پژوهش در تغذیه ورزشی
سال اول، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، صص ۵۳-۴۱

مقاله پژوهشی

https://researchinexercisenutrition.com

https://doi.org/10.34785/J019.2022.001

زمان‌بندی تغذیه ورزشی کربوهیدراتی در ورزشکاران نخبه: یک مطالعه مروری کوتاه

حمید آقا علی نژاد[۱]، امیرحسین احمدی حکمتی کار[۲]✉، مریم‌السادات امامی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

چکیده

هدف: در سال‌های اخیر، استفاده از کربوهیدرات‌ها برای بهبود عملکرد ورزشی در بین جوامع ورزشی مورد توجه محققین قرار گرفته است. حفظ ذخایر کربوهیدراتی برای فعالیت‌های 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 ازاری هرکیلو از وزن بدن کربوهیدرات به‌صورت مایع مصرف شود. به همین منظور مطالعه حاضر با بررسی مقالات پیشین پیشنهاداتی برای مصرف کربوهیدرات ها در حین رقابت های ورزشی ارائه میدهد.

روش‌شناسی: برای بررسی مقالات از موتور های جستجو Direct، PubMed، Scopus، Web of Science، Springer، Google Scholar و SID مقالات از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۲ با استفاده از کلید واژه‌های مرتبط جستجو و وارد مطالعه شدند. علاوه‌بر این، منابع مقاله های استخراج شده به‌صورت دستی جستجو شدند.

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

نتیجه‌گیری: در نهایت در این مطالعه مشخص شد استراتژی‌های کربوهیدراتی در حین رقابت بسیار مفید می‌باشد اما توصیه می‌شود با رعایت اصول فردی و ماهیت رقابت ورزشی کربوهیدرات مصرف شود.

واژگان کلیدی کربوهیدرات، ورزشکاران نخبه، بارگیری کربوهیدرات

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

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

Original Article

REN

https://doi.org/10.34785/J019.2022.001

Research in Exercise Nutrition 2022; 1(1): 41-53

Carbohydrate Sports Nutrition Timing in Elite Athletes: A Brief Review Study

Hamid Agha-Alinejad, 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

[1] 1 Associate Professor of Exercise Physiology, Department of Physical Education and Sports Science, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran Iran.

[2] Ph.D student of Exercise physiology, Department of Physical Education and Sports Science, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran Iran.

✉ **Corrispondig author:** a.hekmatikar4@gmail.com

[3] Master of Exercise physiology, Department of Physical Education and Sports Science, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Hamadan, Iran.

ISSN: 2980-8960

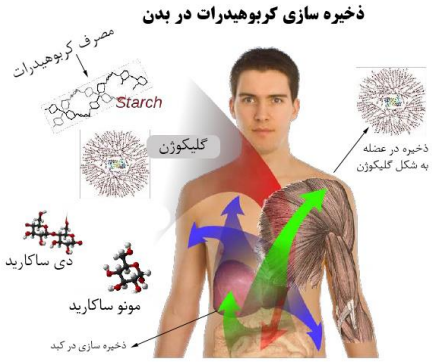
All rights of this article are reserved for the University of Kurdistan.

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[1] یک تعریف ثابت و مشترک وجود ندارد اما به‌صورت کلی می‌توان گفت زمان‌بندی تمرین یعنی راهکاری مناسب تغذیه‌ای جهت بهبود عملکرد ورزشکاران به‌صورت منظم و طولانی‌مدت می‌باشد (۳-۶). جاکاندروپ (۲۰۱۷) تعریف واضحی را از زمانبندی تغذیه ورزشی ارائه کرد. "زمانبدی 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، وضیعت تغذیه ای، 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 می شوند و در نهایت در خون به‌عنوان گلوکز خون وجود دارد. یکی از بسترهای ضروری مغز و عضلات کربوهیدرات است که درحین ورزش بدن به آن نیاز دارد. بنابراین توصیه‌های تغذیه ورزشی برای بهبود عملکرد ورزشکاران استفاده از کربوهیدرات ها قبل از فعالیت ورزشی، حین فعالیت ورزشی و بعد از فعالیت ورزشی می باشد (۹-۱۴). آنچه مشخص است در حین فعالیت های ورزشی شدید و فعالیت‌های ورزشی بیش از ۹۰ دقیقه گلیکوژن عضلانی و گلوکز خون افت می‌کند که این می تواند یکی از دلایل خستگی ورزشکاران باشد (۱۵). همچنین ورزشکارانی که به‌دنبال سازگاری های ورزشی هستند زمان بندی تغذیه ورزشی می تواند 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 دسترس‌بودن انرژی در هنگام ورزش پاسخ فیزیولوژیکی به تمرین را تعدیل می‌کند (۱۶). مشخص شده است گلیکوژن عضلانی نه‌تنها به‌عنوان سوبسترا 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 پیشنهادات خود را ارائه دهند.



