المپیک
نشریه آموزشی / پژوهشی
سال اول ـ شماره دوم
سال ۱۳۷۲

# کربوهیدراتها و ورزش

نگارش: عباسعلی گائینی
دانشجوی دورهٔ دکتری دانشگاه تربیت مدرس

در یک تغذیه مناسب و در میان بسیاری از مواد موردنیاز بدن، تنها کربوهیدراتها، چربیها و پروتئینها قادر به تأمین انرژی موردنیاز بدن هستند. ترکیب این سه منبع انرژی در هنگام ورزش‌کردن، بستگی زیادی به فشار تمرینات ورزشی، وضع تغذیه و آمادگی فرد ورزشکار دارد (اسکات، هاسون و ویلیامز ۱۹۸۹). در گذشته، تصور می‌شد که تنها منبع انرژی برای فعالیتهای بدنی کربوهیدراتها هستند، ولی تحقیقات اخیر نشان داده است که کربوهیدراتها فقط در تمرینات ورزشی سنگین و زمانی که عضلات از نظر ذخیرهٔ اکسیژن در محدودیت هستند، نقش عمده‌ای به عهده دارند. در شرایطی از تمرین که فرد در حالت یکنواخت به سر می‌برد، در حدود نیمی از انرژی را چربیها تأمین می‌کنند (بریج وکالدوی ۱۹۸۴).

در حال استراحت و در طول تمرینات ـ در هر درجه‌ای از شدت که باشد ـ پروتئینها منبع اولیهٔ سوخت به شمار نمی‌روند، مگر این که وضعیت تغذیه‌ای فرد

ورزشکار به هم بخورد (اسکات، هاسون و ویلیامز ۱۹۸۹). به طورکلی، اسیدهای آمینه ممکن است بیش از ۱۴ درصد کل انرژی مصرفی افراد غیر ورزشکار و ۱۰ تا ۱۲ درصد از انرژی افراد ورزشکار در حال استراحت را تأمین کنند. نسبت آن مقدار از انرژی مصرفی که در طول فعالیتهای ورزشی از اسیدهای آمینه تأمین می‌شود، خیلی کم (۳ تا ۵ درصد) است (بریج و کالدوی ۱۹۸۴). بنابراین، تولید ATp در بدن ورزشکاران، در وهلهٔ اول از طریق اکسیداسیون دو منبع اصلی کربوهیدراتها و چربیها صورت می‌گیرد. این موضوع در تحقیقات اولیه‌ای که توسط آقایان کروخ ولیندها رد (در سال ۱۹۲۰) و کریستنن و هانس (در سال ۱۹۳۹) انجام گرفت، نشان داده شده است.

هدف اصلی این مقاله، بررسی نقش کربوهیدراتها در بدن به هنگام ورزش است؛ از این رو، نخست به توصیف کربوهیدراتها می‌پردازیم و آنگاه نقش و اهمیت آنها را در فعالیتهای ورزشی و چگونگی افزایش ذخایر کربوهیدراتها در بدن بررسی خواهیم کرد.

## کربوهیدراتها به عنوان سوخت اصلی بدن

### ۱ـ خاصیت کربوهیدراتها

#### الف) تولید انرژی

انرژی، نیاز اصلی زندگی است. در واقع انرژی توانی است که موجود زنده با برخورداری از آن، می‌تواند به انجام کارهایش بپردازد. سوخت اساسی و اصلی جهت تأمین انرژی در بدن انسان، کربوهیدراتها هستند.

#### ب) اهمیت تغذیه‌ای

بیشترین رژیمهای غذایی، متعلق به کربوهیدراتهاست. این امر چندین دلیل عملی دارد: نخست آنکه این مواد به طور گسترده‌ای در دسترسند و به آسانی در غلات، سبزیها و میوه‌ها ذخیره می‌شوند. در بعضی از کشورها، تقریباً تمام رژیم غذایی افراد را کربوهیدراتها تشکیل می‌دهند.

دوم‌اینکه کربوهیدراتها کم‌وبیش ارزانتر هستند. و سوم، کربوهیدراتها در مقایسه با سایر مواد غذایی راحت‌تر ذخیره می‌شوند. غذاهای دارای کربوهیدرات را می‌توان برای مدتی طولانی، حتی در انبارهای مرطوب، بدون اینکه فاسد شوند نگهداری کرد.

**ج) تعریف**

نام کربوهیدراتها از فرمول شیمیایی آنها گرفته شده که حاصل ترکیب عناصرکربن، هیدروژن و اکسیژن هستند. نسبت هیدروژن به اکسیژن در کربوهیدراتها معمولاً شبیه آب است ( $CH_2O$ ).

**۲ـ طبقه‌بندی کربوهیدراتها**

کربوهیدراتها براساس تعداد قندهای سادهٔ موجود در آنها (ساکاریدها) طبقه‌بندی می‌شوند. انواع کربوهیدراتها عبارتند از:

**الف) منوساکاریدها**

ساده‌ترین شکل کربوهیدراتها، منوساکارید است و اغلب با عنوان قند ساده (تک قند) خوانده می‌شوند. گلوکز، فروکتوز و گالاکتوز سه منوساکارید مهم در تغذیه انسان است.

**۱. گلوکز.** این منوساکارید که به طور عمده از هضم نشاسته در بدن به وجود می‌آید، فقط در تعداد اندکی از غذاها به شکل طبیعی یافت می‌شود. تمام انواع قندها در بدن انسان به گلوکز تبدیل می‌شوند. این قند که همان قند موجود در خون است، «دکستروز» هم خوانده می‌شود. مقدار طبیعی آن در حدود ۳/۹ تا ۶/۱ میلی مول در لیتر (۷۰ تا ۱۱۰ میلی‌گرم در دسی‌لیتر) است. گلوکز سوخت اصلی بدن است و در داخل سلولها اکسیده می‌شود تا انرژی تولید کند.

**۲. فروکتوز.** شیرین‌ترین قند ساده، فروکتوز است که بیشتر در میوه‌ها و مواد دیگری از قبیل عسل یافت می‌شود. در متابولیسم بدن انسان، فروکتوز به گلوکز تبدیل می‌شود و برای تولید انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**۳. گالاکتوز.** نوعی قند سادهٔ دیگر است که به طور طبیعی در غذاها یافت نمی‌شود، بلکه در دستگاه گوارش انسان و از لاکتوز (قند شیر) به وجود می‌آید و بعد از تغییر شکل، انرژی تولید می‌کند.

**ب) دی ساکاریدها**

دی ساکاریدها، قندهایی هستند که از دو منوساکارید به هم پیوسته به وجود می‌آیند. سه دی‌ساکارید مهم فیزیولوژیکی، ساکارز، لاکتوز و مالتوز هستند.

**۱. ساکارز.** بیشترین دی‌ساکاریدها، از نوع ساکارز است. با استفاده از رژیمهای غذایی مخلوط، ۳۰ تا ۴۰ درصد از کل کالری مصرفی را ساکارز تشکیل می‌دهد. ساکارز در تمام مواد غذایی قندی یافت می‌شود؛ از جمله در بعضی از میوه‌ها و سبزیها مثل هویج.

**۲. لاکتوز.** قند موجود در شیر، لاکتوز خوانده می‌شود. لاکتوز در داخل بدن انسان هنگامی شکل می‌گیرد که در لاکتاسیون (ترشح شیر) از گلوکز، برای ذخیره اجزای قندی مورد نیاز شیر استفاده می‌شود و از کمترین مقدار شیرینی برخوردار است (در حدود $\frac{1}{16}$ شیرینی ساکارز). وقتی شیر از حالت اولیه خود تغییر شکل می‌دهد، مثلاً تبدیل به پنیر می‌شود، ذخیرهٔ قند آن نیز تغییر می‌کند. بنابراین، شیر در فرم لاکتوز از نسبت بالای کربوهیدرات برخوردار است اما در نوع دیگری از محصولات اصلی مثل پنیر قند آن خیلی کم و یا اصلاً فاقد قند است.

**۳. مالتوز.** مالتوز در محصولات مالت (حاوی جو) از شکسته شدن نشاسته به وجود می‌آید و در دانه‌های گیاهی تازه روییده یافت می‌شود. با وجود آنکه این ماده در رژیمهای غذایی کربوهیدراتی سهم ناچیزی دارد، ولی به عنوان عامل واسطه‌ای در هضم نشاسته، نقش بسیار مهمی در متابولیسم کربوهیدراتها دارد.

**ج) پلی‌ساکاریدها**

این دسته از ساکاریدها از آن جهت پلی‌ساکارید نام گرفته‌اند که از تعداد زیادی قند ساده (ساکارید) ساخته می‌شوند. نشاسته مهمترین پلی‌ساکارید در تغذیهٔ انسان است. دیگر پلی‌ساکاریدها، گلیکوژن و دکسترین هستند. انواع دیگری از پلی‌ساکاریدها که قابلیت غذایی ندارند، ولی مقدار زیادی از تغذیه را تشکیل می‌دهند، سلولز و دیگر پلی‌ساکاریدهای غیرسلولزی هستند.

