

## زمان بندی تغذیه ورزشی کربوهیدراتی در ورزشکاران نخبه: یک مطالعه مروری کوتاه

حمید آقا علی نژاد<sup>۱</sup>، امیرحسین احمدی حکمتی کار<sup>۲\*</sup>، مریم السادات امامی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴

### چکیده

۱- دانشیار فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران ایران.  
۲- دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

✉ نویسنده مسئول:

[a.hekmatikar4@gmail.com](mailto:a.hekmatikar4@gmail.com)

۳- کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد واحد اسلامی، همدان، ایران.

**هدف:** در سال های اخیر، استفاده از کربوهیدرات ها برای بهبود عملکرد ورزشی در بین جوامع ورزشی مورد توجه محققین قرار گرفته است. حفظ ذخایر کربوهیدراتی برای فعالیت های بدنی شدید و یا طولانی مدت لازم است. لذا، براساس دستورالعمل های تغذیه ای مشخص شده است که به با در نظر گرفتن شدت و مدت فعالیت های ورزشی به ازای هرکیلو از وزن بدن کربوهیدرات به صورت مایع مصرف شود. به همین منظور مطالعه حاضر با بررسی مقالات پیشین پیشنهاداتی برای مصرف کربوهیدرات ها در حین رقابت های ورزشی ارائه میدهد.

**روش شناسی:** برای بررسی مقالات از موتور های جستجو Web of Science، Scopus، PubMed، Direct، Springer، Google Scholar و SID مقالات از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ با استفاده از کلید واژه های مرتبط جستجو و وارد مطالعه شدند. علاوه بر این، منابع مقاله های استخراج شده به صورت دستی جستجو شدند.

**یافته ها:** بارگیری کربوهیدرات به ازای هرکیلو از وزن بدن می تواند قبل از انجام فعالیت باعث بهبود عملکرد شود. به نظر می رسد، برای فعالیت های بدنی کمتر از ۱ ساعت ۱۵ تا ۶۰ گرم کربوهیدرات به ازای هرکیلو از وزن بدن و برای فعالیت های بدنی بیش از ۲ ساعت ۳۰ تا ۶۰ گرم کربوهیدرات به ازای هرکیلو از وزن بدن استفاده شود.

**نتیجه گیری:** در نهایت در این مطالعه مشخص شد استراتژی های کربوهیدراتی در حین رقابت بسیار مفید می باشد اما توصیه می شود با رعایت اصول فردی و ماهیت رقابت ورزشی کربوهیدرات مصرف شود.

**واژگان کلیدی:** کربوهیدرات، ورزشکاران نخبه، بارگیری کربوهیدرات

ISSN: ۲۹۸۰-۸۹۶۰

تمامی حقوق این مقاله برای دانشگاه کردستان محفوظ است

### ارجاع دهی:

Agha-alinejad, H. Ahmadi Hekmatikar, AH and Emami, M. Carbohydrate sports nutrition timing in elite athletes: A brief review study. Research in Exercise Nutrition, 2022. 1(1): p. 41-53. Doi: 10.34785/J019.2022.001



## Carbohydrate Sports Nutrition Timing in Elite Athletes: a Brief Review Study

Hamid Agha-Alinejad<sup>✉</sup>, Amirhossein Ahmadi Hekmatikar, Maryam Alsadat Emami

Received: 2022/02/13

Accepted: 2022/03/12

### Abstract

**Purpose:** In recent years, the use of carbohydrates to improve athletic performance among sports communities has attracted the attention of researchers. Maintaining carbohydrate stores is essential for strenuous or prolonged physical activity. Therefore, based on nutritional guidelines, it has been determined that carbohydrates should be consumed in liquid form, considering the intensity and duration of sports activities. Therefore, by reviewing previous articles, the present study offers suggestions for consuming carbohydrates during sports competitions.

**Materials and methods:** To review articles from search engines Direct, PubMed, Scopus, Web of Science, Springer, Google Scholar and SID, articles from 1990 to 2020 were searched and entered using related keywords. In addition, the sources of the extracted articles were searched manually.

**Results:** Loading carbohydrates per kilogram of body weight before exercise can improve performance. It seems that for physical activity, less than 1 hour, 15 to 60 grams of carbohydrates per kilogram of body weight, and physical activity, more than 2 hours, 30 to 60 grams of carbohydrates per kilogram of body weight.

**Conclusion:** Finally, in this study, it was found that carbohydrate strategies are very useful during competition, but it is recommended to consume carbohydrates in accordance with individual principles and the nature of sports competition.

**Keywords:** Carbohydrates, elite athletes, carbohydrate loading

<sup>1</sup> 1 Associate Professor of Exercise Physiology, Department of Physical Education and Sports Science, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran Iran.

<sup>2</sup> ✉ Ph.D student of Exercise physiology, Department of Physical Education and Sports Science, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran Iran.

<sup>3</sup> Master of Exercise physiology, Department of Physical Education and Sports Science, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Hamadan, Iran.

ISSN: 2980-8960

All rights of this article are reserved for the University of Kurdistan.

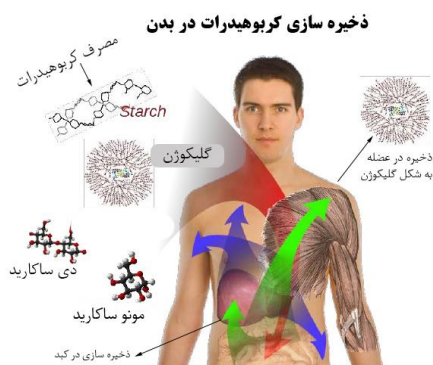
### Citation:

Agha-alinejad, H. Ahmadi Hekmatikar, AH and Emami, M. Carbohydrate sports nutrition timing in elite athletes: A brief review study. Research in Exercise Nutrition, 2022. 1(1): p. 41-53. Doi: 10.34785/J019.2022.001

## مقدمه

سازگاری در ورزش زمانی ایجاد می‌شود که تمرینات ورزشکاران از یک شدت، مدت، تکنیک و اصول کلی دقیقی پیروی کند. در این حین، یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تقویت و تکمیل سازگاری با ورزش، استفاده از استراتژی‌های تغذیه ورزشی در زمان مناسب می‌باشد (۱، ۲). برای زمان‌بندی تغذیه‌ای<sup>۱</sup> یک تعریف ثابت و مشترک وجود ندارد اما به صورت کلی می‌توان گفت زمان‌بندی تمرین یعنی راهکاری مناسب تغذیه‌ای جهت بهبود عملکرد ورزشکاران به صورت منظم و طولانی مدت می‌باشد (۳-۶). جاکاندروپ (۲۰۱۷) تعریف واضحی را از زمان‌بندی تغذیه ورزشی ارائه کرد. "زمان‌بندی تغذیه‌ای به برنامه‌ریزی هدفمند و استراتژی غذایی خاص برای تقویت و بهبود سازگاری در جلسه تمرین می‌باشد" (۳). زمان‌بندی تغذیه ورزشی این موضوع را بیان می‌کند که تغذیه ورزشی برای همه‌ی افراد یکی نیست و هرکس باید براساس رژیم‌های غذایی، وضعیت تغذیه‌ای، وضعیت تمرینی، وضعیت بدنی و نوع و شدت تمرین، وارد زمان بندی تغذیه‌ای شود (۷). هر ورزشکاری نیازهای انرژی منحصر به فردی دارد که اهداف ورزشی خود را نشان می‌دهد (۷). برای ورزشکاران سه ماده غذایی مهم وجود دارد که در بین این سه ماده غذایی، مصرف کربوهیدرات‌ها بسیار شایع است. در اوایل دهه ۱۹۰۰ محققان کشف کردند که کربوهیدرات یکی از سوخت‌های مهم برای ورزشکاران می‌باشد (۸). کربوهیدرات پس از مصرف در عضله به گلیکوژن عضلانی و در کبد به عنوان گلیکوژن کبدی ذخیره می‌شوند و در نهایت در خون به‌عنوان گلوکز خون وجود دارد. یکی از بسترهای ضروری مغز و عضلات کربوهیدرات است که در حین ورزش بدن به آن نیاز دارد. بنابراین توصیه‌های تغذیه ورزشی برای بهبود عملکرد ورزشکاران استفاده از کربوهیدرات‌ها قبل از فعالیت ورزشی، حین فعالیت ورزشی و بعد از فعالیت ورزشی می‌باشد (۹-۱۴). آنچه مشخص است در حین فعالیت‌های ورزشی شدید و فعالیت‌های ورزشی بیش از ۹۰ دقیقه گلیکوژن عضلانی و گلوکز خون افت می‌کند که این می‌تواند یکی از دلایل خستگی ورزشکاران باشد (۱۵). همچنین ورزشکارانی که به‌دنبال سازگاری‌های ورزشی هستند زمان بندی تغذیه ورزشی می‌تواند برای آن‌ها بسیار مفید باشد. تنها استفاده از تغذیه ورزشی قبل یا بعد از تمرین به‌دنبال یک سازگاری مفید نیست و تغذیه ورزشی در حین تمرین را نباید نادیده گرفت. در دسترس بودن انرژی در هنگام ورزش پاسخ فیزیولوژیکی به تمرین را تعدیل می‌کند

