فصلنامه پژوهش های نوین در علوم پزشکی، بهداشت و سلامت شماره ۱- دوره۲- صفحات۱۷-۱
Journal of new researches in Medical Sciences, Hygiene and Health

بررسی و عملکرد استفاده از پروبیوتیک‌ها در ورزشکاران قدرتی

ابوالفضل سیردانی* و فرشید سلطانی و سیده نرگس موسویان و حنانه رادپور

چکیده

این مرور نظام‌مند با هدف تبیین اثرات پروبیوتیک‌ها بر عملکرد ورزشکاران قدرتی، سازوکارهای زیربنایی و محدودیت‌های شواهد موجود انجام شد. نتایج نشان داد مصرف پروبیوتیک‌ها در جمعیت‌های تمرین‌دیده می‌تواند بهبودهای کوچک تا متوسطی در قدرت و توان، افزایش توده عضلانی و بهبود ریکاوری پس از تمرین ایجاد کند، هرچند تأثیر معناداری بر توده‌ی بدون چربی کل بدن گزارش نشده است. تحلیل مکانیسمی حاکی از نقش مسیرهایی همچون افزایش جذب آمینواسید، تعدیل التهاب، بهبود عملکرد میتوکندری و تولید متابولیت‌های میکروبی مؤثر بر محور روده-عضله است. با این حال، ناهمگونی قابل‌توجه در سویه، دوز، مدت مداخله و ابزارهای اندازه‌گیری، همراه با حجم نمونه پایین مطالعات، قطعیت نتایج را محدود می‌کند. بنابراین، انجام کارآزمایی‌های هدفمند و استاندارد برای ورزشکاران قدرتی ضروری است.

کلمات کلیدی

پروبیوتیک‌ها،ورزشکاران قدرتی،عملکرد عضلانی،قدرت و توان،توده عضلانی،میکروبیوتای روده،محور روده–عضله،ریکاوری پس ازتمرین،آسیب عضلانی،اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر (SCFA)،جذب آمینواسید،التهاب سیستمیک، Bacilluc coagulans، Lactobacilluc plantarum ،مکمل‌یاری ورزشی

مقدمه

رشد پژوهش‌های دهه اخیر نشان داده است که میکروبیوم روده نقشی فراتر از فرایندهای گوارشی داشته و می‌تواند بر عملکرد ورزشی، ریکاوری و سازگاری‌های عضلانی اثرگذار باشد. تمرینات قدرتی با ایجاد استرس مکانیکی و متابولیکی، نیاز به بهبود ریکاوری، کاهش التهاب و افزایش کارایی سنتز پروتئین عضلانی را تشدید می‌کنند. در این میان، پروبیوتیک‌ها به‌عنوان مداخلاتی نوظهور مطرح شده‌اند که از طریق بهبود هضم و جذب پروتئین، افزایش زیست‌فراهمی آمینواسیدها، تعدیل التهاب و تغییر ترکیب میکروبیوتا می‌توانند مسیرهای مرتبط با عملکرد عضله را تحت تأثیر قرار دهند. با وجود رشد شواهد، ناهمگونی قابل‌توجه در نوع سویه‌ها، دوز و طراحی مطالعات موجب شده است که نیاز به بررسی سیستماتیک و تحلیلی اثر پروبیوتیک‌ها بر ورزشکاران قدرتی بیش از پیش احساس شود. هدف این مقاله، ارزیابی جامع این شواهد و تبیین سازوکارهای احتمالی اثرگذاری پروبیوتیک‌ها است.

1 . بدنه اصلی

۱.۴. اثر پروبیوتیک‌ها بر عملکرد عضلانی

یافته‌های موجود درباره تأثیر پروبیوتیک‌ها بر شاخص‌های مرتبط با عملکرد عضلانی، از جمله قدرت بیشینه، توان عضلانی و خروجی‌های وابسته به قدرت، نتایج ناهمگن و متکی بر ارزیابی‌های متنوع را نشان می‌دهد. این شواهد عمدتاً بر پایه آزمون‌هایی مانند یک‌تکرار بیشینه(RM۱) ، قدرت ایزومتریک، آزمون‌های پرش، تست Wingate و سایر آزمون‌های سرعت و توان در جمعیت‌های تمرین‌دیده استوار هستند. در یک پلی‌تحلیل با تمرکز بر اثر پروبیوتیک‌ها بر قدرت و توان، اندازه اثر تجمیعی برابر با ۰,۳٦ (۹۵٪ CI: ۰,۰۲–۰,۷۰) گزارش شده که بیانگر بهبود معنادار اما متوسط این شاخص‌ها پس از مصرف پروبیوتیک است. تنوع گسترده آزمون‌های به‌کاررفته در این تحلیل نشان می‌دهد که طیف وسیعی از ابعاد عملکرد قدرتی مورد بررسی قرار گرفته است.

