



A Comparison of the Effects of High-Carbohydrate, High-Protein, and Ketogenic Dietary Regimens on Athletic Performance and Body Composition in Elite Athletes: A Randomized Crossover Trial

Masoud Dehdar 

1. Corresponding author, Secretary of Education, District 4, General Directorate of Education of Qom Province, Qom, Iran.

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 12 April 2025 Received in revised form 11 May 2025 Accepted 16 Jun 2025 Available online 22 Jun 2025 Keywords: <i>Dietary Strategies, Athletic Performance, Body Composition, High-Protein Diet, Ketogenic Diet</i>	Objective: This study aimed to compare the effects of three distinct dietary regimens—high-carbohydrate, high-protein, and ketogenic diets—on athletic performance metrics, body composition, and metabolic parameters in elite athletes. Methods: A randomized crossover trial was conducted with thirty male athletes over 12 weeks. Participants sequentially followed each of the three dietary interventions. Comprehensive assessments included body composition analysis via bioelectrical impedance, maximal oxygen consumption (VO₂max) measured by respiratory gas analysis, anaerobic capacity evaluated via the Wingate test, and monitoring of biochemical and psychological parameters. Results: The high-protein diet induced the most significant reduction in body fat mass. Conversely, the high-carbohydrate regimen yielded superior results in the VO₂max test, indicating enhanced aerobic performance. The ketogenic diet, despite promoting weight loss, led to a marked decrease in high-intensity exercise performance and an increase in creatine kinase levels, suggesting greater muscular stress. Furthermore, this diet negatively affected the athletes' mood states. Conclusion: The findings suggest that optimal dietary choice for athletes must be individualized, based on specific training objectives and personal physiological responses. High-carbohydrate diets appear most beneficial for endurance sports, while high-protein diets are more effective for improving body composition and recovery. The application of a ketogenic diet requires careful consideration and a potentially extended adaptation period due to its mixed impacts on performance and well-being.
Cite this article: Dehdar, M., A Comparison of the Effects of High-Carbohydrate, High-Protein, and Ketogenic Dietary Regimens on Athletic Performance and Body Composition in Elite Athletes: A Randomized Crossover Trial. <i>Applied Research in Sports Nutrition and Exercise Science</i>, 2025;2(2):41-54. 10.22091/arsnes.2024.11878.1033	



© The Author(s).

Publisher: University of Qom.

DOI: [10.22091/arsnes.2024.11878.1033](https://doi.org/10.22091/arsnes.2024.11878.1033)



Extended Abstract

Introduction

The strategic manipulation of dietary intake represents a cornerstone in the pursuit of optimizing athletic performance, with macronutrient composition playing a pivotal role in modulating physiological adaptations, body composition, and psychological readiness. While the fundamental importance of carbohydrates for high-intensity exercise and proteins for muscular repair is well-established, the emergence of alternative dietary strategies, such as the ketogenic diet, has introduced new paradigms and controversies into sports nutrition practice. The ketogenic diet, characterized by severe carbohydrate restriction and high fat intake, proposes to enhance metabolic flexibility by promoting ketone body production as an alternative fuel source. However, the efficacy and practical implications of these divergent nutritional approaches—high-carbohydrate, high-protein, and ketogenic diets—remain a subject of intense debate within the scientific community, with existing literature demonstrating conflicting results regarding their relative benefits for various athletic performance metrics. This study was therefore designed to conduct a rigorous, comparative investigation into the multifaceted effects of these three distinct dietary regimens on a comprehensive panel of outcome measures, including aerobic and anaerobic capacity, body composition, metabolic biomarkers, and psychological status in a cohort of elite athletes, thereby addressing significant gaps in the current evidence base.

Methods

A randomized, controlled crossover trial was implemented over a total period of twelve weeks, incorporating three distinct intervention phases. The participant cohort consisted of thirty highly-trained male

endurance athletes, who were randomly allocated to a sequence of the three dietary interventions: a high-carbohydrate diet, a high-protein diet, and a ketogenic diet. Each dietary phase was followed by a standardized washout period to mitigate carryover effects. The high-carbohydrate regimen was designed to provide 65-70% of total energy intake from carbohydrates, 15-20% from protein, and 15-20% from fat. The high-protein diet was composed of 35-40% protein, 45-50% carbohydrates, and 15-20% fat. The ketogenic diet protocol maintained a strict macronutrient distribution of 70-75% fat, 20-25% protein, and less than 5% carbohydrates. All diets were isocaloric, tailored to the individual energy requirements of each athlete. The assessment protocol was comprehensive and multifaceted: body composition was evaluated via bioelectrical impedance analysis; maximal oxygen consumption was determined through incremental exercise testing with respiratory gas analysis; anaerobic power and capacity were assessed using the 30-second Wingate test; fasting blood samples were analyzed for glucose, ketones, creatine kinase, and lactate dehydrogenase; and psychological state was monitored using the Profile of Mood States questionnaire. Dietary adherence was rigorously monitored using digital food-tracking applications, and the achievement of nutritional ketosis was confirmed via blood ketone measurements.

Results

The findings revealed distinct and statistically significant differential responses to the three dietary interventions across the measured parameters. From a body composition perspective, the high-protein diet elicited the most pronounced reduction in absolute fat mass and relative body fat percentage. The ketogenic diet resulted in the



greatest decrease in total body weight; however, this was accompanied by a notable reduction in lean body mass compared to the other two diets, which successfully preserved muscle mass. Regarding athletic performance, the high-carbohydrate diet provided a clear advantage for aerobic endurance, as evidenced by significantly higher values for maximal oxygen consumption. Conversely, the high-protein diet was associated with superior maintenance of mean power output during the repeated Wingate tests, suggesting enhanced anaerobic endurance and recovery. The ketogenic diet consistently demonstrated detrimental effects on high-intensity exercise performance metrics, including peak power output. Biochemically, the ketogenic group displayed a marked elevation in blood ketone concentrations, confirming metabolic adaptation to ketosis, but also exhibited significantly higher serum levels of creatine kinase, indicative of increased muscular stress or damage. Furthermore, psychological assessment data revealed that athletes following the ketogenic diet reported a less favorable mood state profile, with increased scores for fatigue and confusion, and decreased scores for vigor, compared to those on the high-carbohydrate and high-protein regimens.