(۱۶). مشخص شده است گلیکوژن عضلانی نه تنها به‌عنوان سوخت بلکه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های مسیر سیگنالیک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۷، ۱۸) (شکل ۱ را مشاهده کنید). بنابراین استفاده از کربوهیدرات‌ها می‌تواند برای سازگاری‌های ورزشی بسیار مفید باشد (۱۹-۲۱). به همین منظور مطالعه مروری حاضر قصد دارد تا با بررسی مطالعات گذشته اهمیت زمان‌بندی مصرف کربوهیدرات‌ها را در زمان‌های مختلف و در نهایت به ورزشکاران پیشنهاد خود را ارائه دهند.



شکل (۱): طرح شماتیک کلی ذخیره کربوهیدرات در بدن (۸)

## روش‌شناسی

در این مطالعه مروری از موتورهای جستجو PubMed, Direct, Google Scholar, Springer, Web of Science, Scopus و SID مقالات از ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۲ با استفاده از کلید واژه‌های: کربوهیدرات‌ها، مصرف کربوهیدرات‌ها در حین رقابت، تاثیر کربوهیدرات‌ها بر عملکرد، تاثیر محلول‌های الکترولیتی کربوهیدراتی در حین رقابت، پیشنهاد کربوهیدرات برای بهبود عملکرد، کربوهیدرات و گلیکولیز، کربوهیدرات و عملکرد ورزشکاران بدون محدودیت زبان جستجو و وارد مطالعه شد. علاوه‌براین، منابع مقاله‌های استخراج شده به صورت دستی جستجو شدند. همچنین معیار‌های ورود و خروج تحقیق حاضر به شرح زیر است (شکل ۲ را مشاهده کنید):

مقالات از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۲ بودند.  
مقالات به زبان انگلیسی و یا فارسی می‌باشند و مقالات به جز این دو زبان از تحقیق حذف خواهند شد.  
مقاله‌ای که علمی ترویجی یا همایش بودند از تحقیق حذف خواهند شد.

<sup>1</sup>. Periodization Nutrition

مقالاتی که در در مجلات نامعتبر بودند حذف خواهند شد. بدین منظور ISSN تمام مقالات در سایت معتبر [impactfactor.ir](http://impactfactor.ir) مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

## یافته‌ها

### زمانبندی تغذیه ورزشی و تاثیر کربوهیدرات‌ها بر عملکرد ورزشکاران

در اصول تغذیه ورزشی دو واژه بسیار مهم وجود دارد که اغلب ورزشکاران این دو واژه را به خوبی نمی‌شناسند. زمانبندی تغذیه و تمرین دادن تغذیه دو واژه بسیار مهم در مبحث تغذیه ورزشی است. اگر بخواهیم توصیف بهتری از واژه تمرین زمان بندی داشته باشیم متوجه می‌شویم که هر دو می‌توانند از یک ساختار برخوردار باشند. امروزه ورزشکاران به بعد تغذیه ورزشی و زمانبندی آن توجه کمتری می‌کنند و بیشتر بر مبحث اصول تمرین متمرکز هستند. در همین راستا تحقیقات بسیار محدودی بر اهمیت تغذیه ورزشی بعد از تمرین پرداخته است. اما فکر کردن به اینکه قبل از فعالیت ورزشی یک زمانبندی تغذیه‌ای بلند مدت داشته باشیم، بسیار سخت است. به همین دلیل بهتر است قبل از اینکه بدن تمرین داده شود، تغذیه تمرین داده شود (۳-۶). زمانبندی دوره تمرین باید براساس نیازهای ورزشکار و نیازهای رشته فرد برنامه‌ی شود. به‌عنوان مثال در یک دوره خاص ورزشکاران مخصوصا ورزشکارانی که وزن عامل تأثیرگذار است؛ جهت مدیریت وزن خود مصرف کربوهیدرات را کاهش تا وزن و درصد چربی بدن کم شود. از طرف دیگر در یک دوره خاص دیگر ورزشکاران باید بارگیری کربوهیدرات را افزایش دهند تا مخازن گلیکوژن عضله و کبد آن‌ها پر باشد. توبیس و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود گزارش کرد که برای کاهش وزن و بهبود ترکیب بدن باید از استراتژی کاهش مصرف کربوهیدرات‌ها استفاده کرد. این روش باعث می‌شود سطوح انسولین کاهش و در نهایت کاهش وزن حاصل شود (۲۲). آنچه که واضح و مشخص است این است که ورزشکاران باید از تغذیه مناسبی استفاده کنند که بتواند یک پشتیبان کامل برای رسیدن به اهداف فردی آن‌ها در هر دوره‌ای از تمرین باشد.

اکثر ورزشکاران تمایل دارند قبل از فعالیت ورزشی خود بارگیری کربوهیدرات انجام دهند و آن‌ها علاقه‌ای به مصرف کربوهیدرات‌ها در حین رقابت‌های ورزشی ندارند. شواهد زیادی در دهه‌های اخیر نشان داده‌اند که مصرف کربوهیدرات‌ها در حین رقابت می‌تواند باعث بهبود عملکرد ورزشکاران شود. کربوهیدرات‌ها نسبت به چربی‌ها اکسیژن بیشتری تولید می‌کنند

و همچنین انرژی بیشتری را برای یک ورزشکار به ارمغان می‌آورند. کربوهیدرات سریع تر از چربی‌ها تجزیه و مورد استفاده قرار می‌گیرند. در زمانی که یک ورزشکار کربوهیدرات مصرف می‌کند گلوکز خون افزایش و این افزایش گلوکز خون باعث ترشح انسولین از پانکراس می‌شود (۲۳). یکی از سازوکارهای انسولین این است که <sup>۱</sup>HSL که آنزیم تجزیه‌کننده چربی است را غیرفعال و باعث فسفریله شدن پری لپتین در اطراف بافت چربی می‌شود (۲۴). لیپاز حساس به هورمون (HSL)، یک آنزیم چند منظوره می‌باشد که در متابولیسم اسیدهای چرب شرکت می‌کند (۲۵). همچنین پری لپتین یک آنزیم قدرت‌مند است که اطراف بافت چربی قرار دارد و در زمانی که انسولین افزایش می‌یابد فعال می‌شود و باعث عدم فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده چربی می‌شود (۲۴). مصرف کربوهیدرات می‌تواند باعث افزایش فرایند چرخه گلیکولیز شود. چرخه گلیکولیز در بدن می‌تواند تولید ATP کند و همچنین می‌تواند NAD را برای ورزشکاران به ارمغان بیاورد. نکته قابل توجه این است که در صورت نبود NAD در چرخه گلیکولیز این چرخه غیرفعال می‌شود و دیگر تولید انرژی در بدن صورت نمی‌گیرد در این حین استفاده از کربوهیدرات‌ها می‌تواند: الف) باعث افزایش آنزیم‌های مرتبط با اکسیداسیون کربوهیدرات‌ها ب) افزایش فعالیت چرخه گلیکولیز شود (۲۶).