برخی تحلیل‌های زیرگروهی حاکی از آن است که مصرف همزمان پروبیوتیک و پروتئین می‌تواند در مقایسه با سایر شرایط، اندازه اثر بزرگ‌تری ایجاد کند، به‌طوری‌که در برخی مطالعات اندازه اثرهای بالاتر از ۰.۸ گزارش شده است. این موضوع نقش نوع پروتکل مداخله، ترکیب مکمل‌ها و ویژگی‌های شرکت‌کنندگان را در دامنه پاسخ‌های عملکردی برجسته می‌سازد.

همچنین، در مجموعه‌ای از ۱۰ کارآزمایی تصادفی‌سازی‌شده که اثر پروبیوتیک‌ها را بر توده عضلانی، قدرت عضلانی و توده بدون چربی بررسی کرده‌اند، افزایش معنادار در «قدرت عضلانی کلی» با اندازه اثر (۹۵٪ CI: ۰,۳۳–۱,۰٦) ۰.۶۹و افزایش توده عضلانی با اندازه اثر ۰,٤۲ (۹۵٪ CI: ۰,۱۰–۰,۷٤)گزارش شده است. با این حال، این نتایج بر پایه ترکیبی از جمعیت‌ها، پروتکل‌های مداخله‌ای و ابزارهای ارزیابی متفاوت به‌دست آمده‌اند.

در مقابل، برخی مرورهای دیگر که بر اثر مکمل‌یاری پروبیوتیک بر عملکرد ورزشی در ورزشکاران تمرکز داشته‌اند، در اغلب مطالعات تأثیر معناداری بر قدرت، توان پرش، قدرت اندام تحتانی یا چابکی گزارش نکرده‌اند و نتایج مختلط یا متناقضی ارائه داده‌اند. در مجموع، اگرچه بخشی از شواهد از بهبود شاخص‌های قدرت و عملکرد عضلانی با مصرف پروبیوتیک‌ها حمایت می‌کند، ناهمگونی قابل‌توجه نتایج نشان می‌دهد که این اثرات به‌شدت وابسته به طراحی مطالعه، ویژگی نمونه‌ها و روش‌های ارزیابی بوده و تفسیر آنها نیازمند احتیاط است.

۲,٤. اثر پروبیوتیک‌ها بر ریکاوری و آسیب عضلانی

شواهد موجود درباره اثر پروبیوتیک‌ها بر ریکاوری و شاخص‌های مرتبط با آسیب عضلانی، مجموعه‌ای از نتایج ناهمگون کمّی و کیفی را در مطالعات انسانی، حیوانی و مرورهای نظام‌مند نشان می‌دهد. این ارزیابی‌ها عمدتاً بر شاخص‌هایی مانند کراتین کیناز، لاکتات دهیدروژناز، سایتوکین‌های التهابی، درد عضلانی و DOMS متمرکز بوده‌اند و پاسخ‌های متفاوتی نسبت به مصرف پروبیوتیک گزارش کرده‌اند. در برخی مطالعات انسانی، به‌ویژه هنگام مصرف همزمان پروبیوتیک با پروتئین، بهبودهایی در ریکاوری ادراک‌شده پس از تمرین مشاهده شده است. به‌طور مشخص، مصرف Bacillus coagulans GBI-۳۰ همراه با پروتئین با بهبود وضعیت ریکاوری ادراک‌شده در ۲۴ و ۷۲ ساعت پس از فعالیت ورزشی و کاهش درد یا ناراحتی عضلانی در ۷۲ ساعت پس از تمرین نسبت به مصرف پروتئین به‌تنهایی همراه بوده است، که نقش بالقوه تعامل سویه‌های خاص پروبیوتیکی با سایر مکمل‌ها را برجسته می‌سازد.

شواهد حیوانی نیز از اثرات تعدیل‌کننده پروبیوتیک‌ها بر پاسخ‌های التهابی و آسیب عضلانی حمایت می‌کنند. در یک هم‌آزمایی ٤٠ روزه تحت شرایط تمرین شدید نظامی، ترکیب β-hydroxy-β-methylbutyrate و Bacillus coagulans GBI-۳۰موجب کاهش معنادار سایتوکین‌های التهابی شامل IL-۱β ، IL-۲، IL-٦وTNF-α و محدود شدن اختلالات مرتبط با یکپارچگی عضله شد. این یافته‌ها نقش بالقوه برخی ترکیبات مکملی را در کاهش التهاب و حمایت از ساختار عضلانی پس از تمرین نشان می‌دهند.