Discussion

The results of this investigation underscore the principle of nutritional specificity, whereby the optimal dietary strategy is contingent upon the specific performance and body composition goals of the athlete. The superior aerobic performance observed under the high-carbohydrate diet aligns robustly with established physiological principles that prioritize glycogen availability as the primary fuel for sustained, high-intensity endurance exercise. The efficacy of the high-protein diet in promoting fat loss while preserving lean

mass can be attributed to the high thermic effect of protein, its potent satiety-inducing properties, and its critical role in stimulating muscle protein synthesis and inhibiting proteolysis. The compromised high-intensity performance and elevated muscle damage markers associated with the ketogenic diet likely stem from a fundamental limitation in the rate of ATP regeneration via ketolysis compared to glycolytic pathways, which is critical for powerful, explosive movements. The negative impact on mood state observed in the ketogenic group may be linked to alterations in brain serotonin synthesis, which is influenced by carbohydrate intake and insulin-mediated tryptophan uptake. These findings contribute to resolving existing contradictions in the literature by demonstrating that the context of the exercise stimulus—specifically its intensity and duration—is paramount in determining dietary efficacy. A primary limitation of this study is the relatively short duration of the ketogenic adaptation phase, which may not have been sufficient for full metabolic transition in all athletes, potentially influencing the performance outcomes.

Conclusion

This comprehensive comparative analysis conclusively demonstrates that high-carbohydrate, high-protein, and ketogenic diets exert profoundly different effects on the physiological and psychological profile of elite athletes. There is no universal "optimal diet" for athletic performance; rather, nutritional prescription must be highly individualized. For athletes whose primary objective is to maximize endurance capacity and high-intensity performance, a high-carbohydrate diet remains the most effective strategy. For those focused on improving body composition through fat loss without sacrificing muscle mass, a high-protein diet is distinctly advantageous. The implementation



of a ketogenic diet in athletic populations requires extreme caution, meticulous planning, and a recognition of its potential drawbacks, including impaired high-power output and negative psychological sequelae. Future research should focus on longitudinal studies to explore long-term adaptations, investigate periodized dietary approaches that strategically integrate elements of different regimens, and examine the molecular mechanisms underlying the observed effects on muscle metabolism and recovery.

Keywords: Sports Nutrition, Dietary Strategies, High-Carbohydrate Diet, High-Protein Diet, Ketogenic Diet, Athletic Performance, Body Composition, Metabolic Adaptation, Crossover Trial.

Ethical Considerations

In conducting the research, ethical considerations were taken into account in accordance with the guidelines of the Ethics Committee of the University.

Funding/Financial Support

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' Contributions

Authors contributed equally in preparing this article.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We express our deepest gratitude to all participants in this study and those who assisted us during the research process.



مقایسه اثرات سه رژیم غذایی پرکربوهیدرات، پروتئین و کتوژنیک بر عملکرد ورزشی و ترکیب بدن در ورزشکاران نخبه: یک کارآزمایی متقاطع

مسعود دهدار^۱ ^۱ نویسنده مسئول، دبیر آموزش و پرورش، ناحیه چهار، اداره کل آموزش و پرورش استان قم، قم، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: این پژوهش با هدف مقایسه تأثیر سه برنامه غذایی مختلف شامل رژیم غنی از کربوهیدرات، رژیم غنی از پروتئین و رژیم کتوژنیک بر شاخص های عملکرد ورزشی، ترکیب بدن و متغیرهای سوخت و سازی در ورزشکاران ممتاز طراحی گردید.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳	روش پژوهش: در این کارآزمایی متقاطع تصادفی شده، ۳۰ ورزشکار مرد به مدت ۱۲ هفته تحت سه مداخله غذایی مختلف قرار گرفتند. ارزیابی ها شامل سنجش ترکیب بدن با دستگاه InBody 970، اندازه گیری VO_{2max} با تحلیل گازهای تنفسی، آزمون وینگیت برای سنجش توان بی هوازی، و اندازه گیری شاخص های بیوشیمیایی و روان شناختی بود.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱	یافته ها: برنامه غذایی غنی از پروتئین بیشترین کاهش را در بافت چربی بدن موجب شد، در حالی که رژیم غنی از کربوهیدرات به بهترین نتایج در آزمون حداکثر اکسیژن مصرفی منجر گردید. رژیم کتوژنیک علی رغم ایجاد کاهش وزن، باعث کاهش قابل توجه عملکرد در فعالیت های ورزشی با شدت بالا و افزایش سطح آنزیم کراتین کیناز شد. همچنین این رژیم تأثیر نامطلوبی بر حالت روانی ورزشکاران داشت.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶	نتیجه گیری: به نظر می رسد انتخاب برنامه غذایی مناسب برای ورزشکاران باید بر پایه اهداف ویژه تمرینی و ویژگی های فردی آنان صورت پذیرد. رژیم غنی از کربوهیدرات برای ورزش های استقامتی و رژیم غنی از پروتئین برای بهبود ترکیب بدن و بازیابی توانایی مؤثرتر می باشند، در حالی که به کارگیری رژیم کتوژنیک نیازمند ملاحظات ویژه و دوره سازگاری طولانی تر است.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱	

کلیدواژه ها:

رژیم پرکربوهیدرات، رژیم پروتئین، رژیم کتوژنیک، عملکرد ورزشی، ترکیب بدن، ورزشکاران نخبه.

استناد: دهدار، مسعود. مقایسه اثرات سه رژیم غذایی پرکربوهیدرات، پروتئین و کتوژنیک بر عملکرد ورزشی و ترکیب بدن در ورزشکاران نخبه: یک کارآزمایی متقاطع.

پژوهش های کاربردی در تغذیه ورزشی و علم تمرین، ۱۴۰۴، ۲ (۲)، ۵۴-۴۱.

DOI: [10.22091/arsnes.2024.11878.1033](https://doi.org/10.22091/arsnes.2024.11878.1033)

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه قم.



مقدمه

تغذیه به عنوان رکنی اساسی و تعیین کننده در عرصه ورزش حرفه‌ای شناخته می‌شود که نقشی انکارناپذیر در دستیابی به حداکثر کارایی فیزیولوژیکی و روانی ورزشکاران ایفا می‌کند. در دنیای رقابتی ورزش مدرن، جایی که تفاوت بین قهرمانی و شکست اغلب در کسری از ثانیه یا سانتیمتر خلاصه می‌شود، بهینه‌سازی استراتژی‌های تغذیه‌ای به یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است (برک و همکاران، ۲۰۲۳). اگرچه اصول پایه‌ای نقش درشت‌مغذی‌ها—کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌ها—در تأمین انرژی و بازیابی ماهیچه‌ها برای دهه‌ها مورد تأکید بوده است، اما پویایی تحقیقات در حوزه تغذیه ورزشی به سرعت در حال پیشرفت است و پارادایم‌های جدیدی را به چالش می‌کشد. این پیشرفت‌ها لزوم بازنگری مستمر در توصیه‌های عملی و کشف اثرات پیچیده و گاه متناقض رژیم‌های غذایی نوظهور را بر انواع مختلف فعالیت‌های ورزشی پررنگ می‌سازد. بنابراین، این مقاله با هدف ارائه تحلیلی جامع و به‌روز از تأثیرات رژیم‌های تغذیه‌ای گوناگون بر بهبود کارایی ورزشی، با تمرکز ویژه بر شواهد نوین و رفع تناقضات موجود در ادبیات پژوهشی حاضر، تدوین شده است.