همچنین مصرف کربوهیدرات‌ها می‌تواند باعث بهبود و تقویت سیستم ایمنی ورزشکاران هم شود. در این راستا احمدی حکمتی کار و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیق خود به بررسی تأثیر مکمل کربوهیدرات با محلول ۸٪ بر شاخص‌های هماتولوژیک خون فوتبالیست‌های مرد تمرین کرده پرداختند. این محققین در نتایج خود گزارش کردند که مصرف کربوهیدرات‌ها می‌تواند باعث افزایش گلوکز خون و اینترلوکین ۱۰ شود. همچنین در این تحقیق مصرف کربوهیدرات به صورت محلول ۸٪ توانست باعث افزایش معنا دار گلبول سفید هم شود (۲۷). از دلایل تأثیر مثبت کربوهیدرات بر عملکرد ورزشکاران فوتبالیست در حین رقابت می‌تواند به مایع بودن کربوهیدرات مصرفی اشاره کرد. در تحقیقی دیگر که مشخص شد که مصرف کربوهیدرات به صورت عسل می‌تواند باعث بهبود عملکرد و تقویت سیستم ایمنی ورزشکاران شود (۲۸، ۲۹). دستگاه ایمنی و لنفوسیت‌ها در هنگام فعالیت ورزشی کاهش پیدا می‌کنند و مشخص شده است یکی از دلایل کاهش دستگاه ایمنی و لنفوسیت‌ها؛ افزایش ماکروفاژها می‌باشد. برایان و همکاران در تحقیق خود عنوان کردند که مصرف کربوهیدرات‌ها می‌تواند باعث بهبود سیستم ایمنی بدن

<sup>1</sup> Hormone-sensitive lipase

عملکرد استقامتی مهم است اما توصیه‌ها هنوز خیلی خاص نیستند (۴۱) اما تحقیقات اندکی وجود دارد که عنوان کرده‌اند یک دوز ثابت برای ورزشکاران مناسب است ولی با این حال اکثر تحقیقات اثرات مثبتی را گزارش کرده‌اند.

### اهمیت جنسیت در زمان‌بندی مصرف کربوهیدرات و تأثیر بر عملکرد ورزشی

اخیراً ثابت شده است که این ایده طبیعی بودن در بین جنسیت‌ها نادرست است زیرا تحقیقات نشان داده است که تفاوت‌های متابولیسی زیادی بین جنسیت‌ها وجود دارد که از تفاوت‌های هورمونی ذاتی ناشی می‌شود. به‌طور خاص، به نظر می‌رسد که نقش استرادیول واسطه این تفاوت‌های متابولیسی است و بنابراین می‌تواند بر توانایی یک ماده برای ذخیره، تجزیه و استفاده از کربوهیدرات‌ها به همان شیوه‌ای که یک مرد وجود دارد تأثیر بگذارد (۴۲، ۴۳). استرادیول در درجه اول در ایجاد ویژگی‌های جنسی ثانویه زن نقش دارد. این هورمون استروئیدی به‌صورت چرخه‌ای توسط تخمدان‌ها ترشح می‌شود و در زمان تخمک‌گذاری به اوج خود می‌رسد (۴۴). استرادیول علاوه بر کمک به رشد، با آنزیم‌های مختلفی که در متابولیسم انرژی نقش دارند نیز مرتبط است. علاوه بر این، شواهدی وجود ندارد که نشان‌دهنده تغییرات در غلظت گلیکوژن عضلانی در طول چرخه قاعدگی باشد (۴۴). قبل از بررسی تفاوت‌های جنسیتی در بار کربوهیدرات، تفاوت‌های جنسیتی بین متابولیسم کربوهیدرات باید بررسی شود. به‌عنوان مثال گزارش شده است که زنان غلظت گلیکوژن عضلانی خود را در پاسخ به افزایش دریافت کربوهیدرات رژیم غذایی از ۵۸ به ۷۴ درصد انرژی دریافتی افزایش نمی‌دهند، با این حال مردان افزایش قابل‌توجهی را نشان می‌دهند (۴۵). یکی از مکانیسم‌های پیشنهادی این است که دریافت کربوهیدرات برای زنان برای جبران ذخایر گلیکوژن به‌دلیل دریافت انرژی بسیار کم است (۴۵).

به صورت کلی به نظر می‌رسد هیچ تفاوتی بین جنسیت در سطوح پایه گلیکوژن عضلات، عضلات اسکلتی GLUT-4 یا هگزوکیناز وجود ندارد (۴۶). با این حال، به نظر می‌رسد که زنان در عضلات اسکلتی حساسیت بیشتری به انسولین دارند (۴۷) که از نظر تئوری منجر به افزایش ذخیره گلیکوژن عضلانی و همچنین افزایش ذخیره چربی می‌شود، اما تفاوت‌های جنسیتی در حساسیت به انسولین خارج از محدوده این مقاله است. علاوه بر این، هنوز هیچ مطالعه‌ای در مورد ارزیابی تفاوت در فعالیت گلیکوژن سنتاز یا آنزیم انشعاب انجام نشده است. آگاهی از تغییرات این آنزیم‌ها می‌تواند به درک تفاوت‌های متابولیسی

شود (۳۰) اما کاهش گلوکز خون در فعالیت‌های ورزشی می‌تواند باعث افت سیستم ایمنی بدن شود. کاهش گلوکز خون می‌تواند باعث افزایش کورتیزول شود و کورتیزول می‌تواند باعث تأثیر منفی بر سیستم ایمنی بدن داشته باشد (۳۱). همچنین شواهد نشان داده است که مصرف کربوهیدرات‌ها می‌تواند باعث بهبود عملکرد سیستم ایمنی هم شود (۳۲، ۳۳). تانیساوا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیق خود گزارش کردند که مصرف کربوهیدرات می‌تواند در ورزشکاران استقامتی باعث افزایش سایتوکین‌های ضدالتهابی شده و ورزشکارانی که کربوهیدرات مصرف کردند عملکرد آن‌ها بهبود یافت که دلیل این بهبود عملکرد را افزایش گلوکز خون و ذخیره‌سازی گلیکوژن عضلانی دانستند (۳۴). در همین راستا ویندسور<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود گزارش کردند که تمرین با شدت متوسط و بالا در یک جلسه می‌تواند باعث افزایش IL-10 و 6 شود (۳۵). کاهش کربوهیدرات‌ها در حین رقابت‌های شدید می‌تواند باعث خستگی مرکزی (افزایش تریپتوفان) مغز و باعث افت عملکرد شود (۳۶) (شکل ۳ را مشاهده کنید).

### تأثیر کربوهیدرات در هنگام فعالیت ورزشی و میزان دوز مصرفی برای بهبود عملکرد

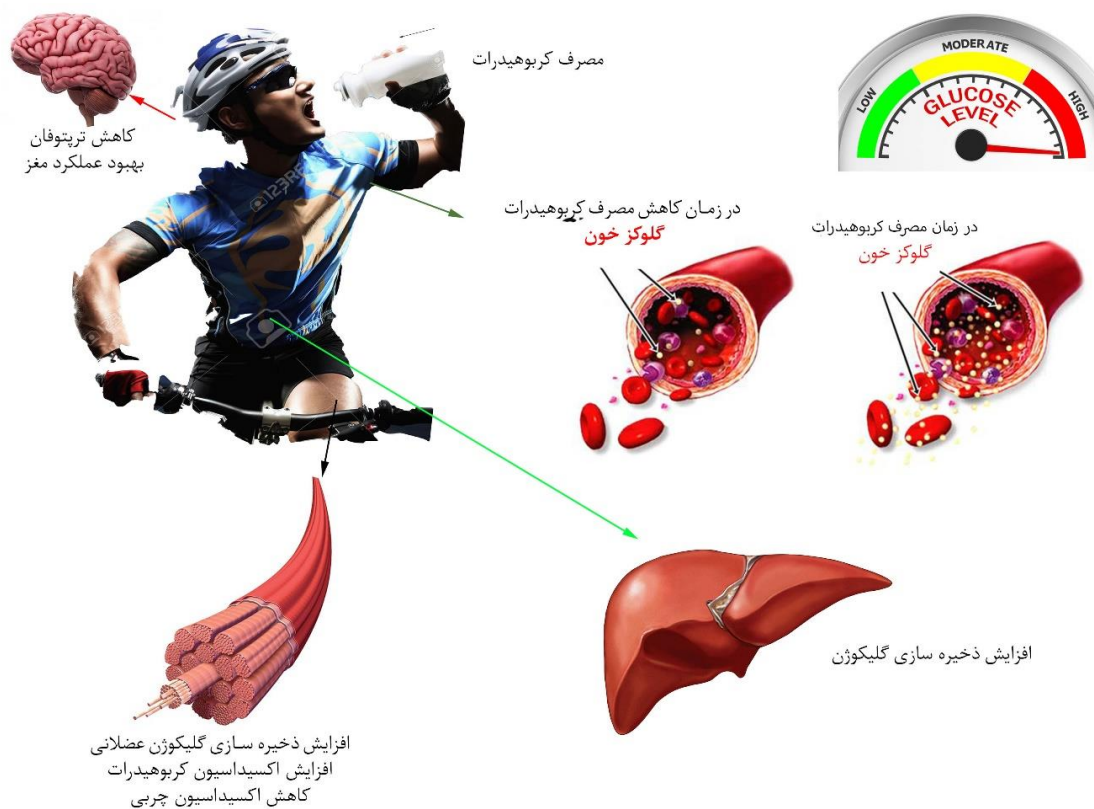
در سال ۱۹۳۹، محققین در نتایج خود گزارش کردند که یکی عامل‌های تأثیر گذار در بهبود عملکرد و تحمل ورزش در ورزشکاران، استفاده از کربوهیدرات‌ها در حین ورزش است (۳۷). در سال ۱۹۶۰، مشخص شد در طول تمرین گلیکوژن عضلانی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند (۳۸) و اولین مطالعات در سال ۱۹۸۰ نشان داد که مصرف کربوهیدرات در حین ورزش باعث افزایش بهبود عملکرد ورزشی می‌شود (۳۹). تا حدود ۲۰ سال آینده تا حدود سال ۲۰۰۴ هیچ پیشرفتی در این زمینه حاصل نشده است، که آغاز دوره‌ای با مجموعه‌ای از پیشرفت‌های مهم در رابطه با تغذیه کربوهیدرات در هنگام ورزش بود. یک ورزشکار (به‌عنوان مثال فوتبالیست) در هنگام ۹۰ دقیقه مسابقه فوتبال با کاهش گلیکوژن عضلانی روبه‌رو شده است و اگر بلافاصله بعد از ورزش از کربوهیدرات کافی استفاده نکنند منجر به عدم‌بارگیری کربوهیدرات و عدم بازسازی گلیکوژن می‌شود. بنابراین، فرد مسلماً در جلسات بعدی با افت عملکرد رو به رو خواهد شد. از همین رو پیشنهاد شده است که بعد از فعالیت ورزشی بارگیری کربوهیدرات انجام شود (۴۰). در رهنمودهای اخیر به‌طورکلی پذیرفته شده است که مصرف کربوهیدرات برای بهینه‌سازی