**۱. نشاسته.** بیشترین مقدار پلی‌ساکارید در تغذیه انسان را نشاسته تشکیل می‌دهد و در اثر هضم آن، فقط گلوکز به دست می‌آید. نشاسته فراوانترین مقدار ذخایر کربوهیدراتها را نیز به خود اختصاص می‌دهد. نقش نشاسته به عنوان یک عامل عمده در تغذیهٔ انسان و سلامتی او بخوبی معلوم شده‌است؛ برای مثال، در توصیه‌های مربوط به اصول علمی تغذیه، تأکید شده است که ۵۰ تا

۶۰ درصد کل ارزش کیلوکالریها از کربوهیدراتها تأمین شود و بیشترین سهم این کربوهیدراتها را نشاسته تشکیل می‌دهد. در بعضی از کشورها، سهم کربوهیدراتها در تغذیه، حتی از این مقدار هم بیشتر است. مهمترین منابع غذایی نشاسته عبارتند از: دانه‌های غلات، حبوبات، سیب‌زمینی و بعضی دیگر از سبزیها.

**۲. گلیکوژن.** این پلی‌ساکارید از متابولیسم سلولی شکل می‌گیرد و در کبد و بافت عضلانی ذخیره می‌شود. این ذخایر به حفظ مقدار طبیعی گلوکز خون در طول دوره‌های ثابت مصرف انرژی (مانند ساعات خواب و روزه‌داری) کمک می‌کنند و به عنوان سوخت فوری برای عمل عضلات مصرف می‌شود. کربوهیدراتی که مصرف می‌شود برای حفظ ذخایر گلیکوژن مورد نیاز و جلوگیری از نشانه‌های کمبود کربوهیدرات (خستگی ـ دهیدراسیون[1] و کاهش انرژی) و دیگر آثار متابولیکی ناخواسته از قبیل «کتواسیدوز»[2] و افراط در تجزیهٔ پروتئینها، ضروری است.

**۳. دکسترین.** پلی‌ساکاریدی است که به عنوان عامل واسطه در تجزیهٔ نشاسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. تجزیهٔ نشاسته به طور دائمی در جریان هضم و جذب صورت می‌گیرد.

### ۳ـ عملکرد کربوهیدراتها

#### الف) انرژی

چنانکه گفتیم، کار اصلی کربوهیدراتها، فراهم آوردن سوخت کافی جهت تولید انرژی است. چربی نیز نوعی مادهٔ سوختی است، ولی بدن فقط به مقدار کمی از آن، آن هم به طور عمده برای تولید اسیدهای چرب ضروری (FFA)، نیاز دارد. با وجود این، بافتهای بدن برای اینکه بتوانند وظایفشان را به نحو شایسته انجام دهند، به نوعی رژیم غذایی روزانه نیاز دارند که ۵۰ تا ۶۰ درصد آن را کربوهیدراتها تشکیل می‌دهد.

وجود کربوهیدرات در بدن، حتی به مقدار کم، برای نگهداری ذخایر انرژی، بسیار مهم است؛ به عنوان مثال، یک مرد بزرگسال در حدود ۳۰۰ تا ۳۵۰ گرم ذخایر گلیکوژنی در کبد و بافت

---

۱. کمبود شدید آب بدن را دهیدراسیون می‌گویند.

۲. غلظت زیاد غیرطبیعی اجسام کتونی (کتونها) در بافتها و مایعات بدن که نوعی عارضه ناشی از کمبود کربوهیدرات، افزایش مقدار قند خون و گرسنگی است.

عضلانی دارد. این مقدار در خون، در حدود ۱۰ گرم به صورت گلوکز است. کل این مقدار گلوکز و گلیکوژن روی هم، انرژی لازم را برای فعالیتهای یک نیم‌روز انسان فراهم می‌آورد. بنابراین، باید غذاهای کربوهیدراتی به طور منظم مصرف شوند.

**ب) عملکرد اختصاصی کربوهیدراتها در بافتهای بدن**

کربوهیدارتها نه تنها در تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز بدن نقش مهمی دارند، بلکه در بسیاری از بافتهای بدن تأثیراتی دارند که عبارتند از:

**۱. ذخیره کردن گلیکوژن.** همان‌طور که یادآور شدیم، گلیکوژن ذخیره شده در عضلات و کبد، با سیستم تعادل انرژی بدن مبادله دائمی دارند. به همین علت، این ذخایر، سلولها را از ضعف عملکرد متابولیکی و صدمات مصون می‌دارد.

**۲. صرفه‌جویی در استفاده از پروتئین.** کربوهیدراتها به تنظیم پروتئینها کمک می‌کنند. حضور کافی کربوهیدراتها از نقل و انتقال بیش از حد پروتئینها برای تأمین انرژی مورد نیاز بدن جلوگیری می‌کند. این عمل کربوهیدراتها که به حفظ ذخیرهٔ پروتئینها کمک می‌کند، باعث می‌شود قسمت اعظم پروتئینها برای هدف اصلی، یعنی شرکت در ساختمان بافتها مورد استفاده قرار گیرند.

**۴ـ هضم و جذب کربوهیدراتها**

اکثر مواد غذایی کربوهیدراتی نمی‌توانند سریع انرژی تولید کنند تا این انرژی مورد استفادهٔ سلولها قرار گیرد. این مواد نخست باید به مواد قابل سوخت و متابولیسم یعنی گلوکز تبدیل شوند و بعد، سلولها بتوانند از آنها استفاده کنند. هضم و جذب کربوهیدراتها در دستگاه گوارش طی دو روند زیر انجام می‌شود.

**الف)** روند مکانیکی که متکی بر عملکرد عضلات سیستم گوارشی است و طی آن، تودهٔ غذایی به بخشهای کوچکتری تبدیل می‌شود؛

**ب)** روند شیمیایی که با تأثیر آنزیمهای اختصاصی بر مواد غذایی و تبدیل آنها به محصولات متابولیکی کوچکتر و قابل استفاده صورت می‌گیرد. خلاصه‌ای از هضم و جذب کربوهیدراتها در جدول شمارهٔ یک نشان داده شده است.

### ۵ـ متابولیسم کربوهیدراتها

سلولها، واحدهای فعال زندگی در بدن انسان هستند. در تغذیهٔ سلولی، مهمترین محصول نهایی هضم و جذب کربوهیدراتها، گلوکز است. دو منوساکارید دیگر، یعنی فروکتوز و گالاکتوز احتمالاً به گلوکز تبدیل می‌شوند. کبد جایگاه اصلی دستگاه متابولیکی پیچیده‌ای است که حاصل آن گلوکز است؛ با وجود این متابولیسم انرژی در تمام سلولها ادامه می‌یابد. گلوکز در داخل سلولها می‌سوزد و تبدیل به انرژی می‌شود (این عمل به واسطهٔ سلسله‌ای از اعمال شیمیایی و تحت تأثیر آنزیمهای اختصاصی سلول میسر می‌شود) و سرانجام انرژی تولید شده، برای انجام کارهایشان در دسترس سلولها قرار می‌گیرد. ممکن است مقداری از گلوکز اضافی که جهت تولید انرژی مورد نیاز نیست به چربی تبدیل شود و به عنوان ذخیرهٔ سوختی در بدن باقی بماند.

جدول ۱ـ هضم و جذب کربوهیدراتها

| اندام | آنزیم | عمل |
|---|---|---|
| دهان | پتیالین | نشاسته ← دکسترین ← مالتوز |
| معده | هیچ | (عمل بالا در حد کمتری ادامه می‌یابد) |
| روده کوچک | آمیلازپانکراس | نشاسته ← دکسترین ← مالتوز |
| | روده‌ای: | |
| | سوکراز | ساکارز ← گلوکز + فروکتوز |
| | لاکتاز | لاکتوز ← گلوکز + گالاکتوز |
| | مالتاز | مالتوز ← گلوکز + گلوکز |

### نقش کربوهیدراتها در فعالیتهای ورزشی

چربیها و پروتئینها در حفظ سلامتی عمومی بدن نقش مهمی دارند، در حالی که برای حمایت از تولید انرژی در تمرینات ورزشی، کربوهیدراتها غذای اصلی محسوب می‌شوند. در واقع، کربوهیدرات سوخت اصلی و مادهٔ غذایی حیاتی برای افراد فعال است. با وجود این افراد فعال و

ورزشکار نسبت به افراد غیرفعال به پروتئین و چربی هم نیاز بیشتری دارند (ویلیامز ۱۹۹۰). نسبت زیر به طور تقریبی، ترکیب رژیم غذایی توصیه شده برای حمایت از فعالیتهای ورزشی است:

**پروتئین:** ۱۰ تا ۱۵ درصد کل کیلوکالری (۱ تا ۱/۵ گرم به ازای هر کیلوگرم)

**چربی:** ۳۰ درصد کل کیلوکالری

**کربوهیدرات:** ۵۵ تا ۶۰ درصد کل کیلوکالری

**اهمیت کربو هیدراتهای ترکیبی**

کربوهیدراتهای که ورزشکاران مورد استفاده قرار می‌دهند، به طور عمده باید از نوع کربوهیدراتهای ترکیبی باشند. کربوهیدراتهای ترکیبی (نشاسته ها) در مقایسه با قندهای ساده به دلایل زیر اهمیت بیشتری دارند: مراحل هضم کربوهیدراتهای ترکیبی طولانی‌تر است، لذا برای نگهداشتن ذخیره گلوکز خون امکان بیشتری فراهم می‌آورند و ترجیحاً به گلیکوژن تبدیل می‌شوند. اما قندهای ساده برای حفظ ذخایر گلیکوژن بدن از کفایت کمتری برخوردار هستند. آنها به طور عمده تبدیل به اسیدهای چرب و عمدتاً به صورت چربی تا گلیکوژن ذخیره می‌شوند. علاوه بر این قندهای ساده سبب پاسخ قوی به انسولین می‌شوند که با خطرهایی مانند «هیپوگلیسمی» همراه است.

