontiers in Physiology, 12, 751374.
[69] Chapman-Lopez, T.J., Koh, Y. (2022). The effects of medium-chain triglyceride oil supplementation on endurance performance and substrate utilization in healthy populations: A systematic review. Journal of Obesity & Metabolic Syndrome, 31(3), 217-229.
[70] Carbone, J.W., Pasiakos, S.M. (2019). Dietary protein and muscle mass: Translating science to application and health benefit. Nutrients, 11(5).
[71] Baranauskas, M., Kupciunaite, I., Stukas, R. (2023). Dietary intake of protein and essential amino acids for sustainable muscle development in elite male athletes. Nutrients, 15(18), 4003.
[72] Esmarck, B., et al. (2001). Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. The Journal of Physiology, 535(1), 301-311.
[73] Bird, S.P., et al. (2024). Supplementation strategies for strength and power athletes: Carbohydrate, protein, and amino acid ingestion. Nutrients, 16(12), 1886.

فصلنامه علمی
فیزیولوژی تمرین و آسیب های ورزشی

[74] Craven, J., et al. (2021). The effect of consuming carbohydrate with and without protein on the rate of muscle glycogen re-synthesis during short-term post-exercise recovery: A systematic review and meta-analysis. Sports Medicine – Open, 7, 1-15.
[75] Li, G., Li, Z., Liu, J. (2024). Amino acids regulating skeletal muscle metabolism: Mechanisms of action, physical training dosage recommendations and adverse effects. Nutrition & Metabolism (London), 21(1), 41.
[76] Witard, O.C., Hearris, M., Morgan, P.T. (2025). Protein nutrition for endurance athletes: A metabolic focus on promoting recovery and training adaptation. Sports Medicine, 1-16.
[77] Tarmast, D., Ghosh, A.K. (2024). The impact of carbohydrate, protein, and combined carbohydrate-protein supplementation on muscle damage and oxidative stress markers during prolonged cycling performance in the heat. Asian Journal of Sports Medicine, 15(2).
[78] Ahmed, T.A.E., et al. (2025). Effect of increased protein intake before pre-event on muscle fatigue development and recovery in female athletes. Journal of Education and Health Promotion, 14(1), 6.
[79] Vitale, K., Getzin, A. (2019). Nutrition and supplement update for the endurance athlete: Review and recommendations. Nutrients, 11(6).
[80] Moore, D.R. (2019). Protein metabolism in active youth: Not just little adults. Exercise and Sport Sciences Reviews, 47(1), 29-36.
[81] Clauss, M., Jensen, J. (2025). Effect of exercise intensity, duration, and volume on protein oxidation during endurance exercise in humans: A systematic review with meta-analysis. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 35(4), e70038.
[82] Ivy, J.L., Ferguson-Stegall, L.M. (2014). Nutrient timing: The means to improved exercise performance, recovery, and training adaptation. American Journal of Lifestyle Medicine, 8(4), 246-259.
[83] Keefe, M.S., et al. (2024). Importance of electrolytes in exercise performance and assessment methodology after heat training: A narrative review. Applied Sciences, 14(22), 10103.
[84] Hoque, M. (2023). A review on different dietary sources of important vitamins and electrolytes. International Journal of Research Publication and Reviews, 4(8), 731-736.
[85] Broad, E., Burke, L.M. (2019). Principles of sports nutrition. In Sports Nutrition for Paralympic Athletes (2nd ed., pp. 21-69). CRC Press.
[86] Maqsood, S., et al. (2025). Date (Phoenix dactylifera L.) fruit as a functional food for enhancing athletic performance and recovery: A new perspective. eFood, 6(3), e70055.
[87] Arnaoutis, G., et al. (2015). Fluid balance during training in elite young athletes of different sports. The Journal of Strength & Conditioning Research, 29(12), 3447-3452.
[88] Cheuvront, S.N., Kenefick, R.W. (2014). Dehydration: Physiology, assessment, and performance effects. Comprehensive Physiology, 4(1), 257-285.
[89] Carlton, A., Orr, R.M. (2015). The effects of fluid loss on physical performance: A critical review. Journal of Sport and Health Science, 4(4), 357-363.
[90] American College of Sports Medicine, et al. (2007). American College of Sports Medicine position stand: Exercise and fluid replacement. Medicine and Science in Sports and Exercise, 39(2), 377-390.
[91] Veniamakis, E., et al. (2022). Effects of sodium intake on health and performance in endurance and ultra-endurance sports. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(6).
[92] Van Regenmortel, N., et al. (2022). Effect of sodium administration on fluid balance and sodium balance in health and the perioperative setting: Extended summary with additional insights from the MIHMoSA and TOPMAST studies. Journal of Critical Care, 67, 157-165.
[93] McDermott, B.P., et al. (2017). National Athletic Trainers' Association position statement: Fluid replacement for the physically active. Journal of Athletic Training, 52(9), 877-895.
[94] Baker, L.B. (2019). Physiology of sweat gland function: The roles of sweating and sweat composition in human health. Temperature (Austin), 6(3), 211-259.
[95] Fan, P.W., Burns, S.F., Lee, J.K.W. (2020). Efficacy of ingesting an oral rehydration solution after exercise on fluid balance and endurance performance. Nutrients, 12(12), 3826.
[96] Maughan, R.J. (1991). Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise. Journal of Sports Sciences, 9(Special No.), 117-142.
[97] Casa, D.J., et al. (2000). National Athletic Trainers' Association position statement: Fluid replacement for athletes. Journal of Athletic Training, 35(2), 212.
[98] Maughan, R.J., et al. (2007). The use of dietary supplements by athletes. Journal of Sports Sciences, 25(Suppl 1), S103-S113.
[99] Krisher, L., et al. (2020). Electrolyte beverage intake to promote hydration and maintain kidney function in Guatemalan sugarcane workers laboring in hot conditions. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 62(12), e696-e703.