در میان درشت‌مغذی‌ها، کربوهیدرات‌ها همواره به عنوان سنگ بنای تغذیه ورزشی، به ویژه در ورزش‌های با شدت بالا و استقامتی، مورد توجه قرار گرفته‌اند. مکانیسم عمل آن‌ها مبتنی بر تأمین سریع گلیکوژن عضلات و کبد به عنوان سوخت ترجیحی برای فعالیت‌های بی‌هوازی و با شدت زیاد است. مطالعات کلاسیک و جدید به طور پیوسته نشان می‌دهند که بارگیری کربوهیدرات می‌تواند به طور قابل توجهی زمان تا رسیدن به واماندگی را در ورزشکاران استقامتی به تأخیر انداخته و عملکرد را بهبود بخشد (جونز و همکاران، ۲۰۲۳). با این حال، تمرکز تحقیقات اخیر از صرفاً "میزان" مصرف کربوهیدرات به سمت "زمان‌بندی" و "نوع" کربوهیدرات مصرفی معطوف شده است. برای مثال، کاربرد استراتژی‌هایی مانند "تمرین با ذخایر گلیکوژنی کم" به منظور القای سازگاری‌های متابولیکی، اگرچه در برخی مطالعات امیدوارکننده بوده، اما در عمل با چالش‌هایی مانند کاهش کیفیت جلسات تمرینی و افزایش خطر فرسودگی روانی همراه است (والدرون و همکاران، ۲۰۲۳). این تناقض در یافته‌ها نشان‌دهنده یک خلا علمی در درک تعادل دقیق بین ایجاد سازگاری متابولیک و حفظ شدت مطلوب تمرین است. علاوه بر این، پژوهش‌های جدید به بررسی نقش کربوهیدرات‌های با شاخص گلیسمی مختلف و تأثیر آن بر نوسانات قند خون و ثبات انرژی در طول مسابقات طولانی می‌پردازند، امری که می‌تواند بر تمرکز ذهنی و تصمیم‌گیری ورزشکار در شرایط خستگی تأثیر بگذارد (لی و همکاران، ۲۰۲۴).

در کنار کربوهیدرات‌ها، پروتئین به عنوان کلید بازیابی و سازگاری عضلانی شناخته می‌شود. اجماع علمی فعلی بر نیاز افزایش‌یافته ورزشکاران به پروتئین، به ویژه برای حمایت از سنتز پروتئین عضلانی (MPS) پس از تمرینات مقاومتی و استقامتی تأکید دارد. یافته‌های متاخر نه تنها بر مقدار کلی پروتئین، بلکه بر توزیع بهینه مصرف آن در طول روز و به ویژه در "پنجره آنابولیک" پس از تمرین متمرکز هستند (آرتون و همکاران، ۲۰۲۳). با این وجود، یک حوزه از تضاد نتایج، به نقش زمان‌بندی دقیق مصرف پروتئین مربوط می‌شود. در حالی که برخی مطالعات سنتی بر اهمیت مصرف پروتئین بلافاصله پس از تمرین پافشاری می‌کنند، یک فراتحلیل سیستماتیک جدید نشان داده است که کل پروتئین مصرفی در طول ۲۴ ساعت ممکن است از زمان‌بندی لحظه‌ای مهم‌تر باشد، به شرطی که نیاز کلی روزانه تأمین شود (شونفلد و آراگون، ۲۰۲۳). این یافته‌ها سوالات جدیدی را در مورد ضرورت فوری بودن مصرف پروتئین پس از تمرین برای همه ورزشکاران مطرح می‌سازد و نشان می‌دهد که نیازها ممکن است بر اساس سن، جنس، سطح آمادگی و نوع تمرین بسیار متفاوت باشد. همچنین، تحقیقات پس از ۲۰۲۳ به طور فزاینده‌ای به بررسی کیفیت منابع پروتئینی (حیوانی در مقابل گیاهی) و نقش آمینواسیدهای خاص مانند لوسین در سیگنال‌دهی مسیرهای آنابولیک می‌پردازند، که خلا دانشی در مورد بهینه‌سازی رژیم‌های گیاهخواری برای ورزشکاران حرفه‌ای را پر می‌کند (وان ولیت و همکاران، ۲۰۲۴).

در سال‌های اخیر، هیچ رژیم‌هی به اندازه رژیم کتوژنیک (KD) باعث ایجاد بحث و تضاد در جامعه تغذیه ورزشی نشده است. این رژیم با محدودیت شدید کربوهیدرات و افزایش مصرف چربی، بدن را به وضعیت متابولیک کتوز سوق می‌دهد، حالتی که در آن کتون‌ها جایگزین گلوکز به عنوان سوخت اولیه می‌شوند. طرفداران این رژیم ادعا می‌کنند که با افزایش دسترسی به ذخایر تقریباً نامحدود چربی بدن، می‌تواند استقامت پایه را در ورزش‌های استقامتی بسیار طولانی افزایش دهد. شواهد اولیه از برخی مطالعات حاکی از افزایش اکسیداسیون چربی و حفظ گلیکوژن در ورزشکاران استقامتی تحت رژیم کتوژنیک است (ولک و همکاران، ۲۰۲۳). با این حال، یک تضاد عمیق و حل‌نشده در ادبیات تحقیق وجود دارد. مطالعات متقاعدکننده‌ای نیز نشان می‌دهند که این رژیم می‌تواند توانایی انجام فعالیت‌های با شدت بالا (HIIT) و انفجاری را که برای بسیاری از ورزش‌ها حیاتی است، به دلیل وابستگی ذاتی آن‌ها به گلیکوژن به عنوان سوخت، به طور قابل توجهی مختل کند (مورفی و همکاران، ۲۰۲۴). این تناقض،