ناگفته نماند که کربوهیدراتهای ترکیبی، بخوبی نیازهای ویتامینی و املاح معدنی را تأمین می‌کنند (ویلیامز ۱۹۹۰)

**سهم کربوهیدراتها در تأمین انرژی فعالیتهای مختلف ورزشی**

به طور کلی همکاری نسبی مواد غذایی سوختی برای تولید انرژی کامل برای ورزشکاران تحت تاثیر عواملی مانند: وضعیت بدنی و تمرینات ورزشی، وضع تغذیه و رژیم غذایی و فشار و مدت تمرینات ورزشی قرار می‌گیرند (اسکات، هاسون و ویلیامز ۱۹۸۹). در یک بررسی دیگر، مارلین پترسون و کیت پترسون (۱۹۸۸) به این نتیجه رسیدند که شدّت و مدّت فعالیت مشخص می‌کند که برای تولید انرژی باید از چه نوع مواد سوختی استفاده شود. با تغییر سنگینی کار، درخواست تأمین سوخت نیز تغییر می‌کند؛ به عنوان مثال، با بالارفتن شدت فعالیت و افزایش

حداکثر اکسیژن مصرفی تا میزان ۶۰ درصد با یک رژیم غذایی مخلوط طبیعی، حدود یک دوم انرژی از کربوهیدراتها فراهم می‌شود. به محض اینکه شدت فعالیت بیشتر می‌شود و تا ۹۰ درصد حداکثر اکسیژن افزایش می‌یابد، سهم تأمین انرژی از کربوهیدراتها به حدود ۱۰۰ درصد می‌رسد. در دقایق اولیه بعضی از تمرینات، گلوکز خون منبع سوخت اصلی است. با ادامهٔ فعالیت، بدن گلیکوژن موجود در کبد و سلولهای عضلات را مورد استفاده قرار می‌دهد. در این شرایط، گلیکوژن کبد، مقدار گلوکز خون را تنظیم می‌کند؛ در حالی که منابع گلیکوژن عضله به طور مستقیم توسط خود عضله مصرف می‌شود (پترسون و پترسون ۱۹۸۸). تحقیقات دیگری که در این زمینه انجام شده، نشان می‌دهد که در تمرینات دراز مدت با شدت کم (کمتر از ۵ درصد $VO_2$ Max) جهت تولید انرژی (ATP) به منظور انقباض عضلات اسکلتی، هم چربیها و هم کربوهیدراتها مورد استفاده قرار می‌گیرند. با کاهش شدت کار و طولانی شدن زمان تمرین، درصد بیشتری از اسیدهای چرب آزاد (FFA) برای تولید ATP بسیج می‌شوند (کریستنسن و هانس ۱۹۳۹، پاول ۱۹۷۵ و پروت ۱۹۷۰) هنگامی که از زمان تمرین کاسته و بر شدت آن افزوده می‌شود (بیشتر از ۵۰ درصد $VO_2$ Max) سهم متابولیسم FFA برای تولید ATP کمتر می‌شود. در تمرینات سنگین یا با شدت زیاد (۷۵ تا ۹۰ درصد $VO_2$ Max) تقریباً ۲۵ درصد ATP از چربیها تأمین می‌شود (هرمانسن و دستیاران ۱۹۶۷، هولتمان ۱۹۷۱ و پروت ۱۹۷۰) و در تمرینات فوق‌العاده سنگین (بیشتر از ۱۰۰ درصد $VO_2$ Max) سهم متابولیسم FFA در تولید ATP بسیار ناچیز است (دیوید و بارنز ۱۹۷۲). سالتین و کارلسون (۱۹۷۱) نشان دادند که در شدتهای کمتر از ۴۰ تا ۵۰ درصد $VO_2$ Max، سهم گلیکوژن برای تأمین سوخت، درحد کمی است (براساس اندازه‌گیریهای گاز تنفسی). در این وضعیت، سوخت اصلی برای تولید انرژی، چربیها هستند. همان‌طور که شدت تمرین افزایش می‌یابد، سهم مربوط به تأمین سوخت، به سوی گلیکوژن عضله تمایل پیدا می‌کند. در شدت تمرین ۹۰ تا ۹۵ درصد $VO_2$ Max، کربوهیدراتها بیشتر از ۹۵ درصد کل انرژی مصرفی را فراهم می‌آورند (شکل ۱).

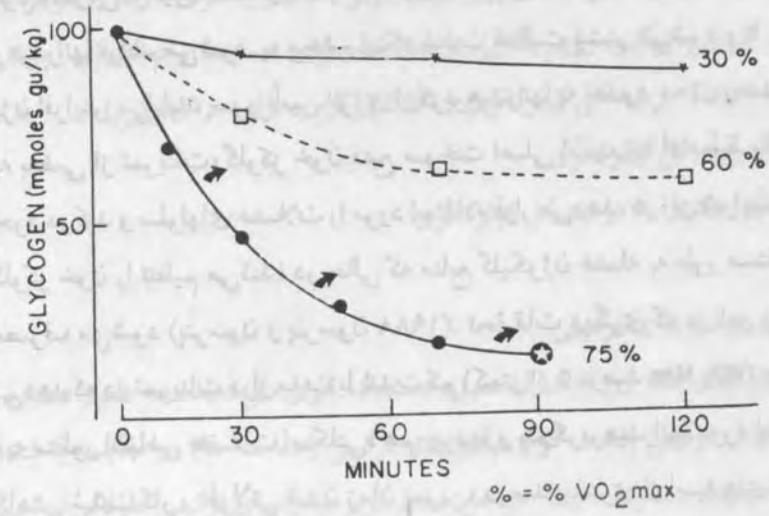


**Figure 1—Depicts the pattern of muscle glycogen depletion (vastus lateralis) during cycling exercise at various exercise intensities (% $\dot{V}O_2max$). The arrows indicate the direction in which the pattern of muscle glycogen depletion shifts during exercise following muscle glycogen supercompensation. (Adapted from "Muscle Glycogen Utilization During Work of Different Intensities" by B. Saltin and J. Karlsson, *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1971, 11, 289-299.)**

## غنی‌سازی منابع گلیکوژن

همان‌طور که می‌دانیم، مقدار ذخایر قندی در بدن انسان محدود است و بر اثر یک فعالیت ورزشی نسبتاً شدید، این ذخایر سریع به پایان می‌رسد. به عنوان مثال، یک شخص بالغ بزرگسال را در نظر بگیرید که در حدود ۳۰کیلوگرم عضله دارد و در هنگام ورزش، ۶۰ درصد از تودهٔ عضلاتش فعالند؛ برای محاسبه کالری ذخیره‌ای بالقوهٔ او از گلیکوژن موجود در عضلات، به روش زیر عمل می‌شود (پترسون و پترسون ۱۹۸۸):

۴ ×گرم گلیکوژن در هر ۱۰۰ گرم عضله ۱/۷۵ × (۳۰کیلوگرم) گرم عضله ۳۰۰۰۰
= (عضلات فعال) ۶۰٪ ×کیلوکالری به ازای هر گرم گلیکوژن
کیلوکالری انرژی بالقوه ۱۲۶۰

اگر تمام گلیکوژن ذخیره شده برای تمرین مورد استفاده قرار گیرد، در حدود ۱۲۶۰ کیلوکالری انرژی در دسترس است که برای یک دوی ۱۲ مایلی کفایت می‌کند.

این محدودیت ذخایر گلیکوژن، پژوهشگران را مجبور ساخته است تا نحوهٔ افزایش این منبع را مورد بررسی قرار دهند.

