بررسی تاثیر مخلوط های کربوهیدراتی–پروتئینی بر شاخص‌های تخریب عضلانی در فعالیت‌های ورزشی مقاومتی و استقامتی: یک مقاله مروری

خشایار معروفی[1,*]

۱.کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی محض دانکشده تربیت بدنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

سالانه ورزشکاران زیادی به علت بروز آسیب‌های عضلانی، رقابت‌های کوچک و بزرگ را از دست می‌دهند و یا در روند بازیابی میان دو جلسه رقابتی ناکام می‌مانند. همچنین، در اثر فعالیت ورزشی بروز آسیب‌های عضلانی بسیار رایج‌اند که این تغییرات در راستای تغییرات عملکردی و بیوشیمیایی در پروتئین عضلات و افزایش آن‌ها در خون شدت می‌یابد. این تغییرات در نهایت به ورود برخی آنزیم‌ها مانند کراتین کیناز در خون منجر می‌شود که میزان آن به خصوص در مدت زمان ۲۴ ساعت پس از تمرین به اوج خود می‌رسد. بروز دردهای عضلانی پس از یک جلسه فعالیت ورزشی مقاومتی و یا مسابقات می‌تواند از نتایج آسیب به بافت همبند باشد که از ۲۴ ساعت تا هفت روز می‌تواند ادامه یابد. به همین منظور در سال‌های گذشته، مطالعات گوناگونی در صدد بوده‌اند با استفاده از سازوکارهای گوناگون، راهبردهایی کاربردی برای بازگرداندن حداکثر عملکرد عضله در کمترین زمان ممکن را فراهم کنند و یکی این راهبردها استفاده از مخلوط‌های کربوهیدراتی-پروتئینی برای کاهش تخریب عضلانی و تسریع روند بازیابی ورزشکاران است. برای جستجوی مقالات انگلیسی و فاسی چاپ شده در نشریات معتبر از پایگاه‌های داده GoogleScholar، Pubmed، ScienceDirect و SID استفاده شد. با بررسی پژوهش های پیشین، می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از نسبت‌های مناسب کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها و توجه به زمان‌بندی خوردن مخلوط با توجه به شرایط ویژه هر فعالیت ورزشی، می‌توان موجب کاهش شاخص‌های تخریب عضلانی که خود بیانگر میزان آسیب وارده به بافت عضلات هستند، شد.

کلمات کلیدی: تخریب عضلانی، فعالیت مقاومتی، فعالیت استقامتی، کربوهیدرات-پروتئین، مکمل

مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از مکمل‌ها و مخلوط‌های ورزشی گوناگون به بخش جدایی ناپذیر برنامه‌های کوتاه و بلند مدت ورزشکاران تبدیل شده است. کمپانی‌های بسیاری به طور روز افزون سرتاسر جهان بر تنوع محصولات خود می افزایند و همین امر انتخاب مکملی متناسب با اهداف ورزشی مورد نظر را دشوار می کند (معروفی و همکاران ۲۰۲۰). می‌توان اهداف متفاوتی برای انواع گوناگون مکمل‌ها و مخلوط‌های ورزشی در نظر گرفت که هر یک متناسب با شرایط

فیزیولوژیایی و تمرینی انتخاب و مصرف می‌شوند. یکی از استفاده‌های مخلوط‌های ورزشی کاهش شاخص‌های تخریب عضلانی پس از فعالیت ورزشی مقاومتی یا استقامتی است. اجرای این دسته فعالیت‌ها، به بروز آثار تخریبی در عضله اسکلتی شده منجر می‌شود که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کوفتگی عضلانی تاخیری (DOMS) اشاره کرد (هوگ ۱۹۰۲). کوفتگی عضلانی تاخیری در پی ایجاد تخریب در ساختار عضله اسکلتی رخ می‌دهد. همچنین، پارگی‌های ایجاد شده در اثر اجرای فعالیت‌های مقاومتی که آسیب در پروتئین‌های ساختاری همانند میوزین، اکتین، تیتن و دیسماین را به دنبال دارد، می‌تواند عاملی دیگر در بروز این پیامدها باشد. التهاب عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی مقاومتی خیلی شدید می‌تواند آثار تخریب عضلانی را ۲۴ تا ۷۲ ساعت پس از فعالیت ورزشی به همراه داشته باشد. اصطلاح "تخریب عضلانی" به آسیب ماتریکس برون سلولی و سلول‌های عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی اشاره دارد، که در موارد حادتر می‌تواند باعث تداخل در عملکرد طبیعی عضله شود. مفهوم کلی این اصطلاح برای نخستین بار توسط هوگ[1] در سال ۱۹۰۲ معرفی شد که همراه با کوفتگی عضلانی تاخیری، تخریب خطوط Z[2]، برهم ریختگی عمومی تارچه‌ها[3]، کاهش تولید نیروی بیشینه و ظهور پروتئین‌های عضلانی درون خون مانند کراتین کیناز، میوگلوبین و لاکتات دهیدروژناز مشخص می‌شود (گرین و همکاران ۲۰۰۸). فرضیه‌ای بر این باور است که از هم گسیختگی غشا سلول‌ها می‌تواند به رهایش آنزیم‌ها و پروتئین‌ها به درون خون منجر شود. کراتین کیناز پس از رهایش از سلول و ورود به مایع بینابینی از راه دستگاه لنفاوی وارد جریان خون می‌شود و همین امر موجب بروز تاخیر در پیدایش این آنزیم درون خون می‌شود. میوگلوبین نیز پروتئینی است که در اثر آسیب‌های عضلانی از راه منافذ مویرگی وارد جریان خون می‌شود و تفاوت اصلی آن با کراتین کیناز، زمان پیدایش آن در خون است، چرا که مسیر کوتاه‌تری در مقایسه با مسیر رهایش کراتین کیناز باید طی شود (وبستر ۲۰۰۸، دسوزا ۲۰۱۸). هورمون‌ها نیز همانند آنزیم‌ها در داخل بدن ساخته و به درون خون ریخته می‌شوند. کورتیزول هورمونی کاتابولیکی است و فعال شدن محور هیپوفیز-فوق کلیه، برجسته‌ترین پاسخ عصبی-درون ریزی به استرس (از جمله استرس ناشی از فعالیت ورزشی) می‌باشد که فعالیت این محور، در نهایت با افزایش هورمون کورتیزول همراه است (رنبیر و ریتو ۲۰۱۱).