یک خلا علمی حیاتی را نمایان می سازد: "آیا می توان دوره بندی هوشمندانه ای از رژیم کتوژنیک طراحی کرد که مزایای متابولیک آن را بدون تضعیف توانایی تولید قدرت بالا حفظ نماید؟" علاوه بر این، تحقیقات بلندمدت در مورد تأثیر این رژیم بر سلامت روده، تراکم استخوان و تعادل هورمونی در ورزشکاران هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد و انجام مطالعات طولی بیشتر یک ضرورت انکارناپذیر است. اهمیت و ضرورت انجام این بررسی جامع از چند منظر آشکار می شود. نخست، با توجه به سیل اطلاعات گاه متناقض و مدهای زودگذر تغذیه ای که از طریق فضای مجازی به ورزشکاران عرضه می شود، وجود یک منبع علمی منسجم، مبتنی بر شواهد و به روز برای راهنمایی ورزشکاران، مربیان و متخصصان تغذیه یک نیاز مبرم است. دوم، شناسایی دقیق خلاهای علمی و تناقضات موجود، مانند موارد مطرح شده در مورد رژیم کتوژنیک و زمان بندی پروتئین، مسیر را برای طراحی مطالعات آینده که پاسخگوی این پرسش ها باشند، هموار می سازد. سوم، درک این نکته که هیچ رژیم "ایده آل واحدی" برای همه ورزشکاران وجود ندارد، ما را به سمت پارادایم "تغذیه شخصی شده" سوق می دهد. بنابراین، این مقاله با ترکیب یافته های قدیمی و جدید، سعی در ارائه چارچوبی دارد که در آن اثرات رژیم های مختلف بر اساس فیزیولوژی فردی، نوع رشته ورزشی، اهداف تمرینی و حتی ژنتیک ورزشکار تحلیل شود. در نهایت، این تحلیل جامع نه تنها به بهینه سازی عملکرد و تسریع بازپایی کمک می کند، بلکه با پیشگیری از کم مغذی ها و عوارض ناشی از رژیم های نادرست، در جهت ارتقای سلامت بلندمدت و عمر حرفه ای ورزشکاران گام برمی دارد. این مقاله با مروری سیستماتیک بر جدیدترین تحقیقات، می کوشد تا نقش حیاتی تغذیه را به عنوان یک "عامل توانمندساز" در کنار تمرین، برای دستیابی به اوج عملکرد ورزشی تبیین نماید.

روش تحقیق

طرح پژوهش

این مطالعه به صورت یک کارآزمایی تصادفی سازی شده متقاطع (Randomized Crossover Trial) با طراحی دو سو کور (Double-Blind) به مدت ۱۲ هفته به اجرا درآمد. انتخاب این طرح پژوهشی به دلیل توانایی آن در کنترل عوامل درون زن از طریق مقایسه هر شرکت کننده با خودش و همچنین افزایش قدرت آماری مطالعه با وجود حجم نمونه محدود بود (اسمیت و جانسون، ۲۰۲۴). پروتکل پژوهش پس از تأیید در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی تهران با کد اخلاق IR.TUMS.MEDICINE.REC.1402.567 و همچنین ثبت در پایگاه ثبت کارآزمایی های بالینی ایران با کد IRCT20240512061738N1 صورت گرفت. کلیه شرکت کنندگان پیش از آغاز مطالعه، فرم رضایتنامه آگاهانه را تکمیل نمودند.

شرکت کنندگان

جامعه آماری این پژوهش را ورزشکاران مرد نخبه رشته دوچرخه سواری کوهستان در رده سنی ۱۸-۲۵ سال تشکیل دادند که به صورت مستمر در مسابقات استانی و ملی حضور داشتند. حجم نمونه بر اساس مطالعه پایلوت و با استفاده از نرم افزار G*Power نسخه ۳.۱.۹.۷ محاسبه گردید. با در نظر گرفتن اندازه اثر ۰.۸، سطح معنی داری ۰.۰۵ و توان آماری ۹۰٪، تعداد ۳۰ نفر برآورد شد که برای جبران ریزش نمونه، ۳۵ نفر به صورت در دسترس انتخاب و در نهایت ۳۰ نفر به صورت تصادفی در گروه ها تخصیص داده شدند. معیارهای ورود شامل داشتن حداقل ۵ سال سابقه فعالیت حرفه ای، شاخص توده بدنی (BMI) بین ۱۹-۲۵ کیلوگرم بر متر مربع و عدم مصرف هرگونه مکمل غذایی یا داروی مؤثر بر متابولیسم در ۳ ماه گذشته بود. معیارهای خروج نیز شامل بروز آسیب دیدگی جدی در طول مطالعه، عدم تحمل رژیم غذایی اختصاص یافته و تمایل به خروج از مطالعه اعلام گردید.

ابزارها و روش های اندازه گیری

ارزیابی ترکیب بدن: برای سنجش دقیق ترکیب بدن شامل توده چربی، توده بدون چربی و درصد رطوبت بدن از دستگاه آنالیز امپدانس بیوالکتریک (BIA) مدل InBody 970 ساخت کره جنوبی استفاده شد. این دستگاه دارای پایایی درون سنجی بالا) ضریب همبستگی



درون‌کلاسی (ICC=0.99) و همبستگی قوی ($r=0.95$) با روش مرجع DEXA برای سنجش توده بدون چربی است (چن و همکاران، ۲۰۲۳).

ارزیابی عملکرد هوازی: حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) به عنوان شاخص طلایی توان هوازی با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی (COSMED Quark CPET) همراه با پروتکل افزایشی فزاینده روی ارگومتر دوچرخه (Lode Excalibur Sport) اندازه‌گیری شد. پایایی این دستگاه در مطالعات پیشین با ضریب تغییرات کمتر از ۳٪ برای اندازه‌گیری VO_{2max} گزارش شده است (کیم و همکاران، ۲۰۲۴). آزمون تا سرحد واماندگی ورزشکار ادامه یافت و معیارهای رسیدن به VO_{2max} شامل تشکیل فلات اکسیژن مصرفی، نسبت تبادل تنفسی بالای ۱.۱۵ و رسیدن ضربان قلب به بیش از ۹۵٪ حداکثر ضربان پیش‌بینی‌شده سنی بود.

ارزیابی عملکرد بی‌هوازی: برای سنجش توان بی‌هوازی از آزمون وینگیت ۳۰ ثانیه‌ای روی ارگومتر مخصوص (Monark 894E) استفاده گردید. این آزمون قابلیت اندازه‌گیری اوج توان، میانگین توان و شاخص خستگی را فراهم می‌کند. پایایی بازآزمایی این آزمون در جمعیت ورزشکاران با ICC بین ۰.۸۹-۰.۹۲ گزارش شده است (گارسیا و همکاران، ۲۰۲۳).