**الف) تاریخچهٔ غنی‌سازی مواد قندی بدن**

در هنگام فعالیتهای ورزشی، بهره‌برداری عضلات از سوختهای متابولیکی برای انقباض عضلانی، همواره یک موضوع مهم تحقیقی بوده است؛ زیرا منابع سوخت داخل عضله، در ظرفیت تولید نیروی عضلانی نقش مهمی بازی می‌کنند. در سال ۱۹۳۹ کریستنسن و هانس در مورد تأثیر شدت تمرین در استفاده از چربی و کربوهیدرات توسط عضلات و آثار رژیمهای غذایی پرچربی و پرکربوهیدرات بر ظرفیت انجام تمرینات هوازی (طولانی مدت) تحقیقاتی انجام دادند. آنها دیدند که با افزایش شدت تمرین، سهم منسوب به کربوهیدراتها به عنوان سوخت عضلانی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، سه روز استفاده از رژیم غذایی کم کربوهیدرات، زمان تمرین تا آستانه خستگی شدید را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. در حالی که سه روز بهره‌گیری از رژیم غذایی کم کربوهیدرات، زمان تمرین تا آستانهٔ خستگی شدید را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (۸۰ دقیقه در مقابل ۲۱۰ دقیقه). آنها این ظرفیتهای متفاوت در انجام تمرینات را با آثار رژیمهای غذایی یاد شده بر منابع کربوهیدرات بدن مربوط دانستند و نتیجه گرفتند که «یک رژیم غذایی کم کربوهیدرات، منابع کربوهیدرات بدن را کاهش می‌دهد: در صورتی که یک رژیم غذایی غنی از کربوهیدرات، ذخایر کربوهیدرات بدن را افزایش می‌دهد». آنها تصور کردند که اثر اصلی این رژیمهای غذایی به سبب وجود تغییرات در منابع گلیکوژن کبد بوده است؛ زیرا در آن زمان تصور می‌شد که منابع کربوهیدرات عضله، فقط در طول تمرینات غیرهوازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

توسعهٔ تکنیک «بیوپسی سوزنی»[1] و معمول شدن دوبارهٔ تکنیک «بیوپسی سوراخ کن»[2] توسط برگستروم (۱۹۶۲) اجازه داد تا آزمایشهای مربوط به استفاده از سوختهای متابولیکی توسط عضلات اسکلتی، نیز گسترش یابد. تحقیقات انجام‌شده در اواخر سال ۱۹۶۰ توسط چندین محقق اسکاندیناویایی، بر اهمیت گلیکوژن عضلات به عنوان سوخت اصلی برای انجام تمرینات هوازی

1. Neeodle biopsy
2. punch - biopsy

نسبتاً شدید و طولانی مدت صحه گذاشت. آنها نشان دادند که ظرفیت انجام تمرین در شدتهای بین ۷۰ تا ۸۰ درصد $VO_2$ Max بیش از تمرین، به مقدار گلیکوژن عضله مربوط می‌شود.

بر این اساس، بسیاری از پژوهشگران، رابطهٔ بین تمرینات و تغذیه کربوهیدرات را روی دوباره سازی گلیکوژن عضله در وضعیتهای مختلف، آزمایش کرده‌اند؛ مانند رژیم پرکربوهیدرات، رژیم کم کربوهیدرات و دورهٔ پرهیز کردن از خوردن مواد کربوهیدراتی (روزه گرفتن).[1] علاوه براین، بسیاری از محققین تلاش کرده‌اند تا برای افزایش ذخایر گلیکوژن عضله به مقدار بیشتر از حد طبیعی بهترین رژیم غذایی را طراحی کنند. این پدیده را ذخایر گلیکوژن «بیش جبران شده یا غنی شده»[2] نامیده‌اند که بدین‌ترتیب، صرفه‌جویی در مصرف گلیکوژن جهت افزایش اجرای فعالیت ورزشی بعدی امکان‌پذیر می‌شود (ویلیام. ام . شرمن ۱۹۸۳).

نخستین گزارش منتشر شده دربارهٔ بیش جبرانی گلیکوژن عضلهٔ انسان، به سال ۱۹۶۷ بر می‌گردد. در آن سال، دو دانشمند به نامهای «برگستروم» و «هولتمان» یک پای فرد دوچرخه‌سواری را با شدت تمرین برابر با ۷۵ درصد $VO_2$ Max وادار به تمرین کردند تا بشدت خسته شد. پس از آن، طی سه روزی که دوچرخه‌سوار در حال استراحت بود، یک رژیم غذایی پرکربوهیدرات را به وی تجویز کردند. عضلهٔ پهن داخلی پای دوچرخه‌سوار که بشدت خسته شده بود، در فواصل ۲۴ ساعت، به مدت ۳ روز بیوپسی شد. به این ترتیب، معلوم شد که عضله تمرین کرده، هم تخلیه و هم دوباره سازی گلیکوژن داشته است که باعث بالارفتن منابع گلیکوژن نسبت به مقدار قبل از تمرین شده است؛ یعنی بعد از سه روز، پای تمرین کرده نسبت به پای تمرین نکرده گلیکوژن بیشتری داشت. حجم گلیکوژن پای تمرین نکرده فقط به مقدار کمی تغییر کرده بود (شکل ۲).

این تحقیق، نخستین گزارش منتشر شده در خصوص «بیش جبرانی» گلیکوژن عضله در بدن انسان است، ولی «امبدون و هابز» اولین کسانی بودند که در سال ۱۹۲۷ این پدیده را اظهار کردند. البته کلمهٔ «بیش جبرانی» را «یامپول اسکایا» در سال ۱۹۵۰ ابداع کرد.

1. Fasting

2. Supercompensated, overloaded

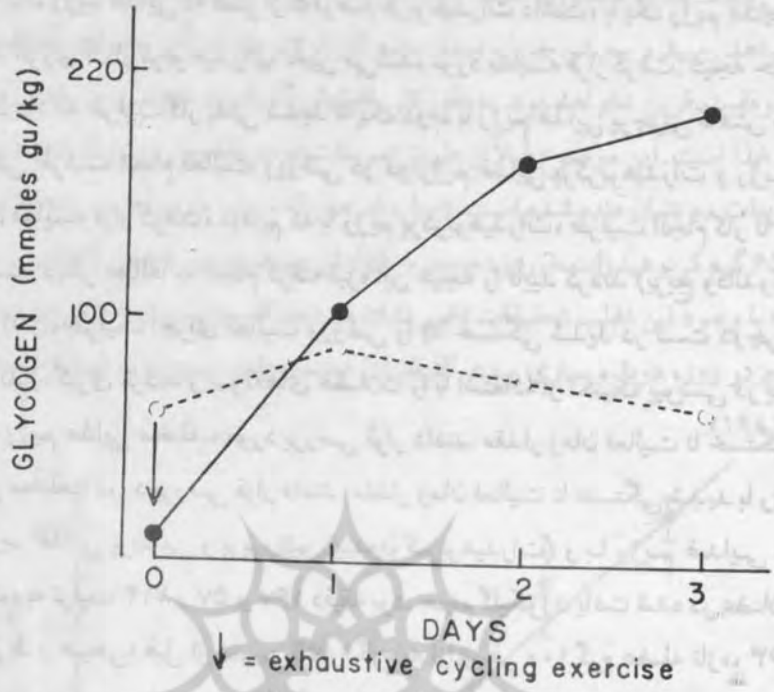


**Figure 2—Muscle glycogen resynthesis in a glycogen depleted leg (filled circle) during 3 days of a high CHO diet versus muscle glycogen levels in the nonexercised leg (open circle) during the same time period. Arrow indicates cycling exercise to exhaustion. From "Muscle Glycogen Synthase After Exercise: An Enhancing Factor Localized to the Muscle Cells in Man" by J. Bergström and E. Hultman, *Nature*, 1967, 210, 309-310. Copyright 1967 by Nature. Reprinted by permission.**

### ب) آثار تمرین و رژیم غذایی روی منابع گلیکوژن عضله

در اثر آزمایشهایی بخوبی معلوم شده است که در تمرینات شدید، رژیمهای غذایی با کربوهیدرات کم، قادر نیست مقادیر گلیکوژنی ذخیره شده در بافتها را حفظ کند. به طورکلی یک رژیم غذایی کم کربوهیدرات، ظرفیت انجام کار را کاهش می‌دهد؛ بعکس، یک رژیم غذایی پرکربوهیدرات، غلظتهای گلیکوژن را به مقادیر اولیه شان برمی‌گرداند. بسیاری از مطالعات، اجرای ضعیف تمرینات ورزشی را در اثر رژیمهای غذایی کم کربوهیدرات نشان داده است؛ بویژه‌اینکه در این وضعیت، فرد دچار خستگی، کتواسیدوز، دهیدراسیون و هیپوگلیسمی می‌شود (ویلیامز ۱۹۹۰).