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

روش‌شناسی

دراین مطالعه مروری از موتورهای جستجو PubMed، Direct، Scopus، Web of Science، Springer، Google Scholar و SID مقالات از ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۲ با استفاده از کلید واژه‌های: کربوهیدرات‌ها، مصرف کربوهیدرات‌ها در حین رقابت، تاثیر کربوهیدرات‌ها بر عملکرد، تأثیر محلول‌های الکترولیتی کربوهیدراتی در حین رقابت، پیشنهادت کربوهیدرات برای بهبود عملکرد، کربوهیدرات و گلیکولیز، کربوهیدرات و عملکرد ورزشکاران بدون محدودیت زبان جستجو و وارد مطالعه شد. علاوه‌براین، منابع مقاله‌های استخراج شده به‌صورت دستی جستجو شدند. همچنین معیار های 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 می باشند و مقالات به جز این دو زبان از تحقیق حذف خواهند شد.

مقالاتی که علمی ترویجی یا همایش بودند از تحقیق حذف خواهند شد.

[1]. Periodization Nutrition

مقالاتی که در در مجلات نامعتبر بودند حذف خواهند شد. بدین منظور ISSN تمام مقالات در سایت معتبر impactfactor.ir مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها

زمانبدی 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 زمان‌بندی 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 نیاز های 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 آن ها 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 می شود 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 آن ها در هر دوره‌ای از تمرین باشد.

اکثر ورزشکاران تمایل دارند قبل از فعالیت ورزشی خود بارگیری کربوهیدرات انجام دهند و آن ها علاقه ای به مصرف کربوهیدرات ها در حین رقابت‌های ورزشی ندارند. شواهد زیادی در دهه‌های اخیر نشان داده‌اند که مصرف کربوهیدرات ها 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 می‌کنند گلوکز خون افزایش و این افزایش گلوکز خون باعث ترشح انسولین از پانکراس می‌شود (۲۳). یکی از سازوکارهای انسولین این است که HSL[1] 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 زمانی‌که انسولین افزایش می‌یابد فعال می شود و باعث عدم فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده 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 آنزیم های مرتبط با اکسیداسیون کربوهیدرات ها ب) افزایش فعالیت چرخه گلیکولیز شود (۲۶).

همچنین مصرف کربوهیدرات‌ها می‌توانید 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 تاثیر 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 به‌صورت 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 کربوهیدرات ها می‌تواند باعث بهبود سیستم ایمنی بدن

[1] Hormone-sensitive lipase

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 می تواند باعث بهبود عملکرد سیستم ایمنی هم شود (۳۲, ۳۳). تانیساوا[1] و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیق خود گزارش کردند که مصرف کربوهیدرات می‌تواند در ورزشکاران استقامتی باعث افزایش سایتوکین های 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[2] 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 گذارد در بهبود عملکرد و تحمل ورزش در ورزشکاران، استفاده از کربوهیدرات ها 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 دوره ای 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 می شود. بنابراین، فرد مسلما 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 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.