ارزیابی شاخص‌های بیوشیمیایی: نمونه‌های خونی پس از ۱۲ ساعت ناشتایی شبانه از ورید بازویی ورزشکاران جمع‌آوری شد. اندازه‌گیری سطوح گلوکز، انسولین، کراتین کیناز (CK) و لاکتات دهیدروژناز (LDH) با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت پارس آزمون و بر روی دستگاه اتوآنالایزر (Hitachi 902) انجام گرفت. پایایی درون‌سنجی و برون‌سنجی برای تمامی سنجش‌ها مطابق با استانداردهای کیفی و با ضریب تغییرات کمتر از ۵٪ تأیید شد. همچنین، سطح کتون خون (بتا-هیدروکسی بوتیرات) با استفاده از دستگاه سنجش کتون (Keto-Mojo) اندازه‌گیری گردید که دارای همبستگی قوی ($r=0.97$) با روش کروماتوگرافی گازی-توده‌ای است (لیو و همکاران، ۲۰۲۳).

پرسشنامه‌های روان‌شناختی و غذایی: برای ارزیابی وضعیت روان‌شناختی ورزشکاران از پرسشنامه استاندارد شده POMS (Profile of Mood States) استفاده شد که پایایی آن در محیط ورزشی ایرانی با آلفای کرونباخ ۰.۸۷ تأیید شده است (محمدی و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، برای نظارت بر پایداری به رژیم‌های غذایی و ثبت دقیق دریافت غذایی، از اپلیکیشن ثبت غذایی MyFitnessPal نسخه پریمیوم استفاده گردید که اعتبار آن در برابر یادآمد ۲۴ ساعته غذایی در مطالعات متعدد تأیید شده است (وایت و همکاران، ۲۰۲۴).

پروتکل آزمایشی

پس از اجرای مرحله پایه و ارزیابی اولیه، شرکت‌کنندگان به صورت تصادفی به ترتیب دریافت یکی از سه رژیم غذایی زیر را تجربه نمودند:

رژیم پرکربوهیدرات (HCD): این رژیم شامل ۶۰-۶۵٪ کربوهیدرات، ۱۵-۲۰٪ پروتئین و ۲۰-۲۵٪ چربی بود. منابع کربوهیدراتی عمدتاً از نوع پیچیده و با شاخص گلیسمی پایین تا متوسط (مانند سیب‌زمینی شیرین، کینوا، نان سبوس‌دار و میوه‌های کامل) انتخاب شدند.

رژیم پرپروتئین (HPD): این رژیم حاوی ۳۰-۳۵٪ پروتئین، ۴۵-۵۰٪ کربوهیدرات و ۲۰-۲۵٪ چربی بود. منابع پروتئینی شامل سینه مرغ، ماهی تن، سفیده تخم‌مرغ، پودر پروتئین آب پنیر (Whey Protein Isolate) و حبوبات بود.

رژیم کتوژنیک (KD): این رژیم شامل ۷۰-۷۵٪ چربی، ۲۰-۲۵٪ پروتئین و کمتر از ۵۰ گرم کربوهیدرات در روز (۱۰-۵٪ کل کالری) بود. منابع چربی سالم مانند آووکادو، روغن MCT، مغزها، دانه‌ها و ماهی‌های چرب مانند سالمون در این رژیم گنجانده شد.

تمامی رژیم‌ها از نظر کالری یکسان و مطابق با نیاز انرژی تخمینی هر ورزشکار (با استفاده از معادله هریس-بندیکت ضرب در ضریب فعالیت) طراحی شدند. یک دوره فاصله‌انداز (Washout Period) به مدت ۴ هفته با رژیم غذایی استاندارد و ایزوکالریک بین هر دو دوره مداخله در



نظر گرفته شد تا اثرات رژیم قبلی کاملاً از بین برود. تأیید ورود به حالت کتوز برای گروه رژیم کتوژنیک با اندازه گیری سطح کتون خون بالای ۰.۵ میلی مول بر لیتر انجام گرفت. کلیه وعده های غذایی برای هر سه گروه توسط واحد تغذیه مرکز تحقیقات به صورت متمرکز تهیه و در بسته بندی های استاندارد شده به ورزشکاران تحویل داده می شد. برنامه تمرینی همه شرکت کنندگان در طول مطالعه یکسان و تحت نظارت مربی یکسان اجرا می گردید.

روش تحلیل داده ها

داده های جمع آوری شده با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۸ مورد تحلیل قرار گرفت. ابتدا نرمالیتی داده ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. برای مقایسه نتایج within-subject (درون شرکتی) بین سه رژیم غذایی از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری های مکرر (Repeated Measures ANOVA) استفاده گردید. در صورت مشاهده تفاوت معنی دار، از آزمون تعقیبی بونفرونی برای شناسایی دقیق تر محل تفاوت بین گروه ها بهره گرفته شد. برای بررسی تعامل بین نوع رژیم غذایی و زمان (پیش و پس از مداخله) از آزمون ANOVA دوطرفه استفاده شد. داده های غیرنرمال با آزمون فریدمن و سپس آزمون ویلکاکسون تحلیل گردید. سطح معنی داری برای تمامی آزمون ها ۰.۰۵ در نظر گرفته شد و کلیه نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش گردید. همچنین، برای محاسبه اندازه اثر (Effect Size) از شاخص η^2 مربع استفاده شد.

یافته ها

در این مطالعه، ۳۰ ورزشکار مرد با میانگین سنی $21/5 \pm 4/2$ سال، شاخص توده بدنی $22/8 \pm 3/1$ کیلوگرم بر متر مربع و سابقه فعالیت حرفه ای $6/4 \pm 1/2$ سال مورد بررسی قرار گرفتند. کلیه شرکت کنندگان پروتکل مطالعه را به پایان رساندند و هیچ موردی از ریزش نمونه یا عوارض جانبی جدی گزارش نشد.

تغییرات ترکیب بدن

نتایج حاصل از ارزیابی ترکیب بدن با استفاده از دستگاه آنالیز امپدانس بیوالکتریک نشان دهنده تغییرات معنی داری در پاسخ به رژیم های غذایی مختلف بود. همانطور که در **جدول ۱** مشاهده می شود، رژیم پرپروتئین بیشترین کاهش را در توده چربی بدن به همراه داشت، در حالی که رژیم کتوژنیک منجر به کاهش معنی دار وزن کل بدن گردید. جالب توجه اینکه رژیم پرکربوهیدرات توانست توده بدون چربی بدن را به طور معنی داری در مقایسه با دو رژیم دیگر حفظ نماید. این یافته ها با مطالعه جانسون و همکاران (۲۰۲۴) که به بررسی اثرات رژیم های پرپروتئین بر ترکیب بدن ورزشکاران پرداخته بودند، همسویی دارد.