در تحقیقی، یک رژیم غذایی که کمتر از ۵ درصد کربوهیدرات داشت، با یک رژیم غذایی که بیشتر از ۹۰ درصد انرژی آن از کربو هیدراتها تأمین می‌شد، مورد مقایسه قرار گرفت. نتیجه حاصل از این مقایسه نشان داد که ظرفیت کار بدنی شدید تا یک دوم، با رژیم غذایی پرچربی کاهش می‌یابد؛ در حالی که وقتی ظرفیت انجام فعالیت ورزشی در دو رژیم غذایی پرکربوهیدرات و رژیم غذایی طبیعی مورد مقایسه قرار گرفت، دیدیم که با رژیم پرکربوهیدرات، ظرفیت انجام کار تا یک چهارم افزایش داشت. دیگر مطالعات انجام گرفته نیز، این نتیجه را تأیید کردند (بریج وکالدوی ۱۹۸۴). محققین سوئدی، ظرفیت اجرای فعالیت ورزشی را (تا خستگی شدید در تست دوچرخه‌سواری استاندارد) اندازه‌گیری کردند و نمونه‌های عضلات را با استفاده از تکنیک بیوپسی در یک گروه از مردان با سه رژیم غذایی مختلف مورد بررسی قرار دادند. مقدار زمان فعالیت تا خستگی شدید با رژیم غذایی مختلف مورد بررسی قرار دادند. مقدار زمان فعالیت تا خستگی شدید با رژیم غذایی نرمال، با رژیم غذایی پرچربی و پرپروتئین (بدون کربوهیدرات) و با رژیم غذایی سرشار از کربوهیدرات، به ترتیب ۱۱۴ و ۵۷ و ۱۶۷ دقیقه بود. حجم گلیکوژن یافت شده در عضلات با رژیم غذایی مخلوط و طبیعی، قبل از تمرین ۱/۷۵ گرم به ازای هر ۱۰۰ گرم عضله تازه، ۰/۶۳ گرم با رژیم غذایی بدون کربوهیدرات و ۳/۵۱ گرم با رژیم غذایی غنی از کربوهیدرات بود (بریج وکالدوی ۱۹۸۴). تحقیقات نشان داده است که الگوی دوباره سازی منابع گلیکوژن پس از تمرین و افزایش تخلیه یک پاسخ «دو مرحله‌ای»[1] است. پس از خاتمهٔ تمرین و برخورداری عضلات از رژیم غذایی پرکربوهیدرات، گلیکوژن آنها بسرعت، به همان اندازه‌های قبل از تمرین باز می‌گردد. در این حالت، گلیکوژن ساخته شده، از مقدار گلیکوژن بیش جبران شده بیشتر نبوده است. علاوه براین گلیکوژن عضله به‌طور خیلی تدریجی به بیشتر از مقادیر طبیعی افزایش می‌یابد. این موضوع به طور ضمنی دلالت بر این دارد که برای دوباره سازی گلیکوژن، دو مکانیزم جداگانه وجود دارد که عبارتند از:

۱ـ دوباره سازی سریع که مربوط به تخلیهٔ شدید ذخایر گلیکوژن می‌شود؛

۲ـ دوباره‌سازی آهسته که وابسته به‌مصرف کربوهیدرات تغذیه‌ای است (ویلیام . ام . شرمن ۱۹۸۳).

ثابت شده است کمه مقدار کربوهیدرات مصرف شده پس از تمرین، نقش مهمی در دوباره سازی گلیکوژن عضله بعد از تخلیهٔ آن دارد، مشروط بر اینکه مصرف مواد دارای کربوهیدرات به

1. Biphasic

اندازهٔ کافی باشد. منابع گلیکوژن عضله براساس یک برنامهٔ روزانه بین جلسات تمرین به حد طبیعی نخواهد رسید و برییش جبران شدن منابع گلیکوژن عضله تأثیر نخواهد گذاشت؛ در نتیجه تمرین با موفقیت قرین نخواهد بود. به طورکلی افزایش گلیکوژن متناسب با مقدار کربوهیدرات موجود در غذا است. این موضوع قبلاً از طریق تمرینات دوچرخه‌سواری نشان داده شد و اخیراً هم پس از تمرینات دو نشان داده شده است. (میل، شرمن، کاستیل، مارش، ویتن ۱۹۸۱). مصرف بین ۱۵۰ تا ۶۵۰ گرم کربوهیدرات درروز، منجر به افزایش بیشتری در ذخایر گلیکوژن عضله شد (شکل ۳)؛ با وجود این اغلب تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که مصرف کربوهیدرات به مقدار بیشتر از ۶۰۰ گرم در روز، دوباره سازی بیشتر گلیکوژن عضله منجر نخواهد شد (کاستیل، بلوم و هرماتس ۱۹۸۱).

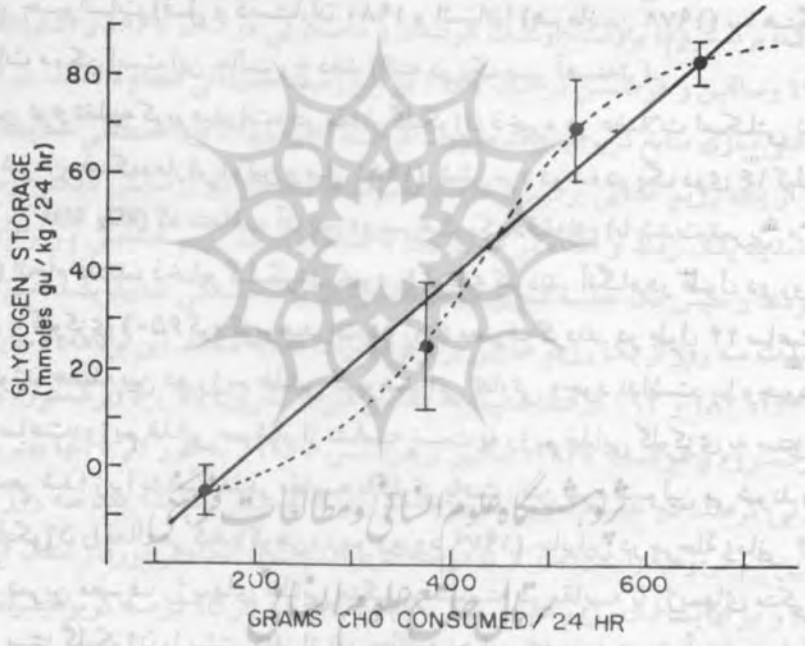


**Figure 3—The relationship of the amount of CHO ingested versus the storage of muscle glycogen following depleting running exercise, $r = .84$ (Costill, Sherman, Fink, Maresh Witten & Miller, 1981). More recent work suggests that a plateau exists for CHO ingestion exceeding 500-600 g CHO/day. From "The Role of Dietary Carbohydrate in Muscle Glycogen Resynthesis After Strenuous Running by K.L. Costill, W.M. Sherman, W.J. Fink, C. Maresh, M. Witten, and J.M. Miller, *American Journal of Clinical Nutrition*, 1981, 34, 1831-1836. Copyright 1981 by *American Journal of Clinical Nutrition*. Reprinted by permission.**

این موضوع توسط بلوم و کالیگوس نیز تأیید شد. آنها نشان دادند، وقتی که در هر دو ساعت تمرین خسته کننده ۱/۴ تا ۲ گرم گلوکز به ازای هر کیلوگرم ازوزن بدن مصرف شد، مقدار دوباره سازی گلیکوژن به یک فلات رسید. این موضوع ثابت می‌کند که عضلات، در استفاده از کربوهیدراتها ـ که در دوباره‌سازی گلیکوژن نقش مؤثری دارند ـ از محدودیت بالایی برخوردارند، مگر اینکه که کبد به ذخیره ساختن گلیکوژن بپردازد. بدین‌ترتیب، می‌توان فرض کرد که کربوهیدرات مصرف شدهٔ اضافی، از طریق تبدیل شدن به چربی، به دیگر اَعمال بدن کمک می‌کند (ویلیام. ام. شرمن ۱۹۸۳). اخیراً این نکته تأیید شده که تخلیهٔ گلیکوژن عضله، یک محرک قوی برای دوباره‌سازی آن است. در واقع، این محرک به اندازه‌ای قوی است که ذخیره‌سازی گلیکوژن عضله تا حد زیادی بر ذخیره شدن گلیکوژن کبد غلبه می‌کند (فل، مک‌لین، ویندروهالوسی ۱۹۸۰). در حیوانات (فل و دستیاران ۱۹۸۰ و انسانها (هرمانسن ۱۹۷۸) به هنگام تغذیهٔ کربوهیدرات ممکن است این حالت رخ دهد (البته در یک سیر آهسته‌تر).

همچنین نوع تغذیه کربوهیدرات، در مقدار گلیکوژن ذخیره در عضلات اسکلتی نقش دارد (کاستیل، شرمن، فینک، مارش، وتین و میل ۱۹۸۱). شش مرد دونده در یک دوی ۱۶ کیلومتری (با شدت تمرین $VO_2$ Max) که متعاقب آن پنج دو سرعت یک دقیقه‌ای (با شدت تمرین ۱۳۰ درصد $VO_2$ Max) انجام دادند، ذخایر گلیکوژن خود را تخلیه کردند. آنگاه در طول دو روز، غذای نشاسته‌ای یا گلوکزی (۶۵۰ گرم کربوهیدرات در روز) مصرف کردند. در طول ۲۴ ساعت اول، در سنتز گلیکوژن عضله بین دو رژیم غذایی کربوهیدراتی تفاوتی وجود نداشت. با وجود این، در ظرف ۴۸ ساعت، رژیم غذایی سرشار از نشاسته نسبت به رژیم غذایی گلوکزی به سنتز گلیکوژن بیشتری منجر شد؛ زیرا نشاسته‌ها در مقایسه با گلوکز باعث رفتن سرم انسولین می‌شوند و انسولین نیز سنتز گلیکوژن را فعال می‌کند (کوهن، نیمو و پرود ۱۹۷۹). بنابراین در مرحلهٔ زمانی ۲۴ ساعت اول بعد از تمرین مصرف رژیمهای غذایی متکی بر نشاسته در مقایسه با رژیمهای متکی برگلوکز باید مقدار سنتز گلیکوژن را بیشتر کند. از این مطالعه نیز این نتیجه به دست آمد: ورزشکارانی که روزانه بر شدت تمریناتشان می‌افزایند، باید غذاهایی مصرف کنند که تقریباً ۷۰ درصد کالری آن از کربوهیدراتها باشد تا اطمینان حاصل شود که منابع گلیکوژن عضله تا قبل از تمرینات فصل آینده، در حد طبیعی باقی خواهد ماند (ویتن، کاستیل، شرمن، فینک، مارش و میل ۱۹۸۱).