1. Tanisawa  
2. Windsor



ورزشکاران زن ظرفیت جبران فوق العاده گلیکوژن را در سطوحی قابل مقایسه با مردان در هنگام تغذیه با مقادیر مشابه کربوهیدرات نسبت به بدن خود دارند. به منظور افزایش توانایی ذخیره گلیکوژن و به دست آوردن اوج عملکرد از ورزشکاران استقامتی زن، لازم است در مطالعات آتی فاز چرخه قاعدگی کنترل شود. علاوه بر این، مطالعات آینده باید تأثیر استرادیول را بر استفاده از سوبسترای انرژی در حالت استراحت و در طول دوره‌های مختلف تمرین استقامتی در رابطه با ذخیره سازی گلیکوژن ارزیابی کنند. با این تحقیقات و دانش، ورزشکاران زن به طور بالقوه نمی‌توانند تفاوت‌های فیزیولوژیکی جنسیتی، اما تفاوت‌های جنسیتی در عملکرد را نیز پاک کنند.

ذاتی که بین جنس ها وجود دارد کمک کند. در حالی که به نظر می رسد هیچ تفاوت ذاتی در سطوح پایه گلیکوژن ماهیچه وجود ندارد، به نظر می رسد که یک تفاوت مربوط به جنسیت در تجزیه واقعی و متابولیسم کربوهیدرات ها وجود دارد. شواهدی وجود دارد که زنان تمایل به اکسیداسیون کربوهیدرات کل کمتری نسبت به مردان دارند. با این حال، مکانیسم این پدیده نامشخص است (۴۸). اما یک توضیح ممکن می تواند این باشد که زنان در طول تمرینات استقامتی نسبت به مردان میزان گلوکز کمتری دارند (۴۹). علی‌رغم بسیاری از سوالاتی که در رابطه با تفاوت‌های جنسیتی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در طول تمرینات استقامتی باید پاسخ داده شود، به نظر می‌رسد که



شکل (۳): طرح شماتیک کلی تأثیر کربوهیدرات‌ها بر عضله و مغز (۲۸، ۳۰)

(۱۱ گرم) و (۲۲ گرم) کربوهیدرات را بر عملکرد ورزشکاران مورد بررسی قرار دادند و در نتایج خود گزارش کردند که مصرف ۱۱ گرم هیچ اثری بر عملکرد ورزشکاران نداشت (۵۰). آخرین دستورالعمل‌های کالج پزشکی ورزشی آمریکا (ACSM) بیان می‌کند که مصرف کربوهیدرات ۳۰-۶۰ گرم در ساعت در طول ورزش باید باشد (۴۱). در یکی از مطالعاتی که به‌دقت انجام شده گزارش شده است مصرف کربوهیدرات برای فعالیت‌های ورزشی طولانی مدت می‌تواند با دوزهای ۱۵، ۳۰ و ۶۰ گرم در ساعت در

### اهمیت زمان بندی مصرف کربوهیدرات بر عملکرد هوازی و بی‌هوازی

در تحقیقی گزارش شده است که مصرف ۲۰ گرم کربوهیدرات می‌تواند برای بهبود عملکرد و کاهش خستگی، مفید باشد (۵۰، ۵۱). لازم به ذکر است که تحقیقات بسیار ضد و نقیض می‌باشد، به طوری که فلیدینگ و همکاران در تحقیق عنوان کردند که برای بهبود عملکرد در ورزشکاران حداقل ۲۲ گرم کربوهیدرات در ساعت برای بدن کافی می‌باشد. این محقق در تحقیق خود تأثیر

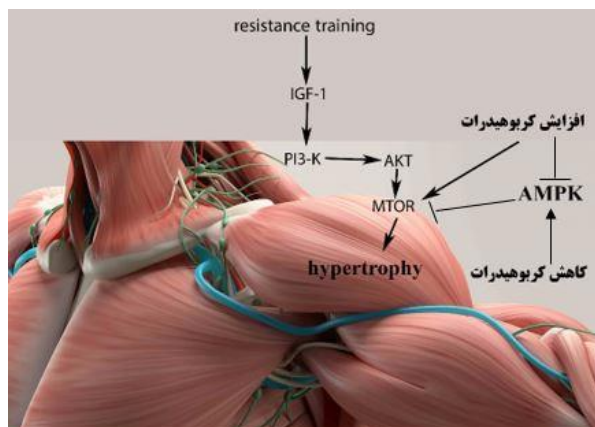
شود. همچنین باعث می شود سرعت گلیکولیز و گلیکولیز بیش از حد افزایش یابد و فرد مجبور است کربوهیدرات بیشتری را مصرف کند که در نهایت ناراحتی معده را با خود به همراه دارد. به همین دلیل پیشنهاد شده است مصرف کربوهیدرات ها در محیط گرم تا ۱۰٪ کاهش دهید (۶۰). همچنین لازم به ذکر است که با توجه به ویژگی های فردی به ورزشکاران باید کربوهیدرات توصیه کرد که در این مورد کربوهیدرات را به ورزشکاران بر اساس (کربوهیدرات به ازای هر کیلو از وزن بدن) است (۶۱). زمانی که شدت فعالیت ورزشی پایین است میزان مصرف کربوهیدرات ها باید کاهش یابد و زمانی که شدت فعالیت ورزشی بالا می رود میزان مصرف کربوهیدرات ها به همین نسبت افزایش می یابد. در شدت های بالا توده عضلانی بیشتری برای تولید حرکت و انرژی درگیر می شوند به همین نسبت تقاضا برای میزان انرژی دریافتی بالا می رود (۶۲). از طرفی در فعالیت های ورزشی که زمان آن ها بیش از ۳ ساعت است (فوق استقامتی) پیشنهاد شده است مصرف کربوهیدرات ها در حین رقابت پایین باشد. در این رقابت ها اکسیداسیون سوخت غالب است و اصولاً ورزشکاران با کمتر از ۷۰٪  $vo_{2max}$  خود فعالیت انجام می دهند (۶۳). در این رقابت ها شدت فعالیت بین ۵۰ تا ۶۵٪  $vo_{2max}$  می باشد که اکثر تحقیقات این شدت را گزارش کرده اند (۶۴-۶۶). ورزشکاران فوق استقامتی در حین رقابت از کربوهیدرات استفاده نمی کنند زیرا مصرف کربوهیدرات می تواند از فرایند اکسیداسیون چربی (لیپولیز) جلوگیری کند و باعث افت عملکرد آن ها شود به همین دلیل آن ها در مراحل پایانی رقابت که باید با تمام توان برای رسیدن به خط پایانی بدون از کربوهیدرات ها استفاده می کنند (۶۳). اما در فعالیت های ورزشی پر شدت مخازن گلیکوژن عضلانی به سرعت در حال کاهش است و مصرف کربوهیدرات در حین رقابت می تواند یک استراتژی خوب برای بهبود عملکرد باشد (۶۷).