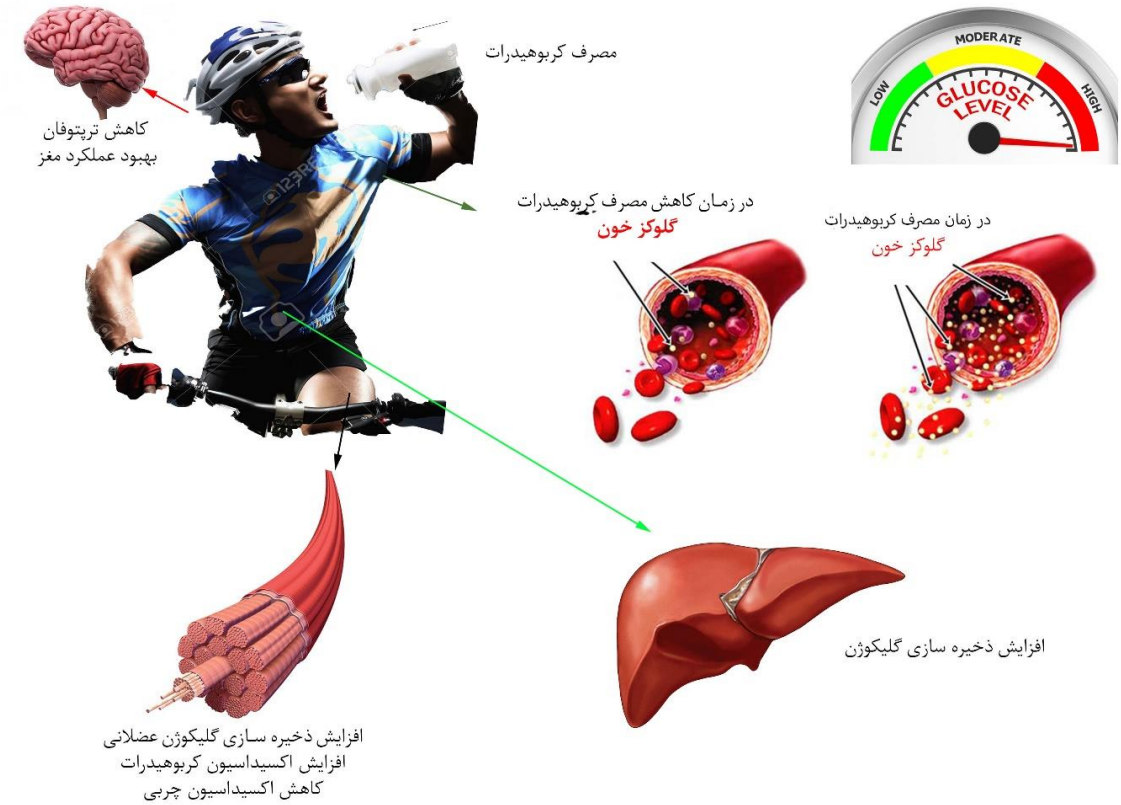
اهمیت جنسیت در زمان‌بندی مصرف کربوهیدرات و تأثیر بر عملکرد ورزشی

اخیراً ثابت شده است که این ایده طبیعی بودن در بین جنسیت‌ها نادرست است زیرا تحقیقات نشان داده است که تفاوت‌های متابولیکی زیادی بین جنسیت‌ها وجود دارد که از تفاوت‌های هورمونی ذاتی ناشی می‌شود. به‌طور خاص، به نظر می‌رسد که نقش استرادیول واسطه این تفاوت‌های متابولیکی 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 تخمدان ها ترشح می‌شود و در زمان تخمک‌گذاری به اوج خود می‌رسد (۴۴). استرادیول علاوه‌بر کمک به رشد، با آنزیم‌های مختلفی که در متابولیسم انرژی نقش دارند نیز مرتبط است. علاوه‌بر 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 می رسد 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 می شود، اما تفاوت های جنسیتی در حساسیت به انسولین خارج از محدوده این مقاله است. علاوه‌بر این، هنوز هیچ مطالعه ای در مورد ارزیابی تفاوت در فعالیت گلیکوژن سنتاز یا آنزیم انشعاب انجام نشده است. آگاهی از تغییرات این آنزیم ها می تواند به درک تفاوت های متابولیکی

[1]. Tanisawa
[2]. Windsor

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 ورزشکاران زن ظرفیت جبران فوق‌العاده 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 ذخیره‌سازی 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.



شکل (۳): طرح شماتیک کلی تاثیر کربوهیدرات‌ها بر عضله و مغز (۲۸, ۳۰)

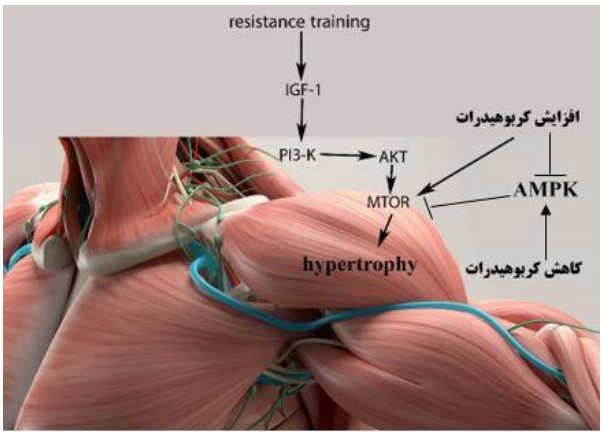
اهمیت زمان‌بندی مصرف کربوهیدرات بر عملکرد هوازی و بی‌هوازی