به طور کلی درست به کار بردن تمرین و رژیم غذایی می‌تواند بیش جبرانی گلیکوژن عضله را افزایش دهد. افراد تمرین کرده نسبت به افراد تمرین نکرده، نه تنها گلیکوژن بیشتری دارند، بلکه در

این افراد، استفاده از گلیکوژن عضله در طول تمرین هوازی نیز کمتر است. ذخیره‌سازی گلیکوژن در اثر تمرین، به افزایش ظرفیت عضلات برای سوزاندن چربیها به عنوان سوخت کمک می‌کند (بوث و هالوزی ۱۹۶۷). این موضوع هم در انسان و هم در حیوانات آزمایش شده و به اثبات رسیده است. بنابراین، افراد تمرین کرده باید قادر باشند از منابع ذخیره‌ای عضلاتشان، یعنی افزایش دادن مقدار سوخت چربیها و حفظ ذخایر گلیکوژن بیشتر، برای افزایش دادن ظرفیت استقامتی‌شان استفاده کنند (ویلیام. ام. شرمن ۱۹۸۴).

**ج) بررسی بهترین شیوه‌ها برای بالابردن کربوهیدراتهای بدن (بیش جبرانی)**

همانطور که قبلاً اشاره شد، نقش پدیدهٔ «بیش جبرانی گلیکوژن یا غنی‌سازی کربوهیدراتها» در افزودن فعالیتهای ورزشی، به طور گسترده‌ای مورد تحقیق و پژوهش قرار گرفته است. دانشمندانی مثل آلبورگ، برگستروم، برولت، اوکلند، هولتمان و ماسکویی در سال ۱۹۶۷ و استراندوردال در سال ۱۹۷۷ وسالتین و هرمانسن در سال ۱۹۶۷ در این زمینه تحقیقاتی انجام داده‌اند. در تحقیقی که به منظور غنی‌سازی منابع کربوهیدرات صورت گرفت، آزمودنیها تا حد خستگی شدید، پدال زدند و سه روز از یک رژیم غذایی پرکربوهیدرات مصرف کردند. در دو آزمایش دیگر آزمودنیها تا خستگی شدید پدال زدند و آنگاه در مدت یک تا سه روز، یک رژیم غذایی پرکربوهیدرات را مصرف کردند و سپس یک جلسه تمرین دوچرخه‌سواری را تا خستگی شدید پشت سر گذاشتند و در آخر، مدت سه روز از یک رژیم غذایی پرکربوهیدرات تغذیه شدند. این برنامه، ذخایر گلیکوژن عضله را ۱۶۴، ۱۸۲ و ۱۹۲ درصد نسبت به مقادیر قبل از تمرین، بالا برد (برگستروم و دستیاران ۱۹۶۷، برگستروم و هولتمان ۱۹۶۷، سالتین و هرمانسن ۱۹۶۷). به طور کلی، آنها بهترین روش را چنین معرفی کردند: دو جلسه تمرین دوچرخه‌سواری تا خستگی شدید؛ بعد سه روز استفاده از رژیم غذایی کم کربوهیدرات (کمتر از ۵ درصد کربوهیدرات)؛ آنگاه برخوردار شدن آزمودنیها از استراحت؛ و در نهایت یک رژیم غذایی پرکربوهیدرات (بیشتر از ۹۵ درصد کربوهیدرات).

اشکالاتی که در این روش دیده شد، عبارت بود از:

۱. سه روز استفاده از رژیم کم کربوهیدرات موجب هیپوگلیسمی همراه با استفراغ و خستگی می‌شود.

۲. دو جلسه تمرین شدید خسته‌کننده در هفتهٔ قبل از یک مسابقهٔ مهم، ممکن است به صدمات و مشکلاتی برای مسابقه منجر شود.

۳. رژیم غذایی شامل ۹۵ درصد کربوهیدرات، یک رژیم غیرعملی است.

در سال ۱۹۷۹ دانشمندی به نام ویلیامز، به این نکته اشاره کرد که گاهی اوقات ورزشکاران یک روش «غنی‌سازی گلیکوژن» را برای بالا بردن ذخایر گلیکوژن جهت رشته‌های ورزشی استقامتی مورد استفاده قرار می‌دهند. او این روش را طبق جدول دو ارائه کرد، ولی این دستکاری رژیم غذایی آثار جانبی نامحسوسی دارد و لذا نباید به طور مکرر مورد استفاده قرار گیرد (ویلیامز ۱۹۹۰).

**جدول ۲ـ مراحل برنامهٔ «غنی‌سازی گلیکوژن (۲۵۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلوکالری) قبل از فعالیت ورزشی استقامتی»**

| دوره | طول دوره | تمرین | رژیم غذایی | درصد غذا | |
|---|---|---|---|---|---|
| **گام اول:** | ۴ تا ۷ روز | تمرینات شدید | نیمه دوم: | کربوهیدرات | ٪۶ |
| تخلیه گلیکوژن | قبل از مسابقه | خسته‌کننده از | پروتئین و چربی | پروتئین | ٪۵۴ |
| عضله | | نوع همان رشته | زیاد و کربوهیدرات کم | چربی | ٪۴۰ |
| | | درنیمه اول دوره | | | |
| | | تمرینات عمومی | | | |
| | | در طول تغییر رژیم | | | |
| | | غذایی در نیمه دوم | | | |
| | | دوره | | | |
| **گام دوم:** | ۱ تا ۳ روز | هیچ | پرکربوهیدرات/کم چربی/ | کربوهیدرات | ٪۸۰ |
| بیش جبرانی | قبل از مسابقه | | پروتئین به اندازه طبیعی | پروتئین | ٪۱۵ |
| گلیکوژن عضله | | | | چربی | ٪۵ |
| **گام سوم:** | روز مسابقه | رشته ورزشی | معمولی | کربوهیدرات | ٪۵۰ |
| استفاده از | | استقامتی | | پروتئین | ٪۲۰ |
| گلیکوژن عضله | | | | چربی | ٪۳۰ |

Adapted From Forgac Mt: Carbohydrate loading - a review, J AM Diet Assoc 75 (1) 42, 7979

جدیدترین نظریه غنی‌سازی گلیکوژن با شرایط تحمیلی کمتر، که عبارت از یک توالی تخلیه تدریجی گلیکوژن است و امروزه با طور شایع مورد استفاده قرار می‌گیرد، در جدول شمارهٔ سه نشان داده شده است (ویلیامز ۱۹۹۰)

**جدول ۳ـ تخلیهٔ تعدیل یافته. برنامهٔ کم‌شدن گلیکوژن برای غنی‌سازی گلیکوژن**

| روز | تمرین | رژیم غذایی |
|---|---|---|
| ۱ | ۹۰ دقیقه تمرین باشد ۷۰ تا ۷۵ درصد VO2 Max | رژیم مخلوط با ۵۰ درصد کربوهیدرات (۳۵۰ گرم) |
| ۲ـ۳ | کم شدن تدریجی زمان فعالیت و شدت آن | » » » |
| ۴ـ۵ | کم کردن زمان تمرین و ادامه داشتن شدت آن | رژیم‌غذایی مخلوط با ۷۰ درصد کربوهیدرات (۵۵۰ گرم) |
| ۶ | استراحت کامل | » » » |
| ۷ | روز مسابقه | رژیم غذایی پرکربوهیدرات قبل از مسابقه |

Adapted From Wright ED: Carbohydrate nutrition and exercise, clin Nutr 7 (1) 18 , 1988.

بعضی از محققان، رژیم تعدیل یافته مطابق جدول شمارهٔ سه را، که مرحله تخلیه را حذف می‌کند، توصیه می‌کنند (ویلیامز ۱۹۹۰). علاوه‌براین، در غنی‌سازی کربوهیدرات باید به این نکته توجه داشت که هر گرم گلیکوژن با ۳ گرم آب ذخیره می‌شود. به هرحال، این آب اضافی در جلوگیری از دهیدارسیون در هنگام فعالیت طولانی مدت سهیم است و ضمناً غنی‌سازی گلیکوژن منجر به افزایش وزن و گاهی سخت‌شدن ظاهر عضلات می‌شود (ویلیامز ۱۹۹۰).