جدول ۱: تغییرات ترکیب بدن در پاسخ به رژیم های غذایی مختلف

پارامتر	رژیم پرکربوهیدرات	رژیم پرپروتئین	رژیم کتوژنیک	مقدار p
وزن (kg)	$5/0 \pm 3/0$	$-2/1 \pm 4/0$	$-3/2 \pm 5/0$	۰/۱/۰
توده چربی (%)	$-4/0 \pm 2/0$	$-5/1 \pm 3/0$	$-2/1 \pm 4/0$	۰۰/۱/۰
توده بدون چربی (kg)	$1/0 \pm 2/0$	$-2/0 \pm 3/0$	$-5/0 \pm 4/0$	۰۳/۰



شاخص های عملکرد ورزشی

در ارزیابی عملکرد ورزشی، نتایج حاصل از آزمون های مختلف نشان داد که هر رژیم غذایی اثرات متفاوتی بر شاخص های عملکردی دارد. همانطور که در **جدول ۲** نمایش داده شده است، رژیم پرکربوهیدرات به طور معنی داری موجب بهبود حداکثر اکسیژن مصرفی در مقایسه با رژیم کتوژنیک گردید. در مقابل، رژیم پرپروتئین بیشترین تاثیر را بر حفظ توان متوسط در آزمون وینگیت نشان داد. این الگوی نتایج با مطالعات اسمیت و همکاران (۲۰۲۳) و گارسیا و همکاران (۲۰۲۴) که به ترتیب به بررسی تاثیر رژیم های پرکربوهیدرات و کم کربوهیدرات بر عملکرد ورزشی پرداخته بودند، مطابقت دارد.

جدول ۲: تغییرات شاخص های عملکرد ورزشی در پاسخ به رژیم های غذایی مختلف

پارامتر	رژیم پرکربوهیدرات	رژیم پرپروتئین	رژیم کتوژنیک	مقدار p
VO ₂ max (ml/kg/min)	۸/۵۶ ± ۲/۳	۲/۵۴ ± ۹/۲	۵/۴۸ ± ۱/۴	۰/۲/۰
توان اوج وینگات (watt)	۸۵۰ ± ۴۵	۸۶۵ ± ۴۸	۷۹۰ ± ۵۲	۰/۱/۰
توان متوسط وینگات (watt)	۶۲۰ ± ۳۸	۶۴۰ ± ۴۲	۵۸۰ ± ۴۵	۰/۳/۰

شاخص های بیوشیمیایی و روان شناختی

نتایج حاصل از اندازه گیری شاخص های خونی و روان شناختی تغییرات قابل توجهی را در پاسخ به رژیم های غذایی مختلف نشان داد. همانطور که در **جدول ۳** مشاهده می شود، سطح کتون خون در گروه رژیم کتوژنیک به طور معنی داری افزایش یافت که تایید کننده ورود ورزشکاران به حالت کتوزیس بود. از سوی دیگر، رژیم پرکربوهیدرات منجر به بهبود معنی دار خلق و خو و کاهش خستگی ذهنی در مقایسه با رژیم کتوژنیک گردید. این یافته ها با مطالعات لیو و همکاران (۲۰۲۳) و وایت و همکاران (۲۰۲۴) که به بررسی تاثیرات متابولیک و روان شناختی رژیم های غذایی مختلف پرداخته بودند، همخوانی دارد.

جدول ۳: تغییرات شاخص های بیوشیمیایی و روان شناختی در پاسخ به رژیم های غذایی مختلف

پارامتر	رژیم پرکربوهیدرات	رژیم پرپروتئین	رژیم کتوژنیک	مقدار p
گلوکز ناشتا (mg/dL)	۵/۸۵ ± ۲/۳	۲/۸۷ ± ۸/۲	۸/۷۹ ± ۱/۴	۰/۴/۰
کتون خون (mmol/L)	۲/۰ ± ۱/۰	۳/۰ ± ۱/۰	۱/۲ ± ۲/۱	۰۰/۱/۰
کراتینین کیناز (U/L)	۲۱۵ ± ۴۵	۲۴۰ ± ۵۲	۲۸۰ ± ۶۸	۰/۲/۰
نمره خلق و خو (POMS)	۵/۱۲ ± ۲/۵	۲/۱۴ ± ۸/۴	۸/۱۸ ± ۱/۶	۰/۵/۰



تحلیل‌های همبستگی و تکمیلی

تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد که بین سطح کتون خون و عملکرد هوازی ورزشکاران در گروه رژیم کتوژنیک رابطه معنی‌دار معکوسی وجود دارد. از سوی دیگر، بین دریافت پروتئین و حفظ توده بدون چربی بدن در تمام گروه‌ها رابطه مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. در تحلیل‌های ثانویه، مشخص گردید که ورزشکارانی که پایداری بیشتری به رژیم غذایی اختصاص یافته داشتند، بهبودهای معنی‌دارتری در شاخص‌های عملکردی نشان دادند. این یافته اهمیت نظارت دقیق بر پایداری غذایی در مطالعات مداخله‌ای را مورد تأکید قرار می‌دهد.

به طور کلی، یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که هر یک از رژیم‌های غذایی مورد بررسی اثرات متفاوتی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی، متابولیکی و روان‌شناختی ورزشکاران داشته‌اند. این نتایج می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای ارائه توصیه‌های تغذیه‌ای شخصی‌شده بر اساس نوع رشته ورزشی و اهداف تمرینی باشد.

بحث

این مطالعه به منظور بررسی تأثیرات سه رژیم غذایی مختلف بر شاخص‌های عملکرد ورزشی، متابولیک و روان‌شناختی در ورزشکاران نخبه طراحی و اجرا شد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که هر یک از رژیم‌های غذایی مورد بررسی اثرات متمایزی بر پارامترهای مختلف داشته‌اند که می‌تواند مبنای علمی ارزشمندی را برای مربیان و متخصصان تغذیه ورزشی فراهم نماید.

در زمینه ترکیب بدن، نتایج مطالعه ما نشان داد که رژیم پرپروتئین بیشترین تأثیر را در کاهش توده چربی بدن داشته است. این یافته با مطالعه جانسون و همکاران (۲۰۲۴) همسویی دارد که گزارش نمودند رژیم‌های پرپروتئین با افزایش اثر گرمایی غذا و ایجاد سیری بیشتر، منجر به بهبود ترکیب بدن در ورزشکاران می‌شوند. مکانیسم احتمالی این اثر می‌تواند مرتبط با افزایش سنتز پروتئین عضلانی و کاهش تجزیه آن باشد که در نهایت متابولیسم پایه را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، کاهش وزن مشاهده شده در گروه رژیم کتوژنیک می‌تواند ناشی از کاهش ذخایر گلیکوژن و دفع آب مرتبط با آن باشد، یافته‌ای که توسط اولسون و همکاران (۲۰۲۳) نیز تأیید شده است.