از طرفی پاسخ های آنابولیکی در تمرینات مقاومتی با کربوهیدرات ها ارتباط مستقیمی دارند. این پاسخ آنابولیک توسط مسیره های پیچیده سیگنالینگ تنظیم می شود که یکی از مهمترین آنها مسیر mTOR است (۶۸). در دسترس بودن کربوهیدرات یک تاثیر نظارتی منفی نسبت به AMPK دارد اما از سوی دیگر تاثیر مثبت بر mTOR دارد. در زمان کمبود انرژی AMPK فعال می شود و باعث مهار فعالیت mTOR می شود (۶۹). گرچه تحقیقات بسیار ضد و نقیض هستند ولیکن مشخص شده است در حین تمرینات مقاومتی عدم مصرف کربوهیدرات ها از هائپرتروفی عضلانی جلوگیری می کند و تجزیه پروتئین های عضلانی را افزایش می دهد (۷۱، ۷۲). زمانی که در حین فعالیت

حین رقابت با توجه به شدت و مدت فعالیت مصرف شود (۵۲). برای فعالیت های ورزشی که کمتر از ۶۰ دقیقه است استفاده از کربوهیدرات های آگزوزن پیشنهاد نمی شود. (۵۳، ۵۴). برای فعالیت هایی که بین ۱ تا ۲/۵ ساعت به طول می انجامد پیشنهاد می شود بین ۳۰ تا ۶۰ گرم در ساعت یک محلول ورزشی که حاوی ۶ تا ۸٪ کربوهیدرات است را استفاده کنید. در این راستا پیشنهاد شده است که هر ۱۰ تا ۱۵ دقیقه یکبار این محلول ها استفاده کنید (۵۵). در تأیید این یافته ها کوپل در تحقیق خود عنوان کرد که برای رقابت های ورزشی که زمان آن ها بیش از ۹۰ دقیقه است میزان دوز پیشنهادی برای بهبود عملکرد ورزشکاران؛ مصرف کربوهیدرات بین ۳۰ تا ۶۰ گرم در ساعت است (۵۶). آنچه که مشخص است با افزایش مدت زمان رقابت های ورزشی میزان دوز مصرفی کربوهیدرات ها باید افزایش یابد که در تأیید این نکته جاگر و همکاران در یافته های پژوهشی خود عنوان کردند که برای رقابت هایی که بیش از ۲/۵ ساعت طول می کشد پیشنهاد می شود بین ۶۰ تا ۹۰ گرم در ساعت باشد (۵۷). هم راستا با نتایج جاگر و همکاران، در یک نظر سنجی از ورزشکاران نخبه و حرفه ای مشخص شد که آن ها در هنگام رقابت های ورزشی خود از ۹۰ گرم کربوهیدرات در هر ۱ ساعت استفاده می کردند (۵۸، ۵۹) که در این راستا بار و همکاران (۲۰۰۸) و هارسیس (۲۰۱۸) در تحقیق خود عنوان کردند که برای فعالیت های پر شدت طولانی مدت پیشنهاد می شود بین (۷۰ تا ۸۰ گرم در ساعت) از کربوهیدرات آگزوزن استفاده شود که این عامل می تواند باعث بهبود عملکرد و افزایش اکسیداسیون کربوهیدرات ها شود (۱۷، ۱۸). در نظرسنجی تعدادی از ورزشکاران نخبه در این نظرسنجی عنوان کردند که در زمانی که از کربوهیدرات ها به صورت مایع و ژل استفاده می کردند عملکرد آن ها بهتر می شود و تعدادی دیگر از ورزشکاران از کربوهیدرات به صورت جامد استفاده می کردند که باعث درد معده آن ها در حین رقابت می شد موضوعی که به آن باید اشاره شود این است که در حین رقابت های ورزشی مصرف کربوهیدرات ها بهتر است به صورت مایع باشد. زیرا هم در دهان جذب و هم در دستگاه گوارش به راحتی قابل هضم می باشد و این عامل می تواند کلید موفقیت ورزشکار در طول رقابت باشد. استفاده از کربوهیدرات ها به صورت جامد در حین رقابت باعث ناراحتی دستگاه گوارش نظیر؛ دل درد، سوزش معده و نفخ را به همراه دارد (۶۰). نکته قابل توجه دیگر این است که مصرف کربوهیدرات ها در محیط گرم می تواند باعث افت عملکرد شود. مصرف کربوهیدرات در محیط گرم می تواند باعث افزایش ترشح اپی نفرین بیش از حد و در نهایت باعث افزایش پرتپشی قلب

حوزه انجام شده و نمی توان مقدار مشخصی را برای مصرف کربوهیدرات در حین تمرینات مقاومتی پیشنهاد کرد (شکل ۴ را مشاهده کنید).

های مقاومتی از کربوهیدرات ها استفاده می شود سطح انسولین خون افزایش و این عامل می تواند تاثیر مثبتی بر هایپرتروفی عضلانی داشته باشد (۷۳)، اما تحقیقات بسیار محدودی در این



شکل (۴): طرح شماتیک کلی تاثیر کربوهیدرات ها بر هایپرتروفی (۷۱، ۷۲)

خون دقیقا در زمان قبل از رقابت شود و در نهایت در عملکرد آن ها اختلال ایجاد می شود. البته این موضوع را می توان به دلیل نداشتن یک متخصص تغذیه یا عدم آگاهی آن ها از زمان بندی کربوهیدرات ها دانست. اکثر ورزشکاران در این تفکر هستند که استفاده از کربوهیدرات قبل از ورزش یا رقابت می تواند منجر به بهبود عملکرد آن ها شود. این تفکر درست است اما در صورت رعایت کردن نوع زمان بندی مصرف کربوهیدرات ها. این افت ناگهانی گلوکز خوون<sup>۶</sup> یا بازگشت سریع گلوکز خون نام دارد (۷۵). اما این موضوع در حین رقابت متفاوت است. ورزشکارانی که در حین رقابت از شاخص گلیسمیک بالا استفاده کنند گلوکز خون آن ها سریع افزایش می باید که این عامل می تواند باعث بهبود عملکرد آن ها شود. در نهایت ما توصیه می کنیم برای فعالیت های ورزشی که کمتر از ۶۰ دقیقه به طول می انجامد و شدت رقابت پایین است میزان دوز مصرفی کربوهیدرات بین ۳۰ تا ۶۰ گرم هر ۱۰ تا ۱۵ دقیقه باشد با شاخص گلیسمیک پایین تا متوسط باشد (ایده آل) و برای فعالیت های ورزشی که شدت فعالیت بالا ۷۰٪  $vo_{2max}$  است پیشنهاد می شود کربوهیدرات با شاخص گلیسمیک بالا به میزان ۳۰ تا ۶۰ گرم هر ۱۰ تا ۱۵ دقیقه باشد؛ اما در رقابت های بالاتر از ۲ ساعت پیشنهاد می شود کربوهیدرات به میزان ۶۰ تا ۹۰ گرم در هر ساعت استفاده شود (شکل ۵ را مشاهده کنید).

یکی از نکاتی که ورزشکاران باید آن را در مصرف کربوهیدرات ها رعایت کنند این است که باید در حین رقابت از کربوهیدرات با شاخص گلیسمیک بالا استفاده کنند. کربوهیدرات ها دارای شاخص های گلیسمیک ( $GI^5$ ) بالا و پایین هستند. رعایت زمان بندی و استفاده از شاخص های گلیسمیک می تواند منجر به بهبود یا کاهش عملکرد ورزشکاران در زمان رقابت شود. نکته ای که در مصرف کربوهیدرات ها وجود دارد شاخص گلیسمیک کربوهیدرات ها است که در صورت رعایت نکردن زمان بندی غذایی ورزشکار با افت عملکرد روبه رو خواهد شد. در سطح بیوشیمیایی، شواهد نشان داده اند که دستکاری GI می تواند تغییراتی در لیپولیز بافت چربی، اسیدهای چرب پلاسما و میزان اکسیداسیون لیپید و کربوهیدرات را در حین ورزش ایجاد کند (۷۴). شاخص گلیسمیک بالا به این معنی است که پس از مصرف، در گوارش سریع هضم و سریع جذب می شود که این امر سبب افزایش سریع در گلوکز خون می شود و از طرفی شاخص گلیسمیک پائین بدین معنی است که بعد از مصرف دیر هضم و دیر جذب می شود که سبب افزایش آهسته گلوکز خون می شود (۷۵). موضوعی که منجر به ناراحتی بیشتر ورزشکاران شده این است که آن ها قبل از رقابت از کربوهیدرات با شاخص گلیسمیک بالا به مقدار زیادی استفاده می کنند و تا زمان رقابت در حالت استراحت قرار می گیرند و از هیچ ماده غذایی استفاده نمی کنند، که این عامل می تواند منجر افت زیاد گلوکز