به طور کلی غنی‌سازی گلیکوژن فقط هنگامی در فعالیتهای ورزشی مؤثر خواهد بود که این فعالیتها از نوع طولانی مدت باشند (بیشتر از ۱/۵ تا ۲ ساعت ادامه می‌یابد). این روش مخصوص، برای فعالیتهای استقامتی طراحی شده است، و چنانکه قبلاً یادآوری شد، ممکن است با خطرهایی همراه باشد و زخمهایی در بافتهای عضلانی فراهم آورد. اکثر کارشناسان توصیه کرده‌اند که این روش پرزحمت، بیشتر از ۲ تا ۳ بار در سال تمرین نشود. با وجود این روش تخلیه تعدیل یافته مورد

بحث در جدول شمارهٔ ۳ این خطرها را ندارد و از آن می‌توان در دفعات بیشتری استفاده کرد. این روش در دوهای طولانی، انرژی بیشتری تولید می‌کند (ویلیامز ۱۹۹۰).

آقای هاسون و بارنز (۱۹۸۹) در مقاله‌ای با عنوان «آثار تغذیهٔ کربوهیدراتها بر تمرینات شدید و طولانی مدت» که مروری بر کاربردهای عملی این پدیده است، در بخش «خطوط راهنمای عملی برای تغذیه کربوهیدرات»، موضوع غنی‌سازی کربوهیدرات «را مورد توجه قرار داده‌اند. هاسون وبارنز معتقدند، ورزشکارانی که از آمادگی بالایی برخوردارند و با فشار متوسط و در مدت زمان طولانی به تمرینات ورزشی می‌پردازند، یعنی فعالیت آنها بیشتر از ۴ ساعت (ورزشهای سه‌گانه، فوق مارتون تور دوچرخه‌سواری یا اسکی صحرانوردی) به درازا می‌انجامد، باید برای افزایش ظرفیت اجرای فعالیتهای ورزشی از روشهایی بهره گیرند که ذخایر گلیکوژن را قبل از فعالیت ورزشی بالا می‌برند و یا کربو هیدرات موجود در خون را تا آخر فعالیتهای ورزشی افزایش می‌دهند؛ زیرا بسیاری از شواهد نشان می‌دهد که خستگی زیاد و کاهش میزان فعالیتهای ورزشی، به پایین آمدن گلیکوژن کبد و احتمالاً؛ هیپوگلیسمی مربوط می‌شود. بنابراین، برای این قبیل ورزشکاران که با شدت متوسط (یعنی ۵۰ تا ۷۵ درصد $VO_2$ Max) و مدت زمان طولانی به فعالیت ورزشی می‌پردازند، نوعی برنامه‌ریزی برای مصرف کربوهیدرات (طبق جدول شمار ۴) مورد نیاز است.

محققان یاد شده در تمرینات ورزشی با شدت زیاد و زمان متوسط، یعنی فعالیتهایی که در حدود ۲ ساعت به درازا می‌انجامند (مانند مارتونها و ۵۰ کیلومتر اسکی صحرانوردی)، استفاده از روشهای مناسب برای افزایش ذخایر گلیکوژن عضله و ازدیاد کربوهیدرات موجود در خون را لازم می‌دانند. آنها با توجه به شواهد، معتقدند که در این قبیل فعالیتهای ورزشی، خستگی زیاد و کاهش فعالیتهای جسمانی، به تخلیهٔ گلیکوژن عضله مربوط می‌شود و به تخلیه گلیکوژن کبدی و هیپوگلیسمی به طور همزمان مربوط نیست. بنابراین، ورزشکارانی که خود را برای ورزشهایی آماده می‌کنند که به شدت بالا (۷۵ تا ۹۰ درصد $VO_2$ Max) و مدت زمان متوسط نیاز دارند، باید از یک برنامهٔ مصرف کربوهیدرات (طبق جدول شماره ۵) استفاده کنند.

**جدول ۴ـ راهبرد تغذیه کربوهیدرات در تمرینات با شدت متوسط طولانی مدت**
**(۵۰ تا ۷۵ درصد $VO_2$ Max)**
**اهداف عبارتند از: الف) افزایش دادن ذخایر گلیکوژن کبدی**
**ب) حفظ کربوهیدارت موجود در گردش خون در طول مسابقه**

| راهبـــرد | نتیجـــه |
|---|---|
| ۱. رژیم غذایی پرکربوهیدرات چندین روز قبل از مسابقه | افزایش دادن منابع گلیکوژن کبدی |
| ۲. تغذیه پرکربوهیدرات قبل از مسابقه (۲۰ تا ۳۰۰ گرم) ۳ تا ۴ ساعت قبل از مسابقه | افزایش دادن ذخایر گلیکوژن |
| ۳. تغذیه کربوهیدرات در طول مسابقه به فواصل ۱۰ تا ۳۰ دقیقه (۱۵۰ تا ۲۵۰ گرم در ساعت) | حفظ کربوهیدرات موجود در گردش خون در طول مسابقه با امکان صرفه جویی گلیکوژن عضلات یا کبد |

به هر صورت، قبل از هر مسابقه مهمی هر نوع برنامه غنی‌سازی کربوهیدرات بایستی به طور کامل در آزمایشگاه و میدان بازی کنترل و مورد آزمایش قرار گیرد.

**د) بررسی اثرات ترتیب زمانی تغذیه کربوهیدرات قبل از فعالیت**

با توجه به این که خوردن کربوهیدرات ۳۰ تا ۶۰ دقیقه قبل از جلسه تمرین استقامتی، ممکن است دارای تبعاتی[1] باشد لذا پیشنهاد ذیل جهت مصرف کربوهیدرات قبل از مسابقات استقامتی ارائه شده است، این پیشنهاد سه مرحله‌ای عبارت است از:

۱ـ ۳ تا ۵ ساعت قبل از مسابقه به عنوان یک غذای قبل از مسابقه؛

۲ـ بلافاصله قبل از مسابقه؛

۳ـ در طول فعالیت استقامتی.

این راهبردهای پیشنهادی برای خوردن مواد کربوهیدراتی، تلاشی برای جلوگیری از هیپوگلیسمی،

---

۱. این روش که عبارت از خوردن مواد کربوهیدراتی ساده و به طور عمده گلوکز و فروکتوز می‌باشد، عمدتاً به منظور افزایش میزان کربوهیدرات موجود در گردش خون (گلوکز) ۳۰ تا ۶۰ دقیقه قبل از فعالیت به کار برده می‌شود.

حفظ گلیکوژن عضله و بهبود فعالیت ورزشی استقامتی است (اسکات، هاسون و ویلیامز ۱۹۸۹).

**جدول ۵ ـ راهبرد تغذیه کربوهیدرات در تمرینات با شدت بالا و زمان متوسط**
**($VO_2$ Max ۷۵ تا ۹۰ درصد)**
**اهداف عبارتند از: الف) به حداکثر رساندن ذخایر گلیکوژن عضله؛**
**ب) صرفه جویی در گلیکوژن عضله؛**
**ج) افزایش کربوهیدرات موجود در گردش خون در طول فعالیت**

| راهبـــرد | نتیجـــه |
|---|---|
| ۱ـ رژیم پرکربوهیدرات چند روز پیش از مسابقه | افزایش دادن منابع گلیکوژن |
| ۲ـ غذای پرکربوهیدرات پیش از مسابقه | افزایش دادن منابع گلیکوژن |
| ۳ـ کربوهیدرات در طول مسابقه در فواصل ۱۰ تا ۳۰ دقیقه (۱۵۰ تا ۲۵۰ گرم در ساعت) | حفظ کربوهیدرات موجود در گردش خون در طول مسابقه |
| ۴ـ تغذیه فروکتوز (۵۰ تا ۷۵۰ گرم) ۳۰ تا ۶۰ دقیقه قبل از تمرین | افزایش دادن کربوهیدرات موجود در گردش خون و امکان صرفه‌جویی گلیکوژن |
| ۵ـ تغذیه کربوهیدرات بلافاصله قبل از مسابقه | افزایش دادن کربوهیدرات گردش خون |

**۱. تغذیهٔ کربوهیدرات ۳ تا ۵ ساعت قبل از مسابقه**

ثابت شده است که خوردن یک وعده غذای کربوهیدراتی ۳ تا ۵ ساعت قبل از فعالیت، به بالا رفتن ترشح انسولین و وضعیت هیپوگلیسمی در شروع مسابقه نخواهد انجامید (جاندریان و همکارانش ۱۹۸۴) بلکه سبب افزایش ذخایر گلیکوژن می‌شود، آن هم به میزان ۴۰ تا ۵۰ درصد بیشتر از افرادی که ۱۶ ساعت قبل از مسابقه روزه گرفتند (کی‌لی و دستیاران ۱۹۸۵). تحقیقاتی از برگستروم و دستیارانش نشان می‌دهد که افزایش منابع گلیکوژن اجازه می‌دهد که زمان فعالیت ورزشی تا مرز خستگی شدید افزایش یابد. با وجود این، اگر غذای کربوهیدراتی کمتر از ۳ ساعت قبل از فعالیت

خورده شود، ممکن است به افزایش ترشح انسولین و کاهش سطح گلوکز خون در شروع فعالیت منجر شود (مک دونالد و همکاران ۱۹۷۸).