فعالیت‌های ورزشی مقاومتی و استقامتی همچنین باعث تغییرات سریع در آنابولیسم و کاتابولیسم پروتئین در عضلات اسکلتی می‌شوند که این آثار پس از گذشت زمان و به مرور به حالت اولیه خود بازخواهند گشت. پژوهشگران علت این تغییرات سریع را برهم خوردن تعادل بین ساخت و تجزیه پروتئین بر اثر این دسته از فعالیت‌ها می‌دانند (گرین و همکاران ۲۰۰۸، وایت و همکاران ۲۰۰۸). بهره‌گیری از مواد غذایی و مکمل‌های ورزشی می‌تواند آثار مثبتی در کاهش تجزیه پروتئین ناشی از فعالیت ورزشی ایجاد کند. دو درشت مغذی کربوهیدرات و پروتئین آثار گوناگونی را در جلوگیری از تخریب و در نتیجه بازسازی سریع‌تر پروتئین‌های عضله اسکلتی، پاسخ‌های هورمونی آنابولیکی و در مجموع کاهش شرایط کاتابولیکی بدن پس از فعالیت ورزشی نشان داده‌اند. امروزه، به علت رقابت تنگاتنگ ورزشکاران، فاصله بین پیروزی و شکست در رقابت‌های ورزشی بسیار کاهش پیدا کرده است و تنها با مورد توجه قرار دادن جزئیات برنامه های ورزشکاران، می‌توان این فواصل را در دامنه‌ای مطمئن حفظ کرد که همواره مداخله‌های تغذیه‌ای و استفاده از مکمل‌های گوناگون ورزشی از دیرباز تا کنون مورد توجه ورزشکاران و متخصصان قرار گرفته است؛ گرچه افرادی که به تازگی فعالیت‌های ورزشی منظمی را شروع کرده‌اند نیز، در پی افزایش آمادگی هر چه بیشتر با استفاده از مکمل‌ها و

[1] Hough
[2] Z-line streaming
[3] General myofilament disorganization

نوشابه‌های ورزشی‌اند؛ در همین راستا، استفاده از مکمل‌های غذایی برای کاهش تخریب عضلانی و تسریع روند بازیابی در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است (بلومر ۲۰۰۷).

طبق مطالعات بسیاری که درباره شاخص‌های تخریب عضلانی انجام شده است، به نظر می‌رسد خوردن مخلوط کربوهیدارتی-پروتئینی با نسبت‌های گوناگون، نمی‌تواند از بروز آسیب‌های اولیه در نتیجه استرین مکانیکی جلوگیری کند، اما می‌توان با خوردن مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی محیط هورمونی مناسبی را برای تحریک فرآیندهای سنتز پروتئین و جلوگیری از تخریب پروتئین ایجاد کرد که موجب بهتر شدن ترمیم پس از فعالیت ورزشی و بازگشت به حالت اولیه شود. پروتئین وی سرشار از اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به اسیدهای آمینه شاخه‌دار و گلوتامین اشاره کرد. مطالعات نشان داده‌اند خوردن اسیدهای آمینه محرک قوی‌تری در مقایسه با فعالیت ورزشی در فعال‌سازی مسیر mTOR محسوب می‌شود. همچنین، گلوتامین با سرعت زیاد توسط لنفوسیت‌ها و ماکروفاژها در طول فاز التهابی پس از آسیب عضلانی مصرف می‌شود، پیشنهاد شده است که گلوتامین پلاسما یک حلقه ارتباط متابولیکی بین عضله اسکلتی و سیستم ایمنی است. همچنین، به واسطه این‌که التهاب جزء مهمی در تکمیل بازسازی عضله پس از بروز آسیب است، مقادیر گلوتامین پلاسما می‌تواند برای بازسازی سریع سلول‌های عضلانی ضروری باشد (مورو و همکاران ۲۰۱۹). پژوهشگران اظهار کردند استفاده از مخلوط کربوهیدراتی با یا بدون اسیدهای آمینه شاخه‌دار، محیط هورمونی مناسب‌تری را به‌وجود می‌آورد که در نتیجه موجب کاهش تخریب عضلانی می‌شود (اسمیت و همکاران ۲۰۱۷). به‌علاوه، نشان داده شده است سنتز پروتئین عضلانی را می‌توان مستقل از انسولین پلاسما افزایش داد، لذا برخی مطالعات افزایش سنتز پروتئین را پس از فعالیت ورزشی مقاومتی با مصرف مکمل اسیدآمینه نشان داده‌اند. با وجود این، بیشترین مقدار افزایش سنتز پروتئین همزمان با اسیدهای آمینه و انسولین پلاسما گزارش شده است (رزاقی ۱۳۸۵). به دلیل اینکه میوگلوبین در مقایسه با سایر شاخص‌های خونی تخریب عضلانی (LDH،CK و...) شاخص جدیدتری است، اطلاعات اندکی در مورد الگوی پاسخ و زمان ظهور و پاک شدگی آن از پلاسما وجود دارد. با وجود این، برخی مطالعات دلیل اصلی کاهش میوگلوبین بر اثر خوردن مخلوط دارای کربوهیدرات را تغییر در سنتز سایتوکاین‌ها، پاسخ انسولین و یا افزایش عملکرد کلیه در کاهش میوگلوبین از گردش خون دانسته‌اند (پیک و همکاران ۲۰۰۴).