در تحقیقی گزارش شده است که مصرف ۲۰ گرم کربوهیدرات می تواند برای بهبود عملکرد و کاهش خستگی، مفید باشد (۵۰, ۵۱). لازم به ذکر است که تحقیقات بسیار ضد و نقیض می باشد، به‌طوری‌که 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 تاثیر (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 دستورالعمل های کالج پزشکی ورزشی آمریکا (ACSM) بیان می کند 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 فعالیت های ورزشی طولانی‌مدت می‌تواند با دوز های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ گرم در ساعت در

حین رقابت با توجه به‌شدت و مدت فعالیت مصرف شود (۵۲). برای فعالیت‌های ورزشی که کمتر از ۶۰ دقیقه است استفاده از کربوهیدرات‌های اگزوژن پیشنهاد نمی شود. (۵۳, ۵۴). برای فعالیت هایی که بین ۱ تا ۲/۵ ساعت به طول می‌انجامد 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 محلول‌ها استفاده کنید (۵۵). در تأیید این یافته‌ها کویل در تحقیق خود عنوان کرد که برای رقابت‌های ورزشی که زمان آن‌ها 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 رقابت‌های ورزشی میزان دوز مصرفی کربوهیدرات‌ها باید افزایش یابد که در تائید این نکته جاگر و همکاران در یافته‌های پژوهشی خود عنوان کردند که برای رقابت‌هایی 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 حرفه‌ای مشخص شد که آن ها در هنگام رقابت‌های ورزشی خود از ۹۰ گرم کربوهیدرات در هر ۱ ساعت استفاده می‌کردند (۵۸, ۵۹) که در این راستا بار و همکاران (۲۰۰۸) و هارسیس (۲۰۱۸) در تحقیق خود عنوان کردند که برای فعالیت‌های پرشدت طولانی مدت پیشنهاد می‌شود بین (۷۰تا ۸۰گرم در ساعت) از کربوهیدرات اگزوژن استفاده شود که این عامل می‌تواند باعث بهبود عمکلرد و افزایش اکسیداسیون کربوهیدرات‌ها شود (۱۷, ۱۸). در نظرسنجی تعدادی از ورزشکاران نخبه در این نظرسنجی عنوان کردند که در زمانی که از کربوهیدرات‌ها به‌صورت مایع و ژل استفاده می‌کردند عمکلرد آن‌ها 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 رقابت‌های 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 موفقت 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 شود. همچنین باعث می شود سرعت گلیکوژلیز و گلیکولیز بیش از حد افزایش یابد و فرد مجبور است کربوهیدرات بیشتری را مصرف کنید 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 (کربروهیدرات به ازاری 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 ۳ساعت است (فوق استقامتی) پیشنهاد شده است مصرف کربوهیدرات ها در حین رقابت پایین باشد. در این رقابت ها اکسیداسیون سوغت غالب است و اصولا ورزشکاران با کمتر از ۷۰٪ vo2max خود فعالیت انجام می دهند (۶۳). در این رقابت ها شدت فعالیت بین ۵۰ تا ۶۵٪ vo2max 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 بدوند 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 مسیرهای 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, ۷۰). گرچه تحقیقات بسیار ضد و نقیض هستند ولیکن مشخص شده است در حین تمرینات مقاومتی عدم مصرف کربوهیدرات ها از هایپرتروفی عضلانی جلوگیری می کند و تجزیه پروتئین های عضلانی را افزایش می دهد (۷۱, ۷۲). زمانی که در حین فعالیت

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 حوزه انجام شده و نمی توان مقدار مشخصی را برای مصرف کربوهیدرات در حین تمرینات مقاومتی پیشنهاد کرد (شکل۴ را مشاهده کنید).



شکل (٤): طرح شماتیک کلی تاثیر کربوهیدرات ها بر هایپرتروفی (۷۱, ۷۲)