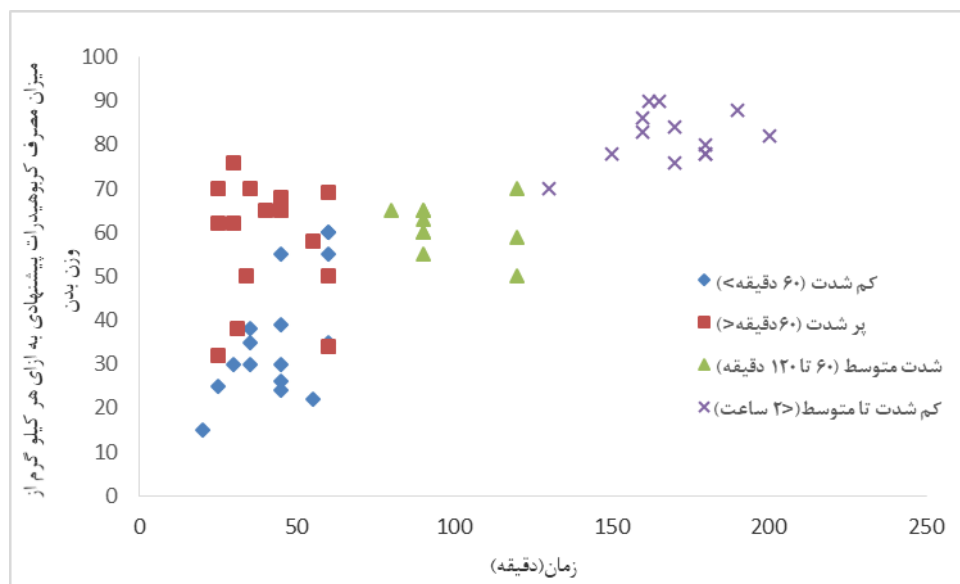
<sup>6</sup> glucose rebound

<sup>5</sup> Glycemic indices



جدول (۱): توصیه های مصرف کربوهیدرات در حین رقابت بر اساس زمان بندی

مدت زمان فعالیت	شدت فعالیت ورزشی	میزان دوز پیشنهادی	نوع مصرف
کمتر از ۱ ساعت	۵۰ تا ۶۵٪ $\dot{V}O_2$ max (شدت متوسط)	۱۵ تا ۶۰ گرم هر ۱۰ تا ۱۵ دقیقه به ازای هر کیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلاسیمیک پایین)	مایع و ژل محلول ۶ تا ۸٪
کمتر از ۱ ساعت	بالا ۷۰٪ $\dot{V}O_2$ max (شدت بالا)	۳۰ تا ۶۰ گرم هر ۱۰ تا ۱۵ دقیقه به ازای هر کیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلاسیمیک بالا)	مایع و ژل محلول ۶ تا ۸٪
بین ۱ تا ۲ ساعت	۵۰ تا ۶۵٪ $\dot{V}O_2$ max (شدت متوسط)	۳۰ تا ۶۰ گرم هر ۱۰ تا ۱۵ دقیقه به ازای هر کیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلاسیمیک پایین)	مایع و ژل محلول ۶ تا ۸٪
بین ۱ تا ۲ ساعت	کمتر از ۶۰٪ $\dot{V}O_2$ max (شدت پایین)	۳۰ تا ۶۰ گرم هر ۱۰ تا ۱۵ دقیقه به ازای هر کیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلاسیمیک پایین)	مایع و ژل محلول ۶ تا ۸٪
بیش از ۲ ساعت	کمتر از ۶۵٪ $\dot{V}O_2$ max (شدت متوسط و پایین)	با توجه به ماهیت و نوع رشته رقابتی اگر فعالیت در طول جریان بازی پر شدت و کم شدت می شود: ۶۰ تا ۹۰ گرم در هر ساعت به ازای هر کیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلاسیمیک پایین تا متوسط)  با توجه به ماهیت و نوع رشته رقابتی اگر فعالیت در طول جریان کم شدت است و ورزشکار در مراحل پایانی باید تمام توان خود را بگذارد: ۳۰ تا ۶۰ گرم در هر ۱۵ دقیقه به ازای هر کیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلاسیمیک بالا)	مایع و ژل محلول ۶ تا ۸٪



شکل (۵): مانیتورینگ کردن مصرف کربوهیدرات بر اساس نتایج مقالات در زمان و شدت های مختلف (۷۶)

## بحث

بهبود بخشید (۷۷، ۷۸). کارتر و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیق خود عنوان کردند که مصرف کربوهیدرات ها در حین رقابت های ورزشی با شدت بالا و مدت زمان کم می تواند منجر به بهبود عملکرد ورزشکاران شود (۷۹). این محققین بیان کردند که استفاده از

با توجه به اینکه هنوز مکانیسم های دقیق کاملاً درک نشده است، اخیراً گزارش شده است که مصرف کربوهیدرات در حین رقابت ورزشی می تواند ظرفیت ورزش را افزایش داده و عملکرد ورزشی را

حامی مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه تربیت مدرس تهران حامی مالی این مقاله است.

سهام نویسندگان نویسندگان معیار های کمیته بین المللی سردبیران نشریات پزشکی را رعایت کرده اند.

**تشکر و سپاسگزاری:** از تمامی نویسندگان مقاله قدردانی می شود.

**منافع متقابل:** بنابر اظهار نویسندگان هیچگونه تعارض منافی وجود ندارد.

## منابع

- [1] Paulsen G, Cumming KT, Holden G, Hallén J, Rønnestad BR, Svein O, et al. Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial. *J Physiol*. 2014;592(8):1887-901.
- [2] Paulsen G, Hamarsland H, Cumming KT, Johansen RE, Hulmi JJ, Børsheim E, et al. Vitamin C and E supplementation alters protein signalling after a strength training session, but not muscle growth during 10 weeks of training. *J Physiol*. 2014;592(24):5391-408.
- [3] Jeukendrup AE. Periodized Nutrition for Athletes. *Sports Med*. 2017;47(Suppl 1):51-63.
- [4] Shearman M. Athletics and football: Longmans, Green; 1894.
- [5] Stellingwerff T, Boit MK, Res PT. Nutritional strategies to optimize training and racing in middle-distance athletes. *Journal of Sports Sciences*. 2007;25(S1):S17-S28.
- [6] Stellingwerff T, Maughan RJ, Burke LM. Nutrition for power sports: middle-distance running, track cycling, rowing, canoeing/kayaking, and swimming. *Journal of sports sciences*. 2011;29(sup1):S79-S89.
- [7] van Ommen B, van den Broek T, de Hoogh I, van Erk M, van Someren E, Rouhani-Rankouhi T, et al. Systems biology of personalized nutrition. *Nutr Rev*. 2017;75(8):579-99.
- [8] Krogh A, Lindhard J. The Relative Value of Fat and Carbohydrate as Sources of Muscular Energy: With Appendices on the Correlation between Standard Metabolism and the Respiratory Quotient during Rest and Work. *Biochem J*. 1920;14(3-4):290-363.
- [9] Burke LM, Hawley JA, Wong SH, Jeukendrup AE. Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci*. 2011;29 Suppl 1:S17-27.
- [10] Abdelmoula A, Baudry S, Duchateau J. Anodal transcranial direct current stimulation enhances time to task failure of a submaximal contraction of elbow