در مورد شاخص‌های عملکرد ورزشی، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که رژیم پرکربوهیدرات بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد هوازی داشته است. این یافته با مطالعه اسمیت و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی دارد که نشان دادند تأمین کافی گلیکوژن عضلانی برای فعالیت‌های استقامتی طولانی‌مدت ضروری است. با این حال، نتایج ما در تضاد با مطالعه گارسیا و همکاران (۲۰۲۴) قرار دارد که گزارش نمودند رژیم کتوژنیک می‌تواند پس از دوره سازگاری، عملکرد استقامتی را بهبود بخشد. این تضاد می‌تواند ناشی از تفاوت در مدت دوره مداخله، نوع ورزشکاران و یا پروتکل تمرینی باشد. از جمله محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به دوره نسبتاً کوتاه سازگاری با رژیم کتوژنیک اشاره نمود، چرا که مطالعات نشان داده‌اند که سازگاری کامل متابولیک با این رژیم ممکن است تا ۱۲ هفته به طول انجامد.

در زمینه عملکرد بی‌هوایی، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که رژیم پرپروتئین بیشترین تأثیر مثبت را بر حفظ توان متوسط داشته است. این نتیجه با مطالعه چن و همکاران (۲۰۲۳) همسو است که گزارش نمودند دریافت کافی پروتئین برای ترمیم و بازیابی بافت عضلانی پس از فعالیت‌های بی‌هوایی ضروری می‌باشد. کاهش عملکرد بی‌هوایی در گروه رژیم کتوژنیک می‌تواند ناشی از کاهش در دسترس بودن گلوکز به عنوان سوسترای ترجیحی برای تولید انرژی در فعالیت‌های با شدت بالا باشد.

نتایج مربوط به شاخص‌های بیوشیمیایی نشان داد که سطح کراتینین کیناز در گروه رژیم کتوژنیک به طور معنی‌داری افزایش یافته است. این یافته می‌تواند نشان‌دهنده استرس اکسیداتیو و آسیب عضلانی بیشتر در این رژیم باشد که با مطالعه لیو و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی دارد. مکانیسم احتمالی این پدیده می‌تواند مرتبط با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط کم‌کربوهیدرات باشد. از سوی دیگر، کاهش سطح گلوکز ناشتا در گروه رژیم کتوژنیک می‌تواند نشان‌دهنده بهبود حساسیت به انسولین باشد، اگرچه این بهبودی لزوماً به معنای بهبود عملکرد ورزشی نیست.

در زمینه شاخص‌های روان‌شناختی، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که رژیم پرکربوهیدرات موجب بهبود خلق و خو و کاهش خستگی ذهنی شده است. این یافته با مطالعه وایت و همکاران (۲۰۲۴) همسو است که گزارش نمودند کاهش دریافت کربوهیدرات می‌تواند بر سطح سروتونین مغز



تأثیر منفی گذاشته و منجر به اختلال در خلق و خو گردد. از سوی دیگر، بهبود خلق و خو در گروه رژیم پرپروتئین می تواند ناشی از تأثیر آمینواسیدهای شاخه دار بر سطح نوروترانسمیترهای مغزی باشد.

تحلیل همبستگی های انجام شده در مطالعه حاضر نشان داد که بین سطح کتون خون و عملکرد هوازی رابطه معکوس وجود دارد. این یافته می تواند نشان دهنده این باشد که با وجود ادعاهای مطرح شده در مورد پتانسیل رژیم های کتوژنیک برای بهبود عملکرد استقامتی، در عمل این رژیم ها ممکن است نتوانند نیازهای انرژیایی فعالیت های با شدت بالا را تأمین نمایند. از سوی دیگر، همبستگی مثبت بین دریافت پروتئین و حفظ توده بدون چربی بدن بر اهمیت دریافت کافی پروتئین در ورزشکاران تأکید می نماید.

یکی از نقاط قوت مطالعه حاضر، طراحی متقاطع آن است که امکان مقایسه مستقیم اثرات سه رژیم غذایی مختلف را در هر یک از شرکت کنندگان فراهم نموده است. همچنین، کنترل دقیق دریافت غذایی و برنامه تمرینی از دیگر نقاط قوت این پژوهش محسوب می شود. با این حال، دوره نسبتاً کوتاه مداخله و عدم اندازه گیری برخی شاخص های متابولیک پیشرفته از محدودیت های این مطالعه به شمار می رود.

از دیدگاه کاربردی، یافته های این مطالعه می تواند راهنمای ارزشمندی برای مربیان و متخصصان تغذیه ورزشی باشد. به نظر می رسد انتخاب رژیم غذایی بهینه برای ورزشکاران باید بر اساس نوع رشته ورزشی، اهداف تمرینی و ویژگی های فردی صورت پذیرد. برای ورزشکاران استقامتی، رژیم های پرکربوهیدرات می تواند گزینه بهتری باشد، در حالی که برای ورزشکاران قدرتی-سرعتی، رژیم های پرپروتئین می تواند نتایج مطلوب تری به همراه داشته باشد. استفاده از رژیم کتوژنیک نیز نیازمند ملاحظات ویژه و دوره سازگاری طولانی تر می باشد.

برای پژوهش های آینده، پیشنهاد می شود مطالعات طولانی مدت تری با در نظر گرفتن دوره سازگاری کافی برای رژیم کتوژنیک طراحی گردد. همچنین، بررسی اثرات ترکیبی این رژیم ها با استراتژی های دوره بندی تمرین و نیز مطالعه سازوکارهای مولکولی این اثرات می تواند زمینه های پژوهشی ارزشمندی را فراهم نماید.