**۲. تغذیه کربوهیدرات پیش از شروع مسابقه**

هنگامی که خوردن یک غذای کربوهیدراتی قبل از شروع فعالیت استقامتی، از آن جهت حیاتی است که مقدار گلوکز خون، پاسخ انسولین و گلیکوژن در دسترس عضله را به حد اشباع می‌رساند. به طورکلی ۱۵ تا ۳۰ دقیقه بعد از خوردن کربوهیدرات ـ صرف‌نظر از نوع کربوهیدرات خورده شده ـ حداکثر مقدار گلوکز خون به وجود می‌آید. خوردن کربوهیدرات پیش از شروع مسابقهٔ استقامتی و با فاصلهٔ زمانی کم تا شروع فعالیت، به افزایش گلوکز خون ـ ولو به مقدار ناچیز ـ منجر می‌شود (نیوفر و دستیاران ۱۹۸۷). در این زمینه، شدت کار عامل مهمی در انتخاب منبع سوخت است مانند اسیدهای چرب آزاد FFA، گلیکوژن عضله یا کربوهیدرات موجود در خون تا امکان انقباض عضله با استفاده از ATP فراهم شود.

در طول تمرینات خیلی شدید (۷۷ تا ۸۵ درصد $VO_2$ Max)، گلوکز موجود در خون به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد و گلیکوژن عضله دست نخورده باقی می‌ماند (نیوفر و همکاران ۱۹۸۷). با وجود این، در تمرینات با شدت کمتر، صرفه‌جویی گلیکوژن عضله ممکن است از نیاز کمتر به ATP و پاسخ ضعیف شدهٔ انسولین فراهم آید و فقط مقدار ناچیزی افزایش در مقدار انسولین خون به وجود می‌آید (گالبو و دستیارن ۱۹۷۵). نیوفر و دستیارانش نشان دادند که در اجرای تمرینات خیلی شدید بدون استفاده از گلیکوژن عضله و با تغذیهٔ کربوهیدرات پیش از شروع مسابقه، در مقایسه با مصرف داروهای کاذب[1] بهبودی بیشتری مشاهده می‌شود. شرایط تجربی نشان داد که بهترین نتیجه، زمانی به دست می‌آید که یک غذای پرکربوهیدرات (حاوی ۲۰۰ گرم) پیش از مسابقه (۴ ساعت قبل) با یک غذای بلافاصله قبل از فعالیت ترکیب شوند. بهبود اجرای فعالیت ورزشی برای تمرینات خیلی شدید به افزایشی در کل کربوهیدرات در دسترس به عنوان یک منبع سوخت نسبت داده می‌شود تا یک اثر اختصاصی ذخیره‌ای بر گلیکوژن عضله که با تغذیه کربوهیدرات بلافاصله قبل از مسابقه روی می‌دهد (نیوفر و همکاران ۱۹۸۷).

---

1. Placebo

### ۳. تغذیه کربوهیدرات در طول یک فعالیت استقامتی

اخیراً برای تعیین آثار نوعی کربوهیدرات در طول تمرین روی مقدار گلوکز خون، پاسخ انسولین، به حرکت در آمدن اسیدهای چرب آزاد، حفظ گلیکوژن عضله و کبد و اجرای ورزشی تحقیقاتی انجام شده است. با آنکه اگر ۳۰ تا ۶۰ دقیقه قبل از شروع یک جلسه تمرین گلوکز و فروکتوز مصرف شود، تا اندازه‌ای روی گلوکز خون، پاسخ انسولین و اجرای ورزشی اثر می‌گذارند، ولی اگر در طول تمرین منابع کربوهیدرات‌دار متنوعی خورده شوند، در خون یا اجرای ورزشی تفاوت آشکاری وجود ندارد (کریوستیو و دستیاران ۱۹۸۵، کی‌لی و همکاران ۱۹۸۳). صرف‌نظر از نوع کربوهیدارت مصرف شده در طول تمرین با شدت متوسط یا خیلی شدید، ثابت شده است که بیشتر کربوهیدرات در هنگام جذب در کبد به گلوکز تبدیل خواهد شد (هرس ۱۹۵۵) علاوه بر این، اگر کربوهیدرات به طور ثابت در فواصل ۱۰ تا ۳۰ دقیقه و در اندازهٔ ۱۵۰ تا ۲۵۰ گرم در ساعت و در طول جلسه تمرین (۷۵ درصد $VO_2$ Max) خورده شود، گلوکز خون در شرایطی نزدیک به شرایط مسابقه مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طوری که مقدار گلوکز خون در حد متوسطی باقی می‌ماند (کی‌لی و همکاران ۱۹۸۳ و ۱۹۸۶). نتیجه اینکه، در این شرایط، حداقل انسولین از پانکراس رها می‌شود، ولی تخلیهٔ گلیکوژن عضله ادامه می‌یابد و ذخیره نمی‌ماند. با وجود این، با ادامهٔ تأمین کربوهیدرات غذایی، اجرای فعالیت ورزشی استقامتی بهبود می‌یابد (کوگان وکی‌لی ۱۹۸۷).

### نتایج

۱. ورزشکارانی که از عضلات خوب رشد یافته برخوردار باشند، قادرند گلیکوژن بیشتری ذخیره کنند.

۲. عضلاتی که خوب تمرین کرده باشند، قابلیت ذخیرهٔ گلیکوژن بیشتری دارند.

۳. عضلاتی که بر اثر تمرین بزرگ می‌شوند، با رژیم سرشار از کربوهیدرات، ذخیرهٔ بیشتری از گلیکوژن را به وجود خواهند آورد (پترسون وپترسون ۱۹۸۸)

۴. غنی‌سازی منابع کربوهیدرات (گلیکوژن) زمانی با موفقیت همراه است که ورزشکاران نوعی رژیم غذایی را دنبال کنند که بیشتر از ۶۰ درصد آن، از کربوهیدراتها باشد (پترسون وپترسون ۱۹۸۸)؛ چون سنتز گلیکوژن، متناسب با مقدار کربوهیدرات تغذیه شده و بعد از تمرینات شدید

افزایش می‌یابد (بیشتر از ۵۰۰ تا ۶۰۰ گرم کربوهیدرات در روز). برای ورزشکارانی که روزبروز با تمرینات سخت سروکار دارند، یک رژیم غذایی با ۷۰ درصد کربوهیدرات توصیه می‌شود (ویلیام. ام. شرمن ۱۹۸۳).

۵. سطح گلیکوژن عضله پیش از تمرین، بر مدت زمان فعالیت تأثیر می‌گذارد تا ادامهٔ تمرینات هوازی تا خستگی زیاد میسر شود. همچنین مقادیر کم گلیکوژن و دیگر عوامل ممکن است بر ایجاد خستگی تأثیر بگذارد (ویلیام . ام . شرمن ۱۹۸۳).

۶. بهترین «بیش جبرانی گلیکوژن عضله» با تمریناتی که گلیکوژن را به طور تدریجی، در طول ۶ روز قبل از مسابقه تخلیه می‌کند و استفاده از یک رژیم غذایی سرشار از کربوهیدرات (۵۲۵ گرم در روز) در طول سه روز قبل از مسابقه، فراهم می‌آید (ویلیام . ام . شرمن ۱۹۸۳).

۷. منابع غنی گلیکوژن عضلات اجازه می‌دهد که ورزشکار «کار شدید» را در مدتی طولانی‌تر به انجام برساند (ویلیام . ام. شرمن ۱۹۸۳).

۸. در هنگام طراحی یک رژیم تمرینی همراه با کربوهیدرات زیاد، باید به خاطر داشت که غلات، نانها، گیاهان خوردنی و تمام سبزیها منابع عالی کربوهیدرات هستند. میوه‌ها، آب میوه و سبزیجات نیز منابع خوبی هستند. شیر و دوغ نیز کربوهیدرات دارند. تمام غذاهای پروتئین‌دار از قبیل گوشتها مقدار خیلی کمی کربوهیدرات دارند (پتروسون وپترسون ۱۹۸۸).

۹. با تغذیهٔ کربوهیدرات بعد از ورزش، می‌توان در مدت کمتر از ۱۰ ساعت تا مقدار زیادی خستگی را از بین برد (پترسون وپترسون ۱۹۸۸).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## منابع

1- Peterson, M. , & Peterson,K. Eat to Compete. A Guide tg Sports Nutrition, 1988.
2- Scott, M. H., William, S. B. Effect of Carbohydrate Ingestion on Exercise of Varying Intensity and Duration. Sport Medicine, 8(6),327 - 334. 1989.
3- Williams, M.H., Ergogenic Aids in Sport (Chapter 1. Carbohydrate, Muscle Glycogen, and Muscle Glycogen Supercompensation. by: William M. Sherman). 1983.
4- Williams, S.R., Essentials of Nutrition and Diet therapy (fifth Edition). 1990.
5- Briggs 8 Calloway, Nutrition and physical Fitness (11 th Edition). 1984

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی