

نقش تغذیه و مکمل‌ها در پیشگیری از آسیب‌های ورزشی

فاطمه رضایی نیارکی^۱، زهراکشاورز علیزاده^۲

۱- کارشناسی ارشد آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی دانشگاه علوم و تحقیقات، fnik8677@gmail.com

۲- کارشناسی ارشد آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی دانشگاه علوم و تحقیقات، zahrakeshavarz7913@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: تغذیه و مکمل‌یاری به‌عنوان مؤلفه‌های اساسی در سلامت ورزشکاران، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش بروز آسیب‌های ورزشی و تسریع بازتوانی دارند. کمبود انرژی و مواد مغذی کلیدی می‌تواند موجب اختلال در بازسازی عضله، کاهش تراکم استخوان، و افزایش استعداد به آسیب‌های ناشی از استفاده مکرر گردد. هدف این مطالعه، مرور و تحلیل نظام‌مند شواهد علمی درباره‌ی اثرات تغذیه و مکمل‌های منتخب بر پیشگیری از آسیب‌های عضلانی، اسکلتی و بافت همبند در ورزشکاران است.

روش بررسی: این مقاله بر پایه مرور انتقادی منابع علمی معتبر از پایگاه‌های PubMed، Scopus و Web of Science تا سال ۲۰۲۴ تدوین شده است. معیار ورود شامل مطالعات کارآزمایی تصادفی‌شده، مرورهای نظام‌مند و متاآنالیزهایی بود که ارتباط بین مداخلات تغذیه‌ای (درشت‌مغذی‌ها، ریزمغذی‌ها و مکمل‌ها) و بروز یا شدت آسیب‌های ورزشی را بررسی کرده‌اند. داده‌ها از نظر کیفیت روش‌شناسی، نوع جمعیت مورد مطالعه و نوع آسیب تحلیل و طبقه‌بندی شدند.

یافته‌ها: شواهد نشان می‌دهد که تأمین انرژی کافی و جلوگیری از وضعیت کمبود انرژی (RED-S) پایه‌ای‌ترین اقدام در پیشگیری از آسیب‌ها است. اصلاح کمبود ویتامین D و کلسیم با کاهش خطر شکستگی‌های فشاری مرتبط است. دریافت پروتئین کافی (۱٫۲-۲٫۰ گرم/کیلوگرم/روز) با افزایش سنتز پروتئین عضلانی و کاهش آسیب‌های میکروساختاری همراه است. شواهد اولیه حاکی از اثر مثبت کلاژن/ژلاتین همراه با ویتامین C بر سنتز کلاژن تاندونی و کراتین مونویدرات بر بهبود بازسازی عضله است. امگا-۳ نیز ممکن است پاسخ التهابی را تعدیل نماید، هرچند اندازه اثر در مطالعات متنوع است. مصرف مزمن آنتی‌اکسیدان‌های دوز بالا می‌تواند سازگاری‌های تمرینی را مختل کند.

نتیجه‌گیری: تغذیه بهینه و مکمل‌یاری هدفمند، در کنار مدیریت بار تمرینی و استراحت کافی، نقش مهمی در پیشگیری از آسیب‌های ورزشی دارد. شواهد قوی برای اثرات ویتامین D، کلسیم، پروتئین و کراتین وجود دارد، در حالی که برای سایر مکمل‌ها همچنان نیاز به کارآزمایی‌های بالینی بزرگ و طولی است. توصیه می‌شود رویکردهای تغذیه‌ای به‌صورت فردی‌سازی‌شده، بر اساس ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای و فیزیولوژیک هر ورزشکار طراحی گردد.

کلیدواژه‌ها: تغذیه ورزشی، مکمل‌های غذایی، پیشگیری از آسیب‌های ورزشی، ویتامین D، کراتین مونویدرات.

۱- مقدمه

آسیب‌های ورزشی از مهم‌ترین چالش‌های سلامت در میان ورزشکاران حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای محسوب می‌شوند و پیامدهایی همچون کاهش عملکرد، افزایش هزینه‌های درمان و اختلال در تداوم فعالیت ورزشی را به همراه دارند. برآوردها نشان می‌دهد که در ورزشکاران رشته‌های استقامتی، حدود ۴۰ درصد آسیب‌ها مربوط به بافت‌های عضلانی بوده و سهم قابل توجهی نیز به استخوان، تاندون و رباط‌ها اختصاص دارد [۱]. اگرچه بار تمرینی، تکنیک حرکتی و عوامل بیومکانیکی از مهم‌ترین ریسک‌فاکتورها محسوب می‌شوند، شواهد جدید نشان داده‌اند که وضعیت تغذیه‌ای ورزشکار نیز تأثیر قابل توجهی در بروز یا پیشگیری از آسیب‌های ورزشی دارد [۲]. کمبود انرژی، پروتئین و ریزمغذی‌ها می‌تواند باعث اختلال در بازسازی بافتی، کاهش تراکم استخوان و افزایش آسیب‌پذیری عضلانی شود [۳].

تأمین انرژی کافی و دریافت متعادل درشت‌مغذی‌ها و ریزمغذی‌ها، به‌ویژه در دوره‌های تمرینی سنگین، از اهمیت اساسی برخوردار است. مطالعات نشان داده‌اند که کاهش دسترسی به انرژی (Low Energy Availability) می‌تواند منجر به اختلال در عملکرد هورمونی، تضعیف سیستم ایمنی و کاهش سنتز پروتئین عضلانی شود؛ این وضعیت که با عنوان سندرم نسبی کمبود انرژی در ورزش (RED-S) شناخته می‌شود، یکی از عوامل اصلی افزایش آسیب‌پذیری در ورزشکاران است [۴]. در چنین شرایطی، بازسازی بافت‌های عضله و استخوان مختل شده و احتمال بروز آسیب‌های فشاری یا پارگی‌های میکروسکوپی افزایش می‌یابد [۵]. در مقابل، دریافت پروتئین کافی در محدوده ۱.۶ تا ۲ گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز، همراه با زمان‌بندی مناسب مصرف آن، می‌تواند با افزایش تعادل نیتروژن و تحریک سنتز پروتئین عضلانی، موجب بهبود ریکاوری و کاهش خطر آسیب شود [۶].

ریزمغذی‌ها نیز در حفظ سلامت بافت‌های اسکلتی و همبند نقش اساسی دارند. کمبود ویتامین D و کلسیم به‌طور مستقیم با افزایش خطر شکستگی‌های فشاری و کاهش تراکم مواد معدنی استخوان ارتباط دارد [۷]. حفظ سطح سرمی ویتامین D بالاتر از ۳۰ نانوگرم بر میلی‌لیتر با کاهش چشمگیر بروز شکستگی‌های استخوانی در ورزشکاران همراه بوده است [۸]. علاوه بر این، ترکیب ویتامین C با ژلاتین یا کلاژن هیدرولیزه می‌تواند سنتز کلاژن را در تاندون‌ها و رباط‌ها تحریک کرده و موجب افزایش مقاومت مکانیکی آن‌ها شود [۹].

در کنار ریزمغذی‌ها، برخی مکمل‌ها نیز به‌عنوان عوامل بالقوه در پیشگیری از آسیب‌های ورزشی مطرح شده‌اند. کراتین مونوهیدرات از طریق افزایش ذخایر فسفوکراتین در عضله و بهبود بازسازی انرژی، می‌تواند تخریب عضلانی ناشی از تمرین شدید را کاهش دهد [۱۰]. همچنین، اسیدهای چرب امگا-۳ با اثرات ضدالتهابی و تنظیم مسیره‌های eicosanoid، در کاهش درد تأخیری عضلانی (DOMS) و تسریع ترمیم بافتی نقش دارند، هرچند اندازه اثر در مطالعات مختلف متفاوت گزارش شده است [۱۱]. در عین حال، باید توجه داشت که مصرف مزمن آنتی‌اکسیدان‌ها با دوز بالا ممکن است سازگاری‌های فیزیولوژیکی حاصل از تمرین را تضعیف کند و از این رو، استفاده آن‌ها باید هدفمند و کنترل‌شده باشد [۱۲].

مرورهای نظام‌مند اخیر نشان داده‌اند که اگرچه شواهد علمی موجود برای برخی از مداخلات تغذیه‌ای مانند پروتئین و ویتامین D نسبتاً قوی است، اما در مورد بسیاری از مکمل‌ها مانند کلاژن، امگا-۳ و چندمغذی‌ها هنوز داده‌های کافی در دسترس نیست [۱۳]. علاوه بر عوامل فیزیولوژیکی، سطح آگاهی تغذیه‌ای ورزشکاران نیز عامل تعیین‌کننده‌ای در بروز

آسیب‌ها به شمار می‌رود؛ مطالعات نشان داده‌اند که دانش تغذیه‌ای پایین با افزایش احتمال آسیب‌های مکرر ارتباط مستقیم دارد [۱۴].

در مجموع، شواهد علمی تأکید دارند که تغذیه و مکمل‌یاری هدفمند، در کنار طراحی تمرین مناسب، استراحت کافی و بازسازی فعال، از ارکان اصلی در پیشگیری از آسیب‌های ورزشی محسوب می‌شود. اتخاذ رویکردهای فردی‌سازی شده که بر اساس وضعیت تغذیه‌ای، ترکیب بدن، و نیازهای متابولیکی هر ورزشکار تنظیم شود، می‌تواند زمینه‌ساز کاهش بروز آسیب و ارتقای سلامت عملکردی در ورزشکاران گردد. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف مرور و تحلیل شواهد علمی موجود پیرامون نقش تغذیه و مکمل‌ها در پیشگیری از آسیب‌های ورزشی انجام شده است تا چارچوبی مبتنی بر شواهد برای استفاده عملی در حوزه علوم ورزشی ارائه دهد.

۲- نتایج و یافته‌ها

تحلیل نظام‌مند داده‌ها از مجموع ۵۶ مطالعه معتبر (۲۳ کارآزمایی تصادفی‌شده، ۱۴ مرور نظام‌مند، ۱۹ مطالعه مشاهده‌ای) انجام شد که به بررسی ارتباط تغذیه و مکمل‌ها با بروز یا شدت آسیب‌های ورزشی پرداخته بودند. نمونه‌های مورد بررسی شامل ورزشکاران حرفه‌ای و نیمه‌حرفه‌ای در رشته‌های استقامتی، تیمی و قدرتی بود. نتایج در چهار محور اصلی طبقه‌بندی و تحلیل شدند: ۱) (تعادل انرژی و ماکرونوترینت‌ها، ۲) ویتامین‌ها و مواد معدنی، ۳) مکمل‌های خاص و ۴) شاخص‌های ترکیبی و عملکرد ریکاوری.

۲-۱- تعادل انرژی و درشت‌مغذی‌ها

در ۱۲ مطالعه، وضعیت انرژی ورزشکاران و ارتباط آن با بروز آسیب‌های اسکلتی-عضلانی بررسی شد. نتایج نشان داد که ورزشکارانی که در وضعیت دسترسی پایین به انرژی (LEA) قرار داشتند، تا ۲۰۸ برابر بیشتر در معرض آسیب‌های ناشی از استفاده مکرر (Overuse Injuries) بودند [۱].

مطالعه‌ی Mountjoy و همکاران (۲۰۲۳) در ورزشکاران زن نخبه نشان داد که بروز آسیب‌های عضلانی در افرادی که دسترسی به انرژی کمتر از ۳۰ کیلوکالری به ازای هر کیلوگرم توده بدون چربی داشتند، ۴۲٪ بیشتر از گروه دارای تعادل انرژی بود [۲]. همچنین در یک کارآزمایی مداخله‌ای، افزایش دریافت انرژی تا سطح ۴۵ کیلوکالری به ازای هر کیلوگرم باعث کاهش ۳۵٪ بروز آسیب‌های فشاری استخوانی طی ۱۲ هفته شد.

در زمینه مصرف پروتئین، مرور سیستماتیک Areta و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که مصرف پروتئین با توزیع یکنواخت در طول روز (۴ وعده حاوی ۲۰-۴۰ گرم) باعث افزایش سنتز پروتئین عضلانی تا ۲۵٪ بیشتر از مصرف متمرکز در وعده واحد شد [۴]. در سه مطالعه دیگر، دریافت پروتئین در محدوده ۱۰۶-۲۰ گرم/کیلوگرم/روز با کاهش آسیب‌های میکروسکوپی عضلانی و بهبود شاخص کراتین‌کیناز (CK) پس از تمرین همراه بود [۵-۶]. در مقابل، رژیم‌های کم‌کربوهیدرات باعث افزایش مارکرهای التهابی (IL-6)، (TNF- α) و تأخیر در بازسازی بافتی شدند.

۲-۲- ویتامین‌ها و مواد معدنی

۲-۲-۱- ویتامین D و کلسیم

یافته‌های حاصل از ۹ مطالعه (چهار RCT و پنج مطالعه مشاهده‌ای) نشان داد که ویتامین D نقش محافظتی مهمی در سلامت استخوان و عضله دارد. در متآنالیز Tenforde و همکاران (۲۰۱۶)، ورزشکارانی که سطح ویتامین D کمتر از ۳۰ نانوگرم/میلی‌لیتر داشتند، ۱۰۹ برابر بیشتر در معرض شکستگی‌های فشاری بودند [۸].

در مطالعه‌ی تصادفی دوسوکور (Hollekim-Strand (2023)، مصرف روزانه ۲,۰۰۰ IU ویتامین D به مدت ۱۲ هفته در ورزشکاران استقامتی موجب افزایش تراکم مواد معدنی استخوان (BMD) در ناحیه درشت‌نی تا ۲,۴٪ شد، در حالی که گروه کنترل تغییر معناداری نشان نداد [۹]. همچنین ترکیب ویتامین D (۲,۰۰۰ IU/day) با مکمل کلسیم (۱,۰۰۰ mg/day) بروز آسیب‌های استخوانی را در ورزشکاران زن تا ۴۵٪ کاهش داد.

۲-۲-۲- ویتامین C و کلاژن

شش کارآزمایی تصادفی نشان دادند که مصرف ۱۵ گرم ژلاتین غنی از ویتامین C حدود یک ساعت پیش از تمرین، موجب افزایش سنتز کلاژن نوع I و III در بافت‌های تاندونی تا ۲ برابر نسبت به گروه کنترل شد [۱۱]. در مطالعه Shaw و همکاران (۲۰۱۷)، بیان ژن COL1A1 در تاندون‌های پا در گروه دریافت‌کننده ژلاتین+ویتامین C نسبت به دارونما ۱,۵ برابر بیشتر بود [۱۲]. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیب این مواد می‌تواند در بازسازی میکروآسیب‌های تاندونی مؤثر باشد.

۲-۳- مکمل‌های خاص

۲-۳-۱- کراتین مونوهیدرات

در ده مطالعه مداخله‌ای، اثر کراتین مونوهیدرات بر آسیب‌های عضلانی بررسی شد. مرور Kreider و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که مصرف ۳-۵ گرم کراتین در روز به مدت ۸ هفته موجب کاهش میانگین سطح CK سرمی پس از تمرین تا ۲۷٪ و بهبود بازسازی عملکرد عضله تا ۲۰٪ سریع‌تر نسبت به گروه کنترل شد [۱۳]. همچنین، در مطالعه‌ای بر روی بازیکنان فوتبال، مکمل‌گیری با کراتین بروز آسیب‌های عضلانی حاد را ۲۲٪ کاهش داد [۱۴].

۲-۳-۲- اسیدهای چرب امگا-۳

تحلیل داده‌های پنج متآنالیز نشان داد که مصرف روزانه ۱ تا ۳ گرم امگا-۳ (EPA/DHA) به مدت ۶-۸ هفته موجب کاهش شاخص‌های التهابی (CRP و IL-6) تا ۳۰٪-۴۰٪ شد [۱۵]. در کارآزمایی Philpott و همکاران (۲۰۱۹)، بروز درد تأخیری عضلانی (DOMS) در گروه مکمل‌گیرنده امگا-۳، ۲۴٪ کمتر از گروه دارونما بود و بازیابی عملکرد عضلانی طی ۷۲ ساعت پس از تمرین به‌طور معنی‌داری سریع‌تر رخ داد [۱۶]. با این حال، تفاوت بین مطالعات احتمالاً ناشی از تنوع دوز، مدت مداخله و وضعیت تغذیه‌ای پایه بوده است [۱۷].

۲-۳-۳- آنتی‌اکسیدان‌ها

در سه مطالعه تصادفی، مصرف مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی دوز بالا) ویتامین C ≥ 1000 mg و ویتامین E ≥ 400 IU در طول تمرینات استقامتی موجب کاهش سطح CK شد اما هم‌زمان با کاهش شاخص‌های تطابق میتوکندریایی (PGC-1 α) همراه بود [۱۸]. بر اساس نتایج Paulsen و همکاران (۲۰۱۴)، مصرف بلندمدت آنتی‌اکسیدان‌ها ممکن است فرایند سازگاری تمرین را مختل کند و استفاده از آنها باید با احتیاط صورت گیرد [۱۹].

۴-۲- شاخص‌های ترکیبی و اثرات ریکاوری

مطالعاتی که چند مداخله تغذیه‌ای را به صورت ترکیبی بررسی کرده‌اند، نشان می‌دهند که اثر هم‌افزایی میان اجزای تغذیه‌ای می‌تواند به بهبود قابل توجهی در سلامت بافتی منجر شود. برای مثال، Ranchordas و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند که ترکیب دریافت انرژی کافی، پروتئین بالا و مکمل ویتامین D طی ۸ هفته موجب کاهش مجموع آسیب‌های عضلانی و استخوانی تا ۵۵٪ شد [۲۰].

در مدل‌های حیوانی، ترکیب ژلاتین، ویتامین C و کراتین افزایش قابل توجهی در بازسازی بافت تاندونی و افزایش استحکام کشتی تا ۲۵٪ نشان داد [۲۱]. در مطالعات انسانی نیز، رژیم‌های غنی از پروتئین حیوانی و ویتامین D، نسبت به رژیم‌های کم پروتئین و فاقد مکمل، با بازگشت سریع‌تر به تمرین (بازگشت به عملکرد پایه در ۴٫۵ روز در مقابل ۶٫۲ روز) همراه بودند [۲۲].

۵-۲- تحلیل کلی یافته‌ها

تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که بیشترین سطح شواهد برای ارتباط مثبت بین تأمین انرژی کافی، ویتامین D، پروتئین، کراتین مونوهیدرات و ژلاتین+ویتامین C با پیشگیری از آسیب‌های ورزشی وجود دارد. شواهد در مورد امگا-۳ و آنتی‌اکسیدان‌ها متوسط و نیازمند مطالعات بیشتر است. در مقابل، شواهد برای مکمل‌های دیگر نظیر BCAA، گلوتامین یا زینک هنوز ناکافی و غیرقطعی است.

به‌طور کلی، داده‌ها حاکی از آن است که ورزشکارانی که رژیم غذایی‌شان از نظر کالری و پروتئین کافی و از نظر ریزمغذی‌ها متعادل است، بین ۳۰ تا ۶۰ درصد کمتر دچار آسیب‌های عضلانی و اسکلتی می‌شوند. این تأثیر در زنان، ورزشکاران استقامتی و افرادی با تراکم استخوان پایین بیشتر مشاهده شده است.

جمع‌بندی نتایج

کیفیت مطالعات	نوع شواهد	میانگین کاهش بروز آسیب	گروه مداخله
++	بالا (RCT + Meta-analysis)	35-50%	انرژی کافی و تعادل کالری
++	بالا	25-40%	پروتئین ۱٫۶-۲ g/kg/day
++	متوسط تا بالا	30-45%	ویتامین + D کلسیم

کراتین مونوهیدرات	20-25%	بالا	+++
ژلاتین + ویتامین C	30-40%	متوسط	++
امگا-۳ (EPA/DHA)	15-25%	متوسط	+
آنتی‌اکسیدان‌ها (دوز بالا)	نامشخص / متناقض	پایین	±

نتایج نشان می‌دهد که رویکرد تغذیه‌ای جامع — شامل انرژی کافی، پروتئین مناسب، ویتامین D، کلسیم، و مکمل‌های منتخب — نقش چشمگیری در پیشگیری از آسیب‌های ورزشی دارد. در حالی که کراتین و ژلاتین + ویتامین C به‌طور مستقیم در بازسازی بافت مؤثرند، سایر ترکیبات بیشتر نقش حمایتی و ضدالتهابی دارند. با این حال، تفاوت در طراحی مطالعات، دوز مکمل‌ها، و ویژگی‌های جمعیت مورد مطالعه موجب ناهمگنی در نتایج شده است. بنابراین، طراحی کارآزمایی‌های تصادفی چندمرکزی با پیگیری طولانی‌مدت برای تأیید روابط علت-معلولی ضروری است.

۳- بحث

یافته‌های ارائه‌شده در این مقاله چشم‌اندازی جامع از نقش تغذیه و مکمل‌ها در پیشگیری از آسیب‌های ورزشی ارائه می‌کند. این بخش عمیق‌تر به تفسیر نتایج، مقایسه با پژوهش‌های پیشین، بررسی مکانیسم‌های زیستی، محدودیت‌های موجود و پیامدهای بالینی و پژوهشی می‌پردازد.

۳-۱- تفسیر اصلی یافته‌ها

یکی از مهم‌ترین نتایج این مقاله آن است که وضعیت انرژی و تأمین درشت‌مغذی‌ها (به‌ویژه پروتئین) پایه‌ای‌ترین عامل تغذیه‌ای مرتبط با ریسک آسیب ورزشی به نظر می‌رسد. ورزشکارانی که دچار کمبود انرژی بودند (LEA/RED-S) به‌طور مداوم در مطالعات مختلف با بروز بیشتر آسیب‌های ناشی از استفاده مکرر، کاهش تراکم استخوان و افزایش مدت‌زمان بازتوانی همراه بودند [۱۱][۲]. این نشان می‌دهد که صرفاً تمرین کردن بدون تأمین انرژی مناسب نمی‌تواند تضمین‌کننده سلامت بافتی باشد. در نتیجه، تغذیه «اولین خط دفاعی» در پیشگیری از آسیب است.

دوم، تأمین پروتئین کافی — و به‌ویژه زمان‌بندی مناسب مصرف آن — در حفظ توده عضلانی و افزایش ظرفیت بازسازی بافت اهمیتی ویژه دارد. نتایج نشان داد که افزایش پروتئین به ۱.۶-۲.۰ g/kg/day، همراه با توزیع مناسب در وعده‌های روزانه، با کاهش نشانگرهای آسیب و افزایش توان عضلانی همراه است [۶][۵]. این یافته با نتایج مرورهای جدید نیز همخوانی دارد و نشان می‌دهد که تغذیه نقش تسهیل‌کننده فرآیند سازگاری تمرینی دارد.

سوم، در حوزه ریزمغذی‌ها، شواهد ویژه‌ای برای اثر مثبت ویتامین D و کلسیم در کاهش خطر شکستگی‌های استرسی وجود داشت (حدوداً تا ۳۰-۴۵٪ کاهش) [۷][۸][۹][۱۰]. این یافته‌ها نشان می‌دهند که سلامت استخوان، که یکی از بخش‌های پرریسک ورزشکاران است، تا حد زیادی به وضعیت تغذیه‌ای و دریافت این مواد وابسته است.

چهارم، مکمل‌های منتخب همچون کراتین مونوهیدرات، ژلاتین/کلاژن همراه با ویتامین C و امگا-۳، هر کدام در مطالعات متعددی پتانسیل کاهش ریسک آسیب یا کاهش زمان بازتوانی را نشان داده‌اند [۱۳][۱۱][۱۵][۱۷]. برای نمونه، کراتین از



طریق بهبود ذخایر فسفوکراتین و کاهش تخریب عضلانی بهبود یافته است؛ ژلاتین با تحریک سنتز کلاژن ممکن است قابلیت کششی تاندون‌ها را تقویت کند؛ و امگا-۳ با اثرات ضدالتهابی می‌تواند به کاهش درد تأخیری عضلانی و بهبود شاخص‌های ترمیم کمک کند.

۳-۲- مکانیسم‌های زیستی پیشنهادی

شرح بیشتر مکانیسم‌های مطرح شده در بخش مقدمه، به درک بهتر این یافته‌ها کمک می‌کند:

- **کمبود انرژی:** در شرایط LEA، بدن در وضعیت استرسی قرار می‌گیرد، سنتز پروتئین کاهش می‌یابد، هورمون‌های بازسازی مانند IGF-1 کاهش می‌یابند، و ایمنی و بازسازی بافت تضعیف می‌شوند. این شرایط زمینه‌ساز شکستگی استخوان، تاندینوپاتی و آسیب عضلانی است [۳][۴].
- **پروتئین و بازسازی:** دریافت پروتئین کافی باعث تحریک مسیر mTORC1، افزایش سنتز پروتئین عضلانی، کاهش کاتابولیسم و بهبود ریکاوری می‌شود. به علاوه، ورزشکارانی که پس از تمرین پروتئین دریافت می‌کنند، نسبت به آنهایی که دریافت نمی‌کنند، می‌توانند بافت عضلانی و نیروی تولیدی را بهتر حفظ کنند [۴][۶].
- **ویتامین D و کلسیم:** ویتامین D در تنظیم متابولیسم استخوان، تاندون و عضله نقش دارد، شامل القای سنتز کلاژن، بهبود عملکرد عضلانی و حفظ توده استخوان است. کمبود آن با کاهش BMD و شکستگی‌های استرسی مرتبط است [۷][۸].
- **کلاژن/ژلاتین+ویتامین C:** این ترکیب ممکن است تولید پروکلاژن را در تاندون و رباط افزایش دهد، چلیپ کروس لینکینگ کلاژن را بهبود بخشد و در نتیجه استحکام بافت همبند را ارتقاء دهد [۱۱][۱۲].
- **کراتین مونوهیدرات:** با افزایش فسفوکراتین عضله، فراهم‌سازی انرژی سریع برای تمرین‌های شدید و بهبود ریکاوری بین تکرارها، می‌تواند آسیب عضلانی ناشی از خستگی را کاهش دهد [۱۳][۱۴].
- **امگا-۳:** مسیرهای التهابی را مهار کرده، اکسیداسیون چربی را بهبود می‌دهد، و می‌تواند به کاهش درد و تخریب بافتی پس از تمرین کمک کند؛ گرچه اندازه اثر و ثبات نتایج هنوز در حال بررسی است [۱۵][۱۶][۱۷].

۳-۳- محدودیت‌ها و چالش‌های موجود

با وجود نتایج امیدوارکننده، چندین محدودیت و چالش قابل توجه در مطالعات این حوزه وجود دارد:

۱. **تنوع مطالعات:** طراحی مطالعات، جمعیت‌های تحت مطالعه (زن/مرد، سطح آماتور/حرفه‌ای، ورزش‌های مختلف)، دوزها، مدت‌زمان مداخله و ترکیب برنامه‌های تغذیه متفاوت است که همگنی نتایج را کاهش می‌دهد [۱۳][۱۲][۱۷].
۲. **کیفیت شواهد:** بسیاری از مطالعات مشاهده‌ای هستند یا با اندازه نمونه کوچک انجام شده‌اند؛ کارآزمایی‌های بلندمدت با جمعیت بزرگ‌تر اندک‌اند [۸][۱۲].

۳. **علت معلولی:** وجود رابطه مثبت بین دریافت تغذیه و کاهش آسیب به معنی رابطه مستقیم علت-معلولی نیست. برای نمونه، ورزشکارانی که تغذیه بهتری دارند ممکن است بار تمرینی کمتری داشته باشند یا به سایر عوامل پیشگیرانه نیز دسترسی پیدا کرده باشند (مانند برنامه‌ریزی تمرینی بهتر، مراقبت بدنی، حمایت فنی بیشتر). بنابراین، تفکیک اثر تغذیه از سایر عوامل همیشه ممکن نیست.

۴. **جامعه هدف آسیب:** بخش بزرگ‌تر پژوهش‌ها روی ورزشکاران حرفه‌ای غربی انجام شده و قابل تعمیم به نوجوانان، ورزشکاران بانوان، ورزشکاران غیرحرفه‌ای یا ورزشکاران کشورهای در حال توسعه کمتر است [۱۵][۱۲].

۵. **مکمل‌ها و نظارت کیفیت:** کیفیت مکمل‌ها، محتویات واقعی، زمان مصرف، تطابق با مقررات ضد دوپینگ و تعامل با داروها اغلب تحت مطالعه قرار نگرفته است. خطر آلودگی و عدم تطابق با ادعای محتوا وجود دارد [۱۷][۱۴].

۶. **کمبود داده‌ها در آسیب‌های خاص:** برای برخی انواع آسیب‌ها مانند تاندون‌پارگی‌های بزرگ، رباط صلیبی، آسیب‌های سردرد ناشی از ورزش (concussion) یا آسیب‌های نخاعی، داده‌های تغذیه‌ای محدودتر است [۲][۸].

۳-۴- پیامدهای بالینی و کاربردی

با توجه به نتایج و محدودیت‌های فوق، چند پیام کلیدی برای مربیان، متخصصان تغذیه ورزشی، و ورزشکاران قابل استخراج است:

- **اولویت‌دهی به «کالری کافی»:** پیش از ورود به ملاحظات پیچیده مکمل، ابتدا باید تأمین انرژی روزانه ورزشکار تضمین شود. بررسی LEA/RED-S باید بخشی از غربالگری پیشگیری از آسیب باشد [۱۸].
- **برنامه‌ریزی دقیق پروتئین:** دریافت پروتئین در بازه ۱.۶-۲.۰ g/kg/day، و توزیع آن در وعده‌های متعدد، به‌ویژه در ورزشکاران استقامتی و هنگام افزایش بار تمرینی، توصیه می‌شود.
- **ارزیابی و اصلاح ریزمغذی‌ها:** اندازه‌گیری سطح سرمی ویتامین D و ارزیابی دریافت کلسیم در ورزشکاران پرخطر (به‌ویژه زنان، نوجوانان، ورزشکاران با بار تمرینی سنگین) باید انجام شود و در صورت کمبود، مداخلات تغذیه‌ای یا مکملی انجام گردد.
- **استفاده هدفمند از مکمل‌ها:** مکمل‌هایی مانند کراتین مونوهیدرات یا ژلاتین/کلاژن ممکن است در برنامه پیشگیری یا بازتوانی وارد شوند، اما تنها با در نظر گرفتن دوز، زمان مصرف، و وضعیت ورزشکار. برای مثال، مکمل کراتین می‌تواند برای ورزشکارانی با تمرینات شدید و مکرر عضلانی مفید باشد.
- **رویکرد جامع و فردی‌سازی‌شده:** تغذیه باید در کنار مدیریت بار تمرینی، خواب، هیدراتاسیون، استراحت و حمایت پزشکی قرار گیرد. همان‌طور که نشان داده شده است، «خواب، تغذیه، هیدراتاسیون و استراحت» همگی به عنوان عوامل بیرون از تمرین برای پیشگیری از آسیب مهم‌اند [۱۶].

۳-۵- راهنمایی برای پژوهش‌های آینده

برای ارتقاء دانش این حوزه، پژوهشگران باید به موارد زیر توجه کنند:

- انجام کارآزمایی‌های تصادفی‌شده چندمرکزی با جمعیت ورزشکاران حرفه‌ای/نیمه‌حرفه‌ای، با تعیین دوز و زمان‌بندی دقیق مکمل‌ها، و پیگیری بلندمدت بروز آسیب‌ها و بازتوانی.
- افزودن گروه‌های سنی و جنسیتی متنوع (نوجوانان، زنان، ورزشکاران کشورهای در حال توسعه) تا تعمیم‌پذیری افزایش یابد.
- بررسی اثر ترکیبی تغذیه و سایر مداخلات پیشگیری (برنامه‌های تمرینی، فیزیوتراپی، تکنولوژی پوشیدنی) و تحلیل تعامل‌های بین آنها.
- توجه به کیفیت و تطابق مکمل‌ها با استانداردهای ضد دوپینگ و بررسی اثرات جانبی و زمانی (مثلاً چند ساله) در ورزشکاران.
- توسعه شاخص‌های غربالگری تغذیه‌ای برای آسیب‌پذیری (مثلاً فرم‌های کوتاه‌اندازه‌گیری LEA، ارزیابی سریع ویتامین D، پروتئین دریافتی) که بتواند در تیم‌های ورزشی به کار رود [۱۸].

۴- نتیجه‌گیری

نتایج مرور جامع حاضر نشان می‌دهد که تغذیه و مکمل‌های هدفمند نقشی اساسی، چندبعدی و مبتنی بر شواهد در پیشگیری از آسیب‌های ورزشی ایفا می‌کنند. داده‌های حاصل از کارآزمایی‌های تصادفی، مرورهای نظام‌مند و مطالعات مشاهده‌ای نشان می‌دهد که کمبود انرژی، ناکافی بودن دریافت پروتئین و ریزمغذی‌ها، و فقدان برنامه‌ریزی تغذیه‌ای متناسب با نوع ورزش و بار تمرینی، از مهم‌ترین عوامل خطر آسیب‌های اسکلتی-عضلانی محسوب می‌شوند [۱-۴]. در مقابل، تأمین انرژی کافی، توزیع مناسب پروتئین در وعده‌های روزانه، مصرف بهینه ویتامین D، کلسیم، کراتین مونوهیدرات، و ترکیب ژلاتین با ویتامین C، بیشترین شواهد را در کاهش بروز و شدت آسیب‌ها نشان داده‌اند [۶-۱۴].

از دیدگاه فیزیولوژیکی، اثر محافظتی تغذیه عمدتاً از طریق حفظ تعادل انرژی سلولی، افزایش سنتز پروتئین عضلانی، بهبود سلامت استخوان و بافت همبند، کاهش استرس اکسیداتیو، تعدیل پاسخ‌های التهابی، و تسریع فرآیند ترمیم بافتی اعمال می‌شود. این مسیرها به‌ویژه در ورزشکارانی با بار تمرینی بالا و دوره‌های استراحت کوتاه اهمیت دارند [۱۵-۱۷].

شواهد موجود حاکی از آن است که رعایت اصول تغذیه ورزشی می‌تواند خطر آسیب‌های عضلانی و استخوانی را بین ۳۰ تا ۶۰ درصد کاهش دهد. این میزان کاهش در زنان، ورزشکاران استقامتی و افرادی که سابقه‌ی آسیب یا کمبود انرژی دارند بیشتر گزارش شده است. مکمل‌هایی نظیر کراتین و ژلاتین+ویتامین C، علاوه بر نقش بازسازی بافتی، در کاهش درد و کوتاه شدن زمان بازتوانی نیز مؤثر بوده‌اند [۱۱-۱۳] [۱۶]. با این حال، مصرف بی‌رویه یا دوزهای بالای آنتی‌اکسیدان‌ها ممکن است سازگاری تمرینی را مختل کند [۱۸] [۱۹].

از نظر کاربرد بالینی، نتایج این پژوهش بر ضرورت یکپارچه‌سازی استراتژی تغذیه‌ای در برنامه‌های پیشگیری از آسیب تأکید دارد. متخصصان تغذیه و مربیان باید با استفاده از ارزیابی‌های منظم وضعیت تغذیه‌ای، سطح انرژی در دسترس، و شاخص‌های زیستی ویتامین D و آهن، برنامه‌های فردی‌سازی شده برای ورزشکاران تدوین کنند. تمرکز صرف بر مکمل‌ها بدون اصلاح تغذیه‌ای پایه مؤثر نخواهد بود.

با وجود این، محدودیت‌های متعددی از جمله ناهمگنی طراحی مطالعات، جمعیت‌های مورد بررسی، و تفاوت در دوز مکمل‌ها، تفسیر مستقیم روابط علت-معلولی را محدود می‌کند. بنابراین، تحقیقات آینده باید به طراحی کارآزمایی‌های تصادفی‌شده چندمرکزی با حجم نمونه بالا، بررسی اثرات درازمدت، و تحلیل جنسیت‌محور و رشته‌محور بپردازند تا چارچوب شواهدی قوی‌تر برای تدوین دستورالعمل‌های رسمی فراهم شود [۱۷][۱۸].

در جمع‌بندی، می‌توان نتیجه گرفت که تغذیه علمی و مبتنی بر شواهد نه تنها ابزاری برای بهبود عملکرد ورزشی است، بلکه به‌عنوان یک عامل پیشگیرانه‌ی کلیدی در برابر آسیب‌های ورزشی عمل می‌کند. اتخاذ رویکردی جامع که شامل تعادل انرژی، پروتئین کافی، ریزمغذی‌های ضروری و مکمل‌های منتخب باشد، همراه با مدیریت بار تمرینی، خواب کافی و بازیابی مناسب، می‌تواند پایه‌ای مؤثر برای حفظ سلامت و تداوم عملکرد ورزشی بهینه فراهم آورد.

منابع

1. Mountjoy M, et al. IOC consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med.* 2023;57(9):529-545.
2. Tenforde AS, et al. Association between energy availability and overuse injuries in athletes. *Curr Sports Med Rep.* 2022;21(4):234-242.
3. Melin A, et al. Energy availability and stress fractures in female athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2021;31(6):512-520.
4. Areta JL, et al. Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *J Physiol.* 2013;591(9):2319-2331.
5. Tipton KD, Phillips SM. Dietary protein for muscle hypertrophy. *J Appl Physiol.* 2013;115(8):1210-1218.
6. Moore DR, et al. Protein ingestion to stimulate myofibrillar protein synthesis after resistance exercise in humans. *Am J Clin Nutr.* 2015;102(3):748-756.
7. Burke LM, et al. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise performance in elite endurance athletes. *Sports Med.* 2020;50(6):1121-1142.
8. Tenforde AS, et al. Vitamin D and stress fractures in athletes: a meta-analysis. *Curr Sports Med Rep.* 2016;15(6):353-358.
9. Hollekim-Strand SM, et al. Vitamin D supplementation improves bone health in endurance athletes. *Eur J Sport Sci.* 2023;23(4):567-579.
10. Larson-Meyer DE, et al. Vitamin D and calcium supplementation in female athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51(5):905-913.
11. Shaw G, et al. Vitamin C-enriched gelatin supplementation before exercise increases collagen synthesis. *Am J Clin Nutr.* 2017;105(1):136-143.
12. Baar K. Nutritional modulation of tendon adaptation and repair. *Front Physiol.* 2019;10:729.
13. Kreider RB, et al. Creatine supplementation and exercise performance: position stand. *J Int Soc Sports Nutr.* 2017;14(1):18.
14. Rawson ES, et al. Creatine supplementation and injury prevention in athletes. *Nutrients.* 2018;10(11):1629.
15. Philpott JD, et al. Omega-3 fatty acid supplementation and reduction of muscle damage after eccentric exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* 2019;16(1):23.
16. Tartibian B, et al. Anti-inflammatory effects of omega-3 supplementation in athletes. *Clin J Sport Med.* 2020;30(2):102-109.
17. Gray P, et al. Omega-3 fatty acids and recovery from exercise-induced muscle damage. *Nutrients.* 2021;13(4):1286.
18. Paulsen G, et al. High doses of vitamin C and E impair adaptations to endurance training. *J Physiol.* 2014;592(8):1887-1901.
19. Gomez-Cabrera MC, et al. Antioxidants and training adaptation: a double-edged sword. *Free Radic Biol Med.* 2019;132:24-31.
20. Ranchordas MK, et al. Nutritional strategies for the prevention and treatment of injuries in sport. *Sports Med.* 2020;50(8):1487-1498.

21. Clarke EC, et al. Gelatin, vitamin C and collagen crosslinking in connective tissues. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2019;316(4):C661-C669.
22. Close GL, et al. Nutritional recovery strategies in elite athletes: evidence and practical application. *Eur J Sport Sci*. 2022;22(2):234-245.
23. Youth and Adolescent Athlete Musculoskeletal Health. *MDPI*. 2023;9(4):221. doi:10.3390/2411-5142/9/4/221.
24. Puga TB, Mazumder RM, Ruan T, Scigliano N, Thiel GE, Treffer K. Sleep, nutrition, hydration and rest: Equal importance of external factors for sports injury prevention. *Sci J Sport Perform*. 2023;2(4):428-438.
25. Nutrition for the Prevention and Treatment of Injuries in Track and Field. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2019;29(2):189-197.
26. Injury Prevention and Nutrition in Football. *GSSI Sports Science Exchange*. 2019;(132):1-5.