نتیجه گیری

یافته های این مطالعه به وضوح نشان می دهد که رژیم های غذایی مختلف تأثیرات متغیری بر شاخص های عملکرد ورزشی، متابولیک و روان شناختی ورزشکاران دارند. به طور مشخص، رژیم پرکربوهیدرات بیشترین مزیت را برای عملکرد ورزشی هوازی داشته است، در حالی که رژیم پرپروتئین بیشترین تأثیر مثبت را بر ترکیب بدن و بازیابی بعد از تمرین نشان داده است. رژیم کتوژنیک اگرچه منجر به کاهش وزن و بهبود برخی شاخص های متابولیک شده است، اما تأثیر منفی بر عملکرد ورزشی با شدت بالا و وضعیت روان شناختی ورزشکاران داشته است. این یافته ها با مطالعات جانسون و همکاران (۲۰۲۴) و اسمیت و همکاران (۲۰۲۳) همسویی دارد که بر اهمیت تطبیق استراتژی های تغذیه ای با نیازهای خاص هر رشته ورزشی تأکید کرده اند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که یک رویکرد تغذیه ای شخصی شده با در نظر گرفتن اهداف تمرینی، ویژگی های فردی و نوع فعالیت ورزشی می تواند بیشترین تأثیر را بر بهینه سازی عملکرد ورزشی داشته باشد. همچنین، یافته های حاضر لزوم توجه همزمان به جنبه های روان شناختی و فیزیولوژیکی را در برنامه ریزی تغذیه ای ورزشکاران خاطرنشان می سازد. با توجه به محدودیت های مشاهده شده در رژیم کتوژنیک، به نظر می رسد استفاده از این رژیم نیازمند دوره سازگاری طولانی تر و ملاحظات ویژه ای است که در مطالعات آینده باید به طور دقیق تری مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت، این پژوهش بر اهمیت یکپارچه سازی علوم تغذیه، فیزیولوژی ورزش و روان شناسی ورزشی برای دستیابی به بالاترین سطح عملکرد در ورزشکاران نخبه تأکید می نماید.

ملاحظات اخلاقی

پروتکل پژوهش پس از تأیید در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی تهران با کد اخلاق **IR.TUMS.REC.1402.567** و همچنین ثبت در پایگاه ثبت کارآزمایی های بالینی ایران با کد **IRCT20240512061738N1** صورت گرفت. کلیه شرکت کنندگان پیش از آغاز مطالعه، فرم رضایتنامه آگاهانه را تکمیل نمودند.

حامی/حامیان مالی

این مقاله هیچ گونه کمک مالی از سازمان تامین کننده مالی در بخش های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نکرده است.



مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده سازی مقاله مشارکت یکسان داشته اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از زحمات اساتیدی که در انجام این مطالعه کمال همکاری را داشته اند، سپاسگزاری می گردد.

References

1. Burke, L. M., Jeukendrup, A. E., & Jones, A. M. (2023). Contemporary nutrition strategies to optimize performance in endurance athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 26(3), 215-224.
2. Jones, A. W., Bailey, S. J., & Vanhatalo, A. (2023). Dietary carbohydrate and endurance exercise performance: An update from the International Association of Athletics Federations. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 33(1), 1-12.
3. Waldron, M., Murphy, A., & Patterson, S. D. (2023). Low carbohydrate, high fat diets and exercise performance: A conflict of evidence. *Sports Medicine*, 53(Suppl 1), 55-71.
4. Lee, E. C., Machek, S. B., & de Paz, C. C. (2024). The effects of glycemic index on cognitive function and endurance performance in team-sport athletes: A randomized crossover trial. *Nutrients*, 16(2), 255.
5. Atherton, P. J., Smith, K., & Wilkinson, D. J. (2023). Protein nutrition to support muscle adaptation in athletes: Beyond the basic recommendations. *The Journal of Physiology*, 601(1), 89-105.
6. Schoenfeld, B. J., & Aragon, A. A. (2023). Is there a post-exercise anabolic window of opportunity for nutrient consumption? A systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 20(1), 1-15.
7. van Vliet, S., Burd, N. A., & van Loon, L. J. (2024). The skeletal muscle anabolic response to plant-based protein ingestion. *Sports Medicine*, 54(1), 1-20.
8. Volek, J. S., Freidenreich, D. J., & Saenz, C. (2023). Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners. *Metabolism*, 70, 1-10.
9. Murphy, C. H., Hector, A. J., & Phillips, S. M. (2024). The impact of a ketogenic diet on high-intensity interval training performance and muscle glycogen metabolism in competitive athletes. *American Journal of Clinical Nutrition*, 119(2), 345-357.
10. Smith, A., & Johnson, B. (2024). The efficacy of crossover designs in nutritional intervention studies. *Journal of Sports Science and Medicine*, 23(1), 45-56.
11. Chen, L., Wang, H., & Zhang, K. (2023). Validation of InBody 970 for body composition assessment in athletes: A comparison with DEXA. *Clinical Nutrition ESPEN*, 55, 112-118.
12. Kim, S., Park, J., & Lee, Y. (2024). Reliability and validity of COSMED Quark CPET system for VO₂max measurement in elite cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 124(3), 789-798.
13. Garcia, M., Rodriguez, P., & Silva, R. (2023). Test-retest reliability of Wingate anaerobic test in trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(5), 1234-1240.
14. Liu, X., Brown, T., & Clark, J. (2023). Accuracy of point-of-care ketone meters in nutritional ketosis assessment. *Diabetes Technology & Therapeutics*, 25(8), 567-574.
15. Mohammadi, R., Alavi, F., & Hosseini, S. (2023). Standardization and validation of the Profile of Mood States (POMS) in Iranian athlete population. *Iranian Journal of Psychiatry and Clinical Psychology*, 29(2), 145-158.
16. White, E., Davis, C., & Miller, R. (2024). Validity of a popular dietary intake app compared to 24-hour dietary recalls in young adults. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 124(1), 88-97.
17. Johnson, M., Smith, K., & Brown, R. (2024). High-protein diets and body composition in endurance athletes: A randomized controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 21(1), 45-56.
18. Smith, A., Davis, P., & Wilson, J. (2023). Carbohydrate periodization in elite cyclists: Effects on aerobic performance and recovery. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 18(3), 289-297.
19. Garcia, L., Martinez, S., & Rodriguez, P. (2024). The impact of low-carbohydrate diets on anaerobic performance in strength athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 38(2), 345-354.
20. Liu, X., Chen, W., & Zhang, H. (2023). Ketone body dynamics and metabolic adaptation in ketogenic diet



- followers. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 142, 155-167.
21. White, E., Thompson, M., & Davis, C. (2024). Psychological effects of carbohydrate-restricted diets in competitive athletes. *Journal of Sports Sciences*, 42(1), 78-89.
 22. Chen, L., Wang, H., & Zhang, K. (2023). Protein supplementation and fatigue management in trained athletes. *Nutrients*, 15(4), 890-902.
 23. Olson, A., Wilson, R., & Thompson, P. (2023). Hydration status and metabolic adaptation in ketogenic diet followers. *Journal of Applied Physiology*, 135(2), 345-356.