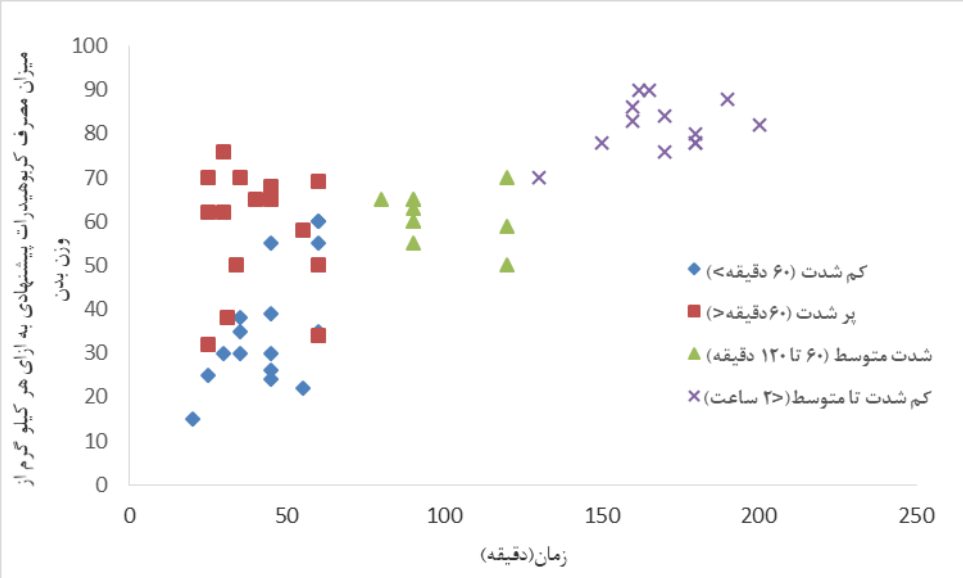
یکی از نکاتی که ورزشکاران باید آن را در مصرف کربوهیدرات ها رعایت کنند این است که باید در حین رقابت از کربوهیدرات با شاخص گلایسمیک بالا استفاده کنند. کربوهیدرات ها دارای شاخص‌های گلایسمیک (GI[5]) بالا و پایین هستند. رعایت زمانبندی و استفاده از شاخص های گلایسمیک می تواند منجر به بهبود یا کاهش عمکلرد ورزشکاران در زمان رقابت شود. نکته ای که در مصرف کربوهیدرات ها وجود دارد شاخص گلایسمیک کربوهیدرات ها است که در صورت رعایت نکردن زمانبندی 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 گلایسمیک 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 گلایسمیک 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 گلایسمیک 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 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 زمانبندی کربوهیدرات ها دانست. اکثر ورزشکاران در این تفکر هستند که استفاده از کربوهیدرات قبل از ورزش یا رقابت می تواند منجر به بهبود عمکلرد آن ها شود. این تفکر درست است اما در صورت رعایت کردن نوع زمانبندی مصرف کربوهیدرات ها. این افت ناگهانی گلوکز خون یا بازگشت سریع گلوکز خون نام دارد (۷۵). اما این موضوع در حین رقابت متفاوت است. ورزشکارانی که در حین رقابت از شاخص گلایسمیک بالا استفاده کنند گلوکز خون آن ها سریع افزایش می باید که این عامل می تواند باعث بهبود عمکلرد 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 گلایسمیک پایین تا متوسط باشد (ایده آل) و برای فعالیت های ورزشی که شدت فعالیت بالا ۷۰٪ vo2max است پیشنهاد می شود کربوهیدرات با شاخص گلایسمیک 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).

[5] Glycemic indices

[6] glucose rebound

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 هرکیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلایسمیک پایین)	مایع و ژل محلول ۶تا۸٪
کمتر از ۱ ساعت	بالا ۷۰٪ $\dot{V}O_2$ max (شدت بالا)	۳۰ تا ۶۰ گرم هر ۱۰ تا ۱۵ دقیقه به ازای هرکیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلایسمیک 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 هرکیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلایسمیک 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 هرکیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلایسمیک 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 هرکیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلایسمیک 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 بگذراد : ۳۰ تا ۶۰ گرم در هر ۱۵ دقیقه به ازای هرکیلو گرم از وزن بدن (شاخص گلایسمیک 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

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

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. درغیر 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 در هر ساعت را دارد. با این حال پیشنهاد می شود محققان در آینده تاثیر شاخص های گلایسمیک مختلف را در حین رقابت بر عملکرد ورزشکاران مورد بررسی قرار دهند.

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

سهم 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 منافعی وجود ندارد.

منابع

[1] Paulsen G, Cumming KT, Holden G, Hallén J, Rønnestad BR, Sveen 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

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 Geneeskd. 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, Golledge J, Russell FD, et al. Cytokine Responses to Acute Exercise in Healthy Older Adults: The Effect 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] Hearris 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, Hearris 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, Kovaleski 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 [13C]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 fur Sportmedizin und Sporttraumatologie. 2003;51(1):39-46.
[49] Friedlander AL, Casazza GA, Horning MA, Huie MJ, Piacentini MF, Trimmer JK, et al. Training-

[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.
[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.