کربوهیدرات حین رقابت های ورزشی می تواند باعث افزایش گلوکز خون شود و این عامل می تواند از گلیکوژنولیز جلوگیری کند که این عامل سبب حفظ ذخایر گلیکوژن عضلانی و بهبود عملکرد می شود. همچنین مشخص شده است که شستشوی دهان با کربوهیدرات ها می تواند باعث افزایش عملکرد در ورزشکاران شود. گزارش شده است هر زمان که کربوهیدرات ها به صورت نوشیدنی در دهان قرار گیرد، آنزیم ها و گیرنده های دهان سریع آن ها را جذب و وارد فرایند هضم می کند (۸۰). در یک مطالعه مروری مشخص شد نزدیک به ۸۲٪ ورزشکارانی که فعالیت های ورزشی انجام می دهند از کربوهیدرات ها در حین رقابت استفاده می کنند (۸۱). با توجه به اینکه در مطالعه حاضر پیشنهاداتی صورت رفت اما باید این نکته را در نظر داشت که مصرف کربوهیدرات های باید به صورت مایع و میزان مناسبی باشد. در غیر این صورت فرد با افت عملکرد مواجه خواهد شد. انتخاب کربوهیدرات مناسب در حین رقابت می تواند خود یکی از عوامل تاثیر گذار باشد. به عنوان مثال در تحقیقی گزارش شد تمام منابع کربوهیدراتی نمی توانند به برای تامین انرژی در حین رقابت نقش آفرینی کنند و همه آن ها نمی توانند به راحتی هضم و جذب شوند. حداکثر سرعت جذب یک منبع کربوهیدراتی تنها ۶۰ گرم در ساعت است که مربوط به گلوکز، ساکارز، مالتوز یا مالتودکسترین می باشد (۷۸). با توجه به جدول ۱ توصیه می شود بر اساس نکات که در جدول ذکر شده است ورزشکاران در حین رقابت های خود از کربوهیدرات استفاده کنند. همچنین همانگونه که از شکل ۲ مشخص است در فعالیت های ورزشی زمان آن ها کم و شدت فعالیت زیاد است مصرف کربوهیدرات ها افزایش و هر زمان تایم فعالیت کم و شدت کم است مصرف کربوهیدرات ها کاهش پیدا می کند. همچنین در فعالیت های بین ۶۰ تا ۱۲۰ دقیقه مصرف کربوهیدرات ها بین ۵۰ تا ۸۰ گرم در ساعت تغییر موقعیت می دهد. تجزیه تحلیل داده ها نتایج تحقیقات بررسی شده را تایید می کند. همچنین پیشنهاد می شود برای پاسخ عالی از مصرف کربوهیدرات ها در تمرینات به صورت شبیه سازی شده از کربوهیدرات ها با دوز های مختلف استفاده شود تا اثر دوز دقیق مصرفی بدست آید.

**نتیجه گیری:** با توجه به اهمیت کربوهیدرات ها در حین رقابت های ورزشی پیشنهاد می شود بر اساس تفاوت های فردی و نوع رشته مورد نظر کربوهیدرات ها مصرف شود. فعالیت ورزشی پر شدت با مدت زمان کم نیاز به میزان کربوهیدراتی مصرفی بین ۳۰ تا ۶۰ گرم هر ۱۵ دقیقه دارد و فعالیت های ورزشی با شدت پایین و مدت زمان بالا نیاز به کربوهیدرات مصرفی بین ۶۰ تا ۹۰ گرم در ساعت را دارد. با این حال پیشنهاد می شود محققان در آینده تاثیر شاخص های گلاسیسمیک مختلف را در حین رقابت بر عملکرد ورزشکاران مورد بررسی قرار دهند.

- and meta-analysis. *The lancet Diabetes & endocrinology*. 2015;3(12):968-79.
- [23] Grodsky GM, Batts AA, Bennett LL, Vcella C, McWilliams NB, Smith DF. Effects of carbohydrates on secretion of insulin from isolated rat pancreas. *American Journal of Physiology-Legacy Content*. 1963;205(4):638-44.
- [24] Lan YL, Lou JC, Lyu W, Zhang B. Update on the synergistic effect of HSL and insulin in the treatment of metabolic disorders. *Ther Adv Endocrinol Metab*. 2019;10:2042018819877300.
- [25] Lampidonis AD, Rogdakis E, Voutsinas GE, Stravopodis DJ. The resurgence of Hormone-Sensitive Lipase (HSL) in mammalian lipolysis. *Gene*. 2011;477(1-2):1-11.
- [26] Zhang W, Xu Y-Z, Liu B, Wu R, Yang Y-Y, Xiao X-Q, et al. Pioglitazone upregulates angiotensin converting enzyme 2 expression in insulin-sensitive tissues in rats with high-fat diet-induced nonalcoholic steatohepatitis. *The Scientific World Journal*. 2014;2014.
- [27] Ahmadi Hekmatikar A, Haghshenas R, Mohammad Sadeghipor A. The Effect of Carbohydrate Supplementation and Pure Water on Interleukin 10, Glucose and Hematological Indexes in Male Football Players. *Sport Physiology & Management Investigations*. 2019;11(4):135-45.
- [28] Yusof A, Ahmad N, Hamid A, Khong TJS, Sports. Effects of honey on exercise performance and health components: A systematic review. 2018.
- [29] Tayebi SM, Ghanbari-Niaki A, Fathi R. Ghrelin behavior in exercise and training. *Razi Journal of Medical Sciences*. 2020;27(1):85-111.
- [30] Cobb BA, Kasper DL. Coming of age: carbohydrates and immunity. *Eur J Immunol*. 2005;35(2):352-6.
- [31] Jeurissen A, Bossuyt X, Ceuppens JL, Hespel P. [The effects of physical exercise on the immune system]. *Ned Tijdschr Geneesk*. 2003;147(28):1347-51.
- [32] Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet*. 2016;116(3):501-28.
- [33] Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med*. 2018;52(7):439-55.
- [34] Tanisawa K, Suzuki K, Ma S, Kondo S, Okugawa S, Higuchi MJA. Effects of Ingestion of Different Amounts of Carbohydrate after Endurance Exercise on Circulating Cytokines and Markers of Neutrophil Activation. 2018;7(4):51.
- [35] Windsor MT, Bailey TG, Perissiou M, Meital L, Gollidge J, Russell FD, et al. Cytokine Responses to Acute Exercise in Healthy Older Adults: The Effect of flexors without changing corticospinal excitability. *Neuroscience*. 2016;322:94-103.
- [11] Khoramipour K, Basereh A, Hekmatikar AA, Castell L, Ruhee RT, Suzuki K. Physical activity and nutrition guidelines to help with the fight against COVID-19. *Journal of Sports Sciences*. 2021;39(1):101-7.
- [12] Khoramipour K, Chamari K, Hekmatikar AA, Ziyaiyan A, Taherkhani S, Elguindy NM, et al. Adiponectin: Structure, Physiological Functions, Role in Diseases, and Effects of Nutrition. *Nutrients*. 2021;13(4):1180.
- [13] Ahmadi Hekmatikar AH, Ferreira Júnior JB, Shahrbanian S, Suzuki K. Functional and Psychological Changes after Exercise Training in Post-COVID-19 Patients Discharged from the Hospital: A PRISMA-Compliant Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(4):2290.
- [14] Ahmadi HAH, Haghshenas R, Sadeqipour AM. The effect of carbohydrate supplementation and pure water on interleukin 10, glucose and hematological indexes in male football players. 2020.
- [15] Coyle E, Lamb D, Murray R. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Optimizing Sport Performance* Carmel: Cooper. 1997;3.
- [16] Coffey VG, Hawley JA. The molecular bases of training adaptation. *Sports Med*. 2007;37(9):737-63.
- [17] Baar K, McGee S. Optimizing training adaptations by manipulating glycogen. *European journal of sport science*. 2008;8(2):97-106.
- [18] Hearn MA, Hammond KM, Fell JM, Morton JP. Regulation of Muscle Glycogen Metabolism during Exercise: Implications for Endurance Performance and Training Adaptations. *Nutrients*. 2018;10(3).
- [19] Impey SG, Hearn MA, Hammond KM, Bartlett JD, Louis J, Close GL, et al. Fuel for the Work Required: A Theoretical Framework for Carbohydrate Periodization and the Glycogen Threshold Hypothesis. *Sports Med*. 2018;48(5):1031-48.
- [20] Agha-Alinejad H, Ahmadi Hekmatikar AH, Ruhee RT, Shamsi MM, Rahmati M, Khoramipour K, et al. A Guide to Different Intensities of Exercise, Vaccination, and Sports Nutrition in the Course of Preparing Elite Athletes for the Management of Upper Respiratory Infections during the COVID-19 Pandemic: A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(3):1888.
- [21] Molanouri Shamsi M, Vahed A, Hekmatikar AA, Suzuki K. Combined Effects of Exercise Training and Nutritional Supplementation in Cancer Patients in the Context of the COVID-19: A Perspective Study. *Frontiers in nutrition*. 2022;9:847215-.
- [22] Tobias DK, Chen M, Manson JE, Ludwig DS, Willett W, Hu FB. Effect of low-fat diet interventions versus other diet interventions on long-term weight change in adults: a systematic review

- induced alterations of carbohydrate metabolism in women: women respond differently from men. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md : 1985). 1998;85(3):1175-86.
- [50] Fielding RA, Costill DL, Fink WJ, King DS, Hargreaves M, Kowaleski JE. Effect of carbohydrate feeding frequencies and dosage on muscle glycogen use during exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1985;17(4):472-6.
- [51] Maughan RJ, Bethell LR, Leiper JB. Effects of ingested fluids on exercise capacity and on cardiovascular and metabolic responses to prolonged exercise in man. *Exp Physiol*. 1996;81(5):847-59.
- [52] Smith JW, Zachwieja JJ, Péronnet F, Passe DH, Massicotte D, Lavoie C, et al. Fuel selection and cycling endurance performance with ingestion of [<sup>13</sup>C]glucose: evidence for a carbohydrate dose response. *J Appl Physiol* (1985). 2010;108(6):1520-9.
- [53] Jäger R, Kerksick CM, Campbell BI, Cribb PJ, Wells SD, Skwiat TM, et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr*. 2017;14:20.
- [54] Campbell B, Kreider RB, Ziegenfuss T, La Bounty P, Roberts M, Burke D, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2007;4(1):8.
- [55] Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: nutrition and athletic performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2016;116(3):501-28.
- [56] Coyle EF. Fluid and fuel intake during exercise. *Journal of sports sciences*. 2004;22(1):39-55.
- [57] Jäger R, Kerksick CM, Campbell BI, Cribb PJ, Wells SD, Skwiat TM, et al. International society of sports nutrition position stand: protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2017;14(1):1-25.
- [58] Kimber NE, Ross JJ, Mason SL, Speedy DB. Energy balance during an ironman triathlon in male and female triathletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2002;12(1):47-62.
- [59] Saris W, van Erp-Baart M, Brouns F, Westerterp K, Ten Hoor F. Study on food intake and energy expenditure during extreme sustained exercise: the Tour de France. *International Journal of Sports Medicine*. 1989;10(S 1):S26-S31.
- [60] Jeukendrup AE, Jentjens RL, Moseley L. Nutritional considerations in triathlon. *Sports Med*. 2005;35(2):163-81.
- [61] Jeukendrup A. A step towards personalized sports nutrition: carbohydrate intake during exercise. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2014;44 Suppl 1(Suppl 1):S25-S33.
- [62] van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WH, Wagenmakers AJ. The effects of of Cardiorespiratory Fitness. *Frontiers in physiology*. 2018;9:203-.
- [36] Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports*. 2000;10(3):123-45.
- [37] Christensen EH, Hansen O. III. Arbeitsfähigkeit und Ernährung1. *Skandinavisches Archiv Für Physiologie*. 1939;81(1):160-71.
- [38] Bergström J, Hultman E. Muscle glycogen synthesis after exercise: an enhancing factor localized to the muscle cells in man. *Nature*. 1966;210(5033):309-10.
- [39] Coyle EF, Hagberg JM, Hurley BF, Martin WH, Ehsani AA, Holloszy JO. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1983;55(1 Pt 1):230-5.
- [40] Shiose K, Yamada Y, Motonaga K, Sagayama H, Higaki Y, Tanaka H, et al. Segmental extracellular and intracellular water distribution and muscle glycogen after 72-h carbohydrate loading using spectroscopic techniques. *J Appl Physiol* (1985). 2016;121(1):205-11.
- [41] Rodriguez NR, Di Marco NM, Langley S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(3):709-31.
- [42] Ellis GS, Lanza-Jacoby S, Gow A, Kendrick ZV. Effects of estradiol on lipoprotein lipase activity and lipid availability in exercised male rats. *Journal of Applied Physiology*. 1994;77(1):209-15.
- [43] Tarnopolsky MA, Zawada C, Richmond LB, Carter S, Shearer J, Graham T, et al. Gender differences in carbohydrate loading are related to energy intake. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md : 1985). 2001;91(1):225-30.
- [44] Wismann J, Willoughby D. Gender differences in carbohydrate metabolism and carbohydrate loading. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2006;3(1):28-34.
- [45] Tarnopolsky M, Atkinson S, Phillips S, MacDougall J. Carbohydrate loading and metabolism during exercise in men and women. *Journal of applied Physiology*. 1995;78(4):1360-8.
- [46] Tarnopolsky LJ, MacDougall JD, Atkinson SA, Tarnopolsky MA, Sutton JR. Gender differences in substrate for endurance exercise. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md : 1985). 1990;68(1):302-8.
- [47] Driskell JA, Wolinsky I. Energy-yielding macronutrients and energy metabolism in sports nutrition: CRC Press; 1999.
- [48] Tarnopolsky MA. Females and males: should nutritional recommendations be gender specific? *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*. 2003;51(1):39-46.
- [49] Friedlander AL, Casazza GA, Horning MA, Huie MJ, Piacentini MF, Trimmer JK, et al. Training-

- [76] Welsh RS, Davis JM, Burke JR, Williams HG. Carbohydrates and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2002;34(4):723-31.
- [77] Jeukendrup AE. Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2010;13(4):452-7.
- [78] Jeukendrup AE. Carbohydrate feeding during exercise. *European Journal of Sport Science*. 2008;8(2):77-86.
- [79] Carter JM, Jeukendrup AE, Mann CH, Jones DA. The effect of glucose infusion on glucose kinetics during a 1-h time trial. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(9):1543-50.
- [80] Small DM, Bender G, Veldhuizen MG, Rudenga K, Nachtigal D, Felsted J. The role of the human orbitofrontal cortex in taste and flavor processing. *Ann N Y Acad Sci*. 2007;1121:136-51.
- [81] Stellingwerff T, Cox GR. Systematic review: Carbohydrate supplementation on exercise performance or capacity of varying durations. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014;39(9):998-1011.
- increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol*. 2001;536(Pt 1):295-304.
- [63] Getzin AR, Milner C, Harkins M. Fueling the triathlete: evidence-based practical advice for athletes of all levels. *Current sports medicine reports*. 2017;16(4):240-6.
- [64] Liu S, Selvaraj P, Lien CZ, Nunez IA, Wu WW, Chou C-K, et al. The PRRA insert at the S1/S2 site modulates cellular tropism of SARS-CoV-2 and ACE2 usage by the closely related Bat raTG13. *Journal of virology*. 2021;95(11):e01751-20.
- [65] Zakrzewski J, Tolfrey K. Exercise protocols to estimate Fatmax and maximal fat oxidation in children. *Pediatric exercise science*. 2011;23(1):122-35.
- [66] Croci I, Borrani F, Byrne N, Wood R, Hickman I, Cheneviere X, et al. Reproducibility of Fatmax and fat oxidation rates during exercise in recreationally trained males. *PloS one*. 2014;9(6).
- [67] Burke LM, Wood C, Pyne DB, Telford DR, Saunders PU. Effect of carbohydrate intake on half-marathon performance of well-trained runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2005;15(6):573-89.
- [68] Lee CH, Inoki K, Guan KL. mTOR pathway as a target in tissue hypertrophy. *Annu Rev Pharmacol Toxicol*. 2007;47:443-67.
- [69] Knuiman P, Hopman MT, Mensink M. Glycogen availability and skeletal muscle adaptations with endurance and resistance exercise. *Nutr Metab (Lond)*. 2015;12:59.
- [70] Smiles WJ, Hawley JA, Camera DM. Effects of skeletal muscle energy availability on protein turnover responses to exercise. *J Exp Biol*. 2016;219(Pt 2):214-25.
- [71] Churchley EG, Coffey VG, Pedersen DJ, Shield A, Carey KA, Cameron-Smith D, et al. Influence of preexercise muscle glycogen content on transcriptional activity of metabolic and myogenic genes in well-trained humans. *J Appl Physiol (1985)*. 2007;102(4):1604-11.
- [72] Creer A, Gallagher P, Slivka D, Jemiolo B, Fink W, Trappe S. Influence of muscle glycogen availability on ERK1/2 and Akt signaling after resistance exercise in human skeletal muscle. *J Appl Physiol (1985)*. 2005;99(3):950-6.
- [73] Chow LS, Albright RC, Bigelow ML, Toffolo G, Cobelli C, Nair KS. Mechanism of insulin's anabolic effect on muscle: measurements of muscle protein synthesis and breakdown using aminoacyl-tRNA and other surrogate measures. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2006;291(4):E729-36.
- [74] Mondazzi L, Arcelli E. Glycemic index in sport nutrition. *Journal of the American College of Nutrition*. 2009;28(sup4):455S-63S.
- [75] Chiu C-J, Taylor A. Dietary hyperglycemia, glycemic index and metabolic retinal diseases. *Prog Retin Eye Res*. 2011;30(1):18-53.