DOMS، یک شاخص ذهنی است و سنجش آن در مقایسه با سایر روش‌های مستقیم و غیرمستقیم با موانعی مواجه است. دقت درک میزان کوفتگی و تعریف آن در میان هریک از آزمودنی‌ها فرق می‌کند و همین امر می‌تواند موجب تفاوت‌های گسترده این شاخص میان مطالعات شود. برخی مطالعات از میزان زیاد کربوهیدرات و پروتئین در پروتکل‌های آزمون استفاده کرده‌اند که موجب کاهش کوفتگی عضلانی تاخیری پس از آزمون و تا ۴۸ ساعت پس از آن شده است. پژوهشگران، دلیل کاهش میزان درک کوفتگی را احتمالا به دریافت کالری زیاد ناشی از خوردن مخلوط‌های کربوهیدراتی-پروتئینی با نسبت و مقدارهای متفاوت دانسته‌اند. در برخی تارهای نوع II که بیشترین مقدار آسیب میکروسکوپی پس از فعالیت ورزشی در آن‌ها مشاهده می‌شود، شواهدی از تخلیه ذخائر گلیکوژن وجود دارد و بر طبق فرضیه تخلیه سوبسترا، تخلیه منابع گلیکوژن عضلانی می‌تواند به آسیب و در نهایت کوفتگی عضلانی تاخیری منجر شود و دریافت درشت‌مغذی‌های بیشتر در مخلوط مورد استفاده، می‌تواند کالری زیادتری را در اختیار بافت برای بازیابی سریع‌تر قرار دهد (چنگ و همکاران ۲۰۰۳، صمدی ۱۳۸۸). بنابراین ابعاد مختلفی درباره استفاده از مخلوط‌های کربوهیدراتی-پروتئینی مثل نسبت این دو درشت مغذی، وجود الکترولیت‌ها، نوع تمرین، زمان‌بندی مصرف و سابقه

تمرینی افراد باید در نظر گرفته شود. به همین منظور، هدف از پژوهش پیش‌رو بررسی مطالعات انجام شده درباره تاثیر استفاده از مخلوط‌های کربوهیدراتی-پروتئینی بر شاخص‌های تخریب عضلانی در فعالیت‌های ورزشی مقاومتی و استقامتی است.

روش کار

مطالعه حاضر به بررسی تاثیرات استفاده از مخلوط‌های کربوهیدراتی-پروتئینی بر شاخص‌های تخریب عضلانی در فاصله سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ محدود شد. برای جستجوی مقالات انگلیسی و فاسی چاپ شده در نشریات معتبر از پایگاه‌های داده GoogleScholar، Pubmed، ScienceDirect و SID استفاده شد. به منظور جمع‌آوری اطلاعات ابتدا مقالاتی که دارای یکی از واژه‌های "تخریب عضلانی" یا "مکمل کروبوهیدرات" یا "مکمل پروتئینی" یا "تخریب پروتئین" یا "کاتابولیسم" یا "پروتئین عضلات" به تنهایی و یا همراه با یکدیگر بودند بررسی شدند. مجموع پژوهش‌ها به ۴۶ رسید که در نهایت تعداد ۳۲ پژوهش توانستند بر اساس موضوع پژوهش حاضر دسته بندی و مورد استفاده قرار گیرند.

یافته‌ها

بررسی پژوهش‌های پیشین درباره تاثیرات استفاده از مخلوط‌های کربوهیدراتی-پروتئینی بر شاخص‌های تخریب عضلانی در فعالیت‌های ورزشی مقاومتی و استقامتی بیانگر آنند که سابقه تمرینی افراد می‌تواند نتایج را کاملا تغییر دهد. در فعالیت‌های مقاومتی با استراحت مناسب میزان آسیب‌های عضلانی در افرادی که به تازگی برنامه ورزشی خود را آغاز کرده‌اند به مراتب در مقایسه با افراد با سابقه ورزشی بیشتر، در حد معناداری زیادتر است؛ اما در افرادی که بیشتر از شش ماه به فعالیت ورزشی مقاومتی یا استقامتی پرداخته‌اند، آسیب‌های عضلانی همانند افراد تازه‌کار جلوه می‌کند و تفاوت معناداری بین دو دسته تازه کار و با سابقه در این نوع فعالیت ورزشی دیده نشده است (گوین ۲۰۱۴). به خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در جدول ۱ اشاره شده است.

جدول۱. خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده در رابطه با تاثیر مخلوط‌های کربوهیدراتی-پروتئینی بر شاخص‌های تخریب عضلانی در فعالیت‌های ورزشی مقاومتی و استقامتی

پژوهشگر	مکمل و زمان‌بندی مصرف	فعالیت ورزشی	نتیجه
رستمی (۱۳۸۷)	مخلوط BCAA (۷۷ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن) ۱۵ دقیقه قبل از شروع و دقیقه ۶۰ آزمون	اسقامتی دویدن با ۷۰٪ VO_{2max}، به مدت ۹۰ دقیقه	کاهش مقادیر CK، LDH و DOMS در چهار و ۲۴ ساعت پس از آزمون
صمدی (۱۳۸۸)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی با نسبت‌های ۱:۴، ۱:۳ و ۱:۲ در هنگام آزمون (هر ۱۵ دقیقه یک‌بار)	مقاومتی برون‌گرا	Mb،CK و DOMS در تمامی نسبت‌ها در یک ساعت پس از آزمون افزایش یافت. در ۲۴ ساعت پس از آزمون، تمامی شاخص‌ها به طور معناداری کم‌تر از گروه کنترل بودند.
هدایتی (۱۳۸۹)	مخلوط BCAA یک گروه قبل از آزمون و یک گروه پس از آزمون	مقاومتی برون‌گرا	تفاوتی در CK، LDH و DOMS در گروه‌ها مشاهده نشد.
عسجدی و همکاران (۱۳۹۱)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی با نسبت‌های ۱:۴، ۱:۳	مقاومتی برون‌گرا	هر دو نسبت موجب کاهش CK، LDH و DOMS شدند اما تفاوت معناداری بین دو نسبت مشاهده نشد.
عسجدی و همکاران (۱۳۹۶)	یک گروه گلوکز + BCAA و یک گروه گلوکز + پروتئین وی ۳۰ دقیقه قبل از آزمون	مقاومتی برون‌گرا	هر دو مخلوط موجب کاهش CK، LDH و DOMS در ۴۸ ساعت پس از آزمون شد، اما تفاوت معناداری با یکدیگر نداشتند.
معروفی (۱۳۹۸)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی با نسبت‌های ۱:۳ و ۲:۲ یک ساعت و بلافاصله قبل از آزمون	مقاومتی برون‌گرا (کراس‌فیت)	هر دو مخلوط باعث کاهش CK و MB شدند، اما در DOMS و کورتیزول، تفاوت معناداری بین گروه تجربی و کنترل مشاهده نشد.
رضوی (۱۳۹۹)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی با نسبت‌های ۱:۳ و ۲:۲ یک ساعت و بلافاصله قبل از آزمون	مقاومتی برون‌گرا (کراس‌فیت)	مخلوط کربوهیدراتی پروتئینی ۱:۳ باعث افزایش تستسترون شد. تغییرات IGF-1 معنادار نبود.
ووجیک و همکاران ۲۰۰۱	یک گروه مخلوط کربوهیدرات یک گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی (کازئین) بلافاصله و دو ساعت پس از آزمون	مقاومتی برون‌گرا	در تمامی گروه‌ها CK افزایش یافت که کمترین افزایش مربوط به گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی بود.

ساندرز و همکاران (۲۰۰۴)	یک گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی یک گروه مخلوط کربوهیدرات پس از آزمون و در فواصل ۱۵ دقیقه‌ای	استقامتی جلسه اول: رکاب زنی با ٪۷۰ VO_{2max} تا درماندگی جلسه دوم: رکاب زنی با ٪۸۵ VO_{2max} تا درماندگی	افزایش زمان درماندگی ارادی. CK در گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی در حد معناداری کمتر از گروه مخلوط کربوهیدرات بود.
میلارد و همکاران (۲۰۰۵)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی دو ساعت پس از آزمون	اسقامتی جلسه اول: ۲۱ کیلومتر دویدن با VO_{2max}٪۷۰ جلسه دوم: ۵ کیلومتر دویدن با ٪۹۰ VO_{2max}	مقادیر CK تفاوتی معناداری نداشت اما DOMS در گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی کمتر بود.
برد و همکاران (۲۰۰۵)	یک گروه مخلوط BCAA یک گروه مخلوط کربوهیدرات یک گروه مخلوط کربوهیدرات + BCAA	مقاومتی (٪۷۵ یک تکرار بیشینه)	تری‌متیل هیستیدین در گروه مخلوط کربوهیدرات + BCAA ۴۸ ساعت پس از آزمون کاهش یافت و رهایش کورتیزول نیز کاهش یافت.
رومانو و همکاران (۲۰۰۶)	یک گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی-آنتی اکسیدانی یک گروه مخلوط کربوهیدرات در فواصل ۱۵ دقیقه هنگام آزمون و بلافاصله پس از آزمون	استقامتی جلسه اول: کاب‌زنی با ٪۷۵ VO_{2max} جلسه دوم: رکاب‌زنی با ٪۸۰ VO_{2max}	مقادیر CK، LDH و DOMS درگروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی-آنتی اکسیدانی به طور معناداری کمتر بود.
جاکوب و همکاران (۲۰۰۷)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی	مقاومتی (۸ تکرار بیشینه)	CK و Mb و کورتیزول سرمی در گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی در مقایسه با گروه دارونما به صورت معناداری پایین‌تر بود.
ساندرز و همکاران (۲۰۰۷a)	مخلوط کربوهیدراتی مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی (۹۰ گرم کربوهیدرات و ۱۸ گرم پروتئین) مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی (۹۰ گرم کربوهیدرات و ۳۶ گرم پروتئین)	استقامتی دو ۸ کیلومتر با ٪۸۰ VO_{2max} ۵۰ کیلومتر رکاب‌زنی با ٪۷۰ VO_{2max} دو با ٪۸۰ VO_{2max} تا درماندگی	DOMS در گروه سوم به طور معناداری کم‌تر بود. در گروه دوم حداکثر انقباض ارادی کاهش معنادار یافت.
ساندرز و همکارانش (۲۰۰۷b)	ژل کربوهیدراتی ژل کربوهیدراتی-پروتئینی در فواصل ۱۵ دقیقه‌ای هنگام آزمون	استقامتی رکاب‌زنی تا درماندگی با ٪۷۵ VO_{2max}	در گروه مخلوط کربوهیدراتی در مقایسه با گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی، CK سرمی در مقایسه با قبل از آزمون، افزایش بیشتری داشت. همچنین، گروه مخلوط کربوهیدرات-پروتئین در مقایسه با گروه مخلوط کربوهیدرات، ٪۱۳ مدت زمان طولانی‌تری رکاب زدند.

مایلز و همکاران (۲۰۰۷)	مخلوط کربوهیدراتی	مقاومتی برون‌گرا	تفاوتی در CRP و IL-6 بین گروه مخلوط کربوهیدراتی و دارونما مشاهده نشد
وایت و همکاران (۲۰۰۸)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی گروه اول ۱۵ دقیقه قبل از آزمون گروه دوم ۱۵ دقیقه پس از آزمون	مقاومتی	تفاوتی میان گروه‌ها در شاخص‌های تخریب عضلانی مشاهده نشد.
ولنتین و همکاران (۲۰۰۸)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی مخلوط ایزوکالریک کربوهیدرات در فواصل ۱۵ دقیقه هنگام آزمون	استقامتی چهار مرتبه رکاب‌زنی تا درماندگی با VO_{2max} ٪۷۵	CK و Mb سرمی پس از اجرای آزمون در گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی در مقایسه با سه گروه دیگر پایین‌تر بود، اما تفاوتی میان گروه‌ها در DOMS مشاهده نشد.
کوک‌برن و همکاران (۲۰۰۸)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی مخلوط کربوهیدراتی شیر بلافاصله و دو ساعت پس از آزمون	مقاومتی	مقادیر CK و Mb سرمی، ۴۸ ساعت پس از آزمون در حد معناداری در گروه مخلوط کربوهیدارتی-پروتئینی در مقایسه با سایر گروه‌ها پایین‌تر بود.
ساندرز و همکارانش (۲۰۰۹)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی مخلوط کربوهیدراتی پس از آزمون	استقامتی دویدن ۳ مسافت ۲۰ کیلومتری (۵ کیلومتر آخر با شیب ٪۵)	CK سرمی و میزان درک کوفتگی پس از آزمون در حد معناداری در گروه مخلوط کربوهیدراتی زیادتر بود.
استپلز و همکاران (۲۰۱۱)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی مخلوط پروتئینی بلافاصله پس از آزمون	مقاومتی	مقادیر قند خون و انسولین در گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی در حد معناداری از گروه مخلوط پروتئین زیادتر بود. میزان لوسین در گروه مخلوط پروتئینی در زمان‌های ۶۰ و ۹۰ دقیقه پس از آزمون زیادتر از گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی بود.
سینز و همکاران (۲۰۱۱)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی	کانکارنت (پنج ست پنج تکراری اسکات از جلو با ٪۸۰ قدرت بیشینه با دو دقیقه استراحت بین هر ست و پس از آن ۱۵ دقیقه استراحت و استفاده از مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی یا دارونما و سپس اجرای هشت تکرار دوی ۱۰ ثانیه‌ای که بین هر تکرار ۴۵ ثانیه استراحت بود)	بلافاصله پس از آزمون، CK و Mb سرمی افزایش پیدا کردند و افزایش تروپونین نیز با CK همبستگی داشت. تفاوتی میان شاخص‌های تخریب عضلانی در دو گروه در بعد،۳۰،۶۰ و ۱۸۰ دقیقه پس از آزمون در دو گروه مشاهده نشد
هوانسون و همکاران (۲۰۱۲)	مخلوط BCAA بلافاصله قبل و بعد از آزمون	مقاومتی	CK در حد معناداری در گروه اسیدهای آمینه شاخه‌دار کمتر از گروه دارونما است. همچنین، حداکثر نیروی انقباض ارادی در گروه اسیدهای آمینه شاخه‌دار زیادتر از گروه دارونما بود؛ در سایر موارد تفاوتی میان دو گروه

مشاهده نشد.

لیهی و همکاران (۲۰۱۳)	مخلوط گلوکز + BCAA	مقاومتی	مخلوط گلوکز + اسیدهای آمینه در زنان موجب کاهش معنادار کوفتگی عضلانی تاخیری در ۲۴ ساعت پس از آزمون شد ولی این تفاوت در مردان مشاهده نشد.
ناکلریو و همکاران (۲۰۱۴)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی مخلوط کربوهیدراتی	استقامتی ۹۰ دقیقه دویدن با مسافت‌های ۱۵ متری متناوب	CK در حد معناداری در ۲۴ ساعت پس از آزمون با خوردن مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی در مقایسه با سایر مخلوط‌ها کم‌تر بود. همچنین، Mb یک ساعت پس از اجرای آزمون در هر دو گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی و مخلوط کربوهیدراتی در حد معناداری کم‌تر از گروه دارونما بود. تفاوتی در عملکرد سه گروه مشاهده نشد.
اسکوپاکوفسکی و همکاران (۲۰۱۵)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی مخلوط کربوهیدراتی چهار روز قبل و سه روز پس از آزمون	مقاومتی برون‌گرا	CK در حد معناداری در گروه مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی نسبت به گروه مخلوط کربوهیدراتی کم‌تر بود.
وست و همکاران (۲۰۱۷)	مخلوط کربوهیدراتی مخلوط پروتئین وی	مقاومتی	گروه مخلوط پروتئین وی در حد معناداری در ۲۴ ساعت پس از آزمون موجب سنتز پروتئین بیشتری در مقایسه با دو گروه مخلوط کربوهیدراتی و دارونما شد.
ون دوسلدروپ و همکاران (۲۰۱۸)	مخلوط BCAA قبل از آزمون	مقاومتی برون‌گرا	CK در گروه مخلوط BCAA در مقایسه با گروه دارونما در حد معناداری در ۴۸ ساعت پس از آزمون، پایین‌تر است. اما تفاوت معناداری در عملکرد ورزشکاران مشاهده نشد. همچنین، میزان تورم عضلانی در گروه BCAA در مقایسه با گروه دارونما در زمان های ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از آزمون کم‌تر بود.
مور و همکاران (۲۰۱۸)	مخلوط کربوهیدراتی-الکترولیتی بلافاصله پس از آزمون	تست شاتل	انسولین در گروه مخلوط کربوهیدراتی- الکترولیتی در حد معناداری در گروه دارونما زیادتر بود. مقادیر کورتیزول در گروه مخلوط کربوهیدراتی- الکترولیتی در همه مراحل آزمون از گروه دارونما کمتر بود.
فریرا و همکاران (۲۰۱۸)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی مخلوط کربوهیدراتی پس از آزمون	مقاومتی	در هر دو گروه گلوکز افزایش معنادار نسبت به گروه دارونما داشت. CK در حد معناداری در گروه دارونما افزایش پیدا کرد، در حالی‌که در گروه مخلوط کربوهیدراتی و کربوهیدراتی-پروتئینی افزایش CK سرمی معنادار نبود.

جانگ و همکاران (۲۰۱۸)	مخلوط کربوهیدراتی در چهار مرحله هنگام آزمون	مقاومتی	انسولین در گروه مخلوط کربوهیدراتی در حد معناداری بالاتر است. کورتیزول تفاوت معناداری در همه مراحل خون‌گیری در هر دو گروه نداشت.
ایسنمن و همکاران (۲۰۱۹)	مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی وعده غذایی کربوهیدراتی-پروتئینی	استقامتی دویدن به طول ۱۰ کیلومتر	بین دوگروه تفاوت معناداری وجود نداشت و هر دو مخلوط کربوهیدراتی-پروتینی و وعده غذایی موجب کاهش معنادار میوگلوبین و کراتین کیناز در ۲۴ ساعت پس از فعالیت ورزشی نسبت به دارونما شدند.

CK= Creatine Kinase, Mb= Myoglobin, DOMS= Delayed-onset muscle soreness, IL-6= Interleukin 6, CRP= C-reactive protein, LDH= Lactate dehydrogenase, BCAA= Branched-chain amino acid, IGF-1= Insulin-like growth factor 1

نتیجه‌گیری

امروزه به صورت روزافزونی استفاده از انواع مخلوط‌های کربوهیدراتی-پروتئینی در میان ورزشکاران حرفه‌ای و آماتور رواج یافته است که خوردن آن‌ها نیز در برخی موارد بدون توجه به توصیه‌های علمی و تنها از روی تجربه توسط برخی مربیان و ورزشکاران انجام می‌شود و به صورت غیر رسمی تاثیر نهایی آن‌ها بر عملکرد، بازیابی، ترکیب بدن و سلامت ورزشکار تائید و یا رد می‌شود. اما یافتن نسبتی درست از این دو درشت مغذی همواره مورد توجه پژوهشگران از گذشته تا به امروز قرار گرفته است. بسیاری از پژوهش‌ها نیز استفاده از نسبت‌های گوناگونی از دو درشت مغذی کربوهیدرات و پروتئین را در تهیه این مخلوط پیشنهاد کرده‌اند، اما کماکان به کارگیری نسبتی صحیح از آن‌ها و تاثیر آن بر کاهش شاخص‌های تخریب عضلانی پس از فعالیت ورزشی، مسئله‌ای مهم و ناواضح برای پژوهشگران است

بررسی پژوهش‌ها درباره استفاده از مداخله‌های تغذیه‌ای نشان می‌دهد شاخص‌های تخریب عضلانی با استفاده از مخلوط‌هایی که کربوهیدرات و پروتئین دارند، می‌توانند تغییر کنند و یا بدون تغییر باقی بمانند. با این حال، عمده مطالعات مورد بررسی درباره تاثیر استفاده از مخلوط‌های ورزشی بر شاخص‌های تخریب عضلانی و ایجاد محیط هورمونی مناسب و آنابولیکی، در فعالیت‌های ورزشی استقامتی و مقاومتی انجام شده است و تاثیر استفاده از مخلوط‌های کربوهیدراتی-پروتئینی در پروتکل‌های فعالیت ورزشی پرشدت‌تر تنها در عملکرد افراد در اجرای پروتکل‌ها بررسی شده است. در فعالیت‌های ورزشی مقاومتی و استقامتی برخی مطالعات نتایج متناقضی را نشان داده‌اند که در آن‌ها از درشت مغذی‌های کربوهیدرات و پروتئین و انواع آن‌ها با نسبت‌های متفاوت، زمان بندی و دوز مصرف گوناگون استفاده شده بود. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که استفاده صحیح و مناسب از مخلوط‌های کربوهیدراتی-پروتئینی باید با در نظر گرفتن مواردی مثل نسبت دو درشت مغذی، ریزمغذی‌ها، زمان‌بندی مصرف، رژیم و کالری دریافتی روزانه، نوع فعالیت ورزشی، جنسیت، سابقه تمرینی و اهداف مورد نظر انجام شود.

منابع

رزاقی ا... بررسی رابطه بین مدت زمان استراحت در تمرینات اینتروال برروی میزان آنزیم های لاکتاتدهیدروژناز و کراتینکیناز سرم خون در دانشجویان پس و تاثیر مصرف ویتامین سی برروی این آنزیمها. ۱۳۸۵, دانشگاه تهران.

رستمی دیدار. (۱۳۸۷). تاثیر مصرف مکمل اسید آمینه شاخه‌دار (BCAA) بر شاخصهای غیرمستقیم تخریب عضلانی دانشجویان پسر ورزشکار[پایان نامه کارشناسی ارشد:] دانشگاه تهران.

رضوی ر. (۱۳۹۹). مقایسه مصرف مکمل پروتئین-کربوهیدرات با نسبت های مختلف بر سطوح سرمی تستوسترون و IGF-1 پس از پروتکل فایت‌گان‌بد و سیندی بر ورزشکاران کراس‌فیت. [پایان نامه کارشناسی ارشد:]دانشگاه شهید بهشتی.

صمدی ع. مقایسه نسبتهای مختلف مکمل سازی کربوهیدرات-پروتئین بر شاخصهای تخریب عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی مقاومتی. ۱۳۸۸, دانشگاه تهران.

عسجدی ف.، محبی ح.، میرزاجانی ا.، ایزدی ع. (۱۳۹۶) تاثیر افزودن پروتئین وی و اسیدهای آمینه‌ی شاخه‌دار به نوشیدنی کربوهیدراتی بر شاخص‌های آسیب عضلانی پس از فعالیت مقاومتی برون‌گرا در مردان جوان تمرین نکرده. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک، سال بیستم:۲۹-۳۹.

عسجدی ف.، اراضی ح.، سحر فرازی ث. (۱۳۹۱). مقایسه اثر دو نسبت مکمل‌یاری کربوهیدرات-پروتئین Whey بر شاخص‌های آسیب عضله پس از فعالیت مقاومتی برون‌گرا. علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، سال هفتم(۴):۸۳-۹۲.

معروفی خ. (۱۳۹۸). مقایسه نسبت‌های گوناگون مخلوط کربوهیدراتی-پروتئینی بر شاخص‌های تخریب عضلانی پس از فعالیت ورزشی کراس‌فیت در دو پروتکل تمرینی متفاوت. [پایان نامه کارشناسی ارشد:]دانشگاه تهران.

هدایتی م. (۱۳۸۹). تاثیر زمانبندی مصرف مکمل اسیدهای آمینه شاخه‌دار بر شاخص‌های تخریب عضلانی ناشی از فعالیت ورزشی مقاومتی برون‌گرا [پایان نامه کارشناسی ارشد:]دانشگاه تهران.

Baty JJ, Hwang H, Ding Z, Bernard JR, Wang B, Kwon B, et al. The effect of a carbohydrate and protein supplement on resistance exercise performance, hormonal response, and muscle damage. 2007;21(2):321-329

Bird SP, Tarpenning KM ,Marino FE. Liquid carbohydrate/essential amino acid ingestion during a short-term bout of resistance exercise suppresses myofibrillar protein degradation. 2006;55(5):570-577.

Bloomer, R.J., The role of nutritional supplements in the prevention and treatment of resistance exercise-induced skeletal muscle injury. Sports Medicine, 2007. **37**(6): p. 519-532.

Cheung, K., P.A. Hume, and L.J.S.m. Maxwell, Delayed onset muscle soreness. 2003. **33**(2): p. 145-164.

Cockburn E, Hayes PR, French DN, Stevenson E, St Clair Gibson A. Acute milk-based protein–CHO supplementation attenuates exercise-induced muscle damage. Applied physiology, nutrition, and metabolism. 2008 Jul 4;33(4):775-83.

de Souza, R.F. and R.S. Aires, Rhabdomyolysis: Prolonged and high-intensity exercises, impact on renal function. 2018.

dos Santos Ferreira D, Toscano LT, Cabral TG, Cerqueira GS, de França ACL, Silva AS. Effect of carbohydrates versus carbohydrates plus proteins and antioxidants on oxidative stress and muscle damage induced by single bout resistance exercise. Sport Sciences for Health. 2018 Aug 1;14(2):387-92.

Goins, J.M., Physiological and Performance effects of CrossFit. 2014, University of Alabama Libraries.

Green, M. S., Corona, B. T., Doyle, J. A., & Ingalls, C. P.; Carbohydrate-protein drinks do not enhance recovery from exercise-induced muscle injury. International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 2008;18:1-18.

Hough, T.; Ergographic studies in muscular soreness. American physical education review. 1902;7:1-17.

Howatson G, Hoad M, Goodall S, Tallent J, Bell PG, French DN. Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids: a randomized, double-blind, placebo controlled study. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2012 Dec;9(1):20.

Isenmann E, Blume F, Bizjak DA, Hundsdörfer V, Pagano S, Schibrowski S, et al. Comparison of Pro-Regenerative Effects of Carbohydrates and Protein Administrated by Shake and Non-Macro-Nutrient Matched Food Items on the Skeletal Muscle after Acute Endurance Exercise. Nutrients. 2019 Apr;11(4):744.

Jung HL, Ryu JS, Kang HY. Hormonal Responses to Consecutive Carbohydrate Ingestions during Heavy-Resistance Exercise. Journal of Exercise Physiology Online. 2018 Oct 1;21(5).

Leahy DT, Pintauro SJ. Branched-chain amino acid plus glucose supplement reduces exerciseinduced delayed onset muscle soreness in college-age females. ISRN nutrition. 2013 Mar 17;2013.

Maroufi Kh., Razavi R., Gaeini AA., & Nourshahi M. (2020). The effects of acute consumption of carbohydrate-protein supplement in varied ratios on CrossFit athletes' performance in two CrossFit exercises: a randomized cross-over trial. Published Online First, DOI: 10.23736/S0022-4707.20.11774-2

Miles MP, Pearson SD, Andring JM, Kidd JR, Volpe SL. Effect of carbohydrate intake during recovery from eccentric exercise on interleukin-6 and muscle-damage markers. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2007 Dec 1;17(6):507-20.

Millard-Stafford M, Warren GL, Thomas LM, Doyle JA, Snow T, Hitchcock KJ, et al. Recovery from run training: efficacy of a carbohydrate-protein beverage. International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 2005 Dec 1;15(6):610-24.

Mor A, Kayacan Y, Ipekoglu G, Arslanoglu E. Effect of carbohydrate–electrolyte consumption on insulin, cortisol hormones and blood glucose after high-intensity exercise. Archives of physiology and biochemistry. 2019 Aug 8;125(4):344-50.

Moro, T., et al., Whey Protein Hydrolysate Increases Amino Acid Uptake, mTORC1 Signaling, and Protein Synthesis in Skeletal Muscle of Healthy Young Men in a Randomized Crossover Trial. 2019.

Naclerio F, Larumbe-Zabala E, Cooper R, Jimenez A, Goss-Sampson M. Effect of a carbohydrate-protein multi-ingredient supplement on intermittent sprint performance and muscle damage in

Oct;10(10):1389.

Peake, J., et al., Carbohydrate supplementation and alterations in neutrophils, and plasma cortisol and myoglobin concentration after intense exercise Eur J Appl Physiol, 2004. **93**(5): p. 672-678.

Ranabir, S., & Reetu, K. (2011). Stress and hormones. Indian journal of endocrinology and metabolism, 15(1), 18.

recreational athletes. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2014 May 5;39(10):1151-8.

Romano-Ely BC, Todd MK, Saunders MJ ,LAURENT TS. Effect of an isocaloric carbohydrate-protein-antioxidant drink on cycling performance. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2006 Sep 1;38(9):1608-16.

Saenz C. Effect of a Protein-Carbohydrate Beverage on Muscle Damage During an Acute Bout of Concurrent Exercise in Competitively-Training "Crossfit" Men. 2011.

Saunders MJ, Kane MD, Todd MK. Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2004 Jul 1;36(7):1233-8.

Saunders MJ, Luden ND, Herrick JE. (b). Consumption of an oral carbohydrate-protein gel improves cycling endurance and prevents postexercise muscle damage. Journal of Strength and Conditioning Research. 2007 Aug 1;21(3):678.

Saunders MJ, Moore RW, Kies AK, Luden ND, Pratt CA. Carbohydrate and protein hydrolysate coingestion's improvement of late-exercise time-trial performance. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2009 Apr 1;19(2):136-49.

Saunders MJ, Moore RW, Pratt CA, Hammer MC, Lehman KL, Mattox LB, et al. (a). Changes in Post-Exercise Force Production and Soreness Related to Protein Hydrolysate Concentration of Sports Beverages: 2066Board# 136 May 31 3: 30 PM 5: 00 PM. 2007;39(5):S363.

Smith, J.W., et al., Effects of carbohydrate and branched-chain amino acid beverage ingestion during acute upper body resistance exercise on performance and postexercise hormone response. 2017. **43**(5): p. 504-509.

Staples AW, Burd NA, West D, Currie KD, Atherton PJ, Moore DR, et al. Carbohydrate does not augment exercise-induced protein accretion versus protein alone. Med Sci Sports Exerc. 2011 Jul 1;43(7):1154-61.

Szczupakowski A, Gallivan M. The Influence of Carbohydrate Plus Protein Supplementation on Markers of Exercise Induced Muscle Damage. 2015.

Valentine RJ, Saunders MJ, Todd MK, Laurent TG. Influence of carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and indices of muscle disruption. International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 2008 Aug 1;18(4):363-78.

VanDusseldorp T, Escobar K, Johnson K, Stratton M, Moriarty T, Cole N, et al. Effect of branched-chain amino acid supplementation on recovery following acute eccentric exercise. Nutrients. 2018.

Webster, T.J.C.J.A., Muscle Damage and Soreness: An Overview. 2008.

West D ,Abou Sawan S, Mazzulla M, Williamson E, Moore D. Whey protein supplementation enhances whole body protein metabolism and performance recovery after resistance exercise: A double-blind crossover study. Nutrients. 2017;9(7):735.

White JP, Wilson JM, Austin KG, Greer BK, St John N, Panton LB. Effect of carbohydrate-protein supplement timing on acute exercise-induced muscle damage. 2008;5(1):5.

White, J.P., et al., Effect of carbohydrate-protein supplement timing on acute exercise-induced muscle damage. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2008. **5**(1): p. 1-7.

Wojcik JR, Walberg-Rankin J, Smith LL, Gwazdauskas FC. Comparison of carbohydrate and milk-based beverages on muscle damage and glycogen following exercise. International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 2001 Dec 1;11(4):406-19.