با این حال، همه شاخص‌های آسیب عضلانی پاسخ یکنواختی به پروبیوتیک‌ها نشان نداده‌اند. برخی مرورها عدم مشاهده اثر معنادار بر لاکتات دهیدروژناز یا میوگلوبین پس از تمرین را گزارش کرده‌اند، در حالی که مرور دیگری در سال ۲۰۲۵ کاهش میانگین کراتین کیناز پس از آسیب عضلانی را با اختلاف میانگین وزنی ۴۵.۵۷- واحد در لیتر نشان داده است. این تفاوت‌ها بیانگر حساسیت متفاوت شاخص‌های بیوشیمیایی آسیب عضلانی نسبت به مداخلات پروبیوتیکی است.

مرورهای گسترده‌تر نیز بر محدود و متناقض بودن شواهد تأکید دارند. در مرور سال ۲۰۲۰، داده‌های مربوط به بهبود ریکاوری و کاهش آسیب عضلانی یا استرس پس از تمرین ناکافی و ناهمگون گزارش شده و امکان نتیجه‌گیری قطعی محدود دانسته شده است. افزون بر این، مرور سال ۲۰۲۳ نشان داد که مصرف پروبیوتیک با افزایش IL-۱۰ به‌عنوان یک سایتوکین ضدالتهابی همراه است، در حالی که تغییرات در IL-٦ ، TNF-αو سایر سایتوکین‌های التهابی یکنواخت و قابل‌پیش‌بینی نبوده است. در مجموع، شواهد موجود حاکی از اثرات بالقوه پروبیوتیک‌ها بر بهبود ریکاوری ادراک‌شده، کاهش درد عضلانی و تعدیل برخی شاخص‌های التهابی است، اما پاسخ سایر نشانگرهای بیوشیمیایی آسیب عضلانی ناهمگون بوده و تفسیر نتایج نیازمند احتیاط و انجام مطالعات استانداردتر است.

۳.۴. مکانیسم‌های زیربنایی اثرات پروبیوتیک‌ها

بررسی مکانیسم‌های زیربنایی اثرات پروبیوتیک‌ها بر عملکرد ورزشی، ریکاوری و ویژگی‌های عضلانی نشان می‌دهد که این اثرات عمدتاً از طریق چهار مسیر اصلی اعمال می‌شوند: تغییر در ترکیب میکروبیوتای روده، تنظیم پاسخ‌های ایمنی و التهابی، بهبود متابولیسم پروتئین و جذب اسیدهای آمینه، و نقش متابولیت‌های مشتق از میکروبیوتا در عملکرد سلولی و عضلانی. این مسیرها بر پایه شواهد تجربی و مرورهای موجود توصیف شده‌اند.

نخست، تنظیم ترکیب میکروبیوتای روده به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های کلیدی مطرح است. مصرف پروبیوتیک‌ها می‌تواند با تعدیل پروفایل میکروبی روده و تقویت گونه‌های دخیل در تولید متابولیت‌های مفید، به‌ویژه اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر حاصل از تخمیر کربوهیدرات‌های هضم‌نشده، بر مسیرهای متابولیک وابسته به فعالیت بدنی اثر بگذارد. در ورزشکاران، این تغییرات میکروبی در تعامل با تمرین مقاومتی با بهبود عملکرد روده و سازگاری‌های متابولیکی همراه گزارش شده‌اند.

مسیر دوم به تنظیم عملکرد دستگاه ایمنی و پاسخ‌های التهابی مربوط می‌شود. شواهد نشان می‌دهد که مصرف پروبیوتیک‌ها می‌تواند با تعدیل سطوح سایتوکین‌ها و شاخص‌های استرس اکسیداتیو، به کاهش التهاب پس از تمرین کمک کند. این اثرات در مطالعات حیوانی نیز مشاهده شده و شامل تأثیر بر مسیرهای مرتبط با عملکرد میتوکندری و میتوفاژی است که می‌تواند در تسهیل فرایند ریکاوری نقش داشته باشد.

سومین مکانیسم به بهبود متابولیسم پروتئین و جذب اسیدهای آمینه اختصاص دارد. در مطالعاتی که از سویه Bacillus coagulans GBI-۳۰ همراه با پروتئین استفاده شده است، افزایش شاخص‌هایی مانند AUC و C_{max} اسیدهای آمینه و نیز بهبود فعالیت آنزیم‌های گوارشی گزارش شده که نشان‌دهنده افزایش فراهمی زیستی اسیدهای آمینه و حمایت بالقوه از سنتز پروتئین و بازسازی بافت عضلانی است.

چهارمین مسیر به نقش متابولیت‌های مشتق از میکروبیوتا، از جمله اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر و ترکیباتی مانند GABA، مربوط می‌شود. این متابولیت‌ها پس از ورود به گردش خون می‌توانند بر متابولیسم انرژی سلولی، عملکرد میتوکندری و مسیرهای تنظیمی مرتبط با توده عضلانی اثر بگذارند. شواهد حیوانی نیز نقش برخی سویه‌ها را در تعدیل میتوفاژی و عملکرد میتوکندری برجسته کرده‌اند.

در مجموع، این چهار مکانیسم نشان می‌دهند که اثرات پروبیوتیک‌ها بر عملکرد و ریکاوری عضلانی حاصل تعامل پیچیده‌ای از تغییرات میکروبی، ایمنی، متابولیک و سلولی است که در کنار تمرین می‌توانند در سطوح مختلف بر کارکرد عضلات اثرگذار باشند، بدون آنکه فراتر از شواهد گزارش‌شده استنتاجی افزوده شود.

٤،٤. اثرات پروبیوتیک‌ها بر سلامت گوارشی و تأثیر غیرمستقیم بر تمرینات قدرتی

شواهد موجود حاکی از آن است که پروبیوتیک‌ها می‌توانند از طریق بهبود سلامت دستگاه گوارش و کاهش اختلالات مرتبط با آن، به‌صورت غیرمستقیم بر کیفیت تمرینات قدرتی و توانایی انجام فعالیت‌های ورزشی اثرگذار باشند. بروز مشکلات گوارشی در تمرینات شدید یا طولانی‌مدت، از طریق ایجاد ناراحتی، اختلال در جذب مواد مغذی و افزایش التهاب سیستمیک، می‌تواند عملکرد ورزشی را محدود کند؛ در این راستا، مطالعات متعدد نشان داده‌اند که مصرف پروبیوتیک‌ها با کاهش فراوانی و شدت علائم گوارشی در ورزشکاران همراه است و می‌تواند به حفظ کیفیت تمرین و ارتقای ظرفیت ورزشی کمک کند.

یکی از شاخص‌های مهم عملکرد سد روده، زونولین فکال است که افزایش آن با نفوذپذیری بالاتر روده ارتباط دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد که مصرف پروبیوتیک در ورزشکاران تمرین‌دیده می‌تواند با کاهش سطح زونولین و حفظ آن در محدوده فیزیولوژیک، به بهبود یکپارچگی سد روده منجر شود. این تغییرات می‌توانند با کاهش اختلالات گوارشی، بهبود هضم و جذب مواد مغذی و جلوگیری از انتقال مولکول‌های التهابی به گردش خون همراه باشند.

مرورهای منتشرشده در سال ۲۰۲۰ نیز تأکید کرده‌اند که پروبیوتیک‌ها از طریق تعدیل ترکیب و عملکرد میکروبیوتای روده، پتانسیل ارتقای جذب مواد مغذی و بهبود سلامت گوارشی در ورزشکاران را دارند. این اثرات، به‌ویژه در تمرینات قدرتی که تأمین و جذب مؤثر مواد مغذی نقش اساسی در رشد، ریکاوری و سازگاری عضلانی ایفا می‌کند، اهمیت بیشتری می‌یابد.

همچنین، مرورهای سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ به کاهش شاخص‌های التهاب سیستمیک و بهبود عملکرد ایمنی پس از مصرف پروبیوتیک اشاره کرده‌اند. تعدیل پاسخ‌های التهابی و بهبود وضعیت ایمنی می‌تواند به‌عنوان مکانیسمی غیرمستقیم، ریکاوری پس از تمرین را تسهیل کرده و از پیامدهای منفی التهاب مزمن یا افزایش استرس فیزیولوژیک

پیشگیری کند. در مجموع، شواهد موجود مجموعه‌ای از اثرات گوارشی و سیستمیک را نشان می‌دهد که از طریق مسیرهای غیرمستقیم می‌توانند به ارتقای عملکرد و ریکاوری ورزشکاران کمک کنند.

۵،٤. مقایسه‌ی سویه‌ها و دوزهای مؤثر

مطالعات بررسی‌کننده اثرات پروبیوتیک‌ها بر عملکرد ورزشی، ریکاوری و شاخص‌های فیزیولوژیک مرتبط، از تنوع قابل‌توجهی در نوع سویه‌ها، دوز مصرفی و مدت مداخله برخوردارند که مقایسه مستقیم نتایج و استخراج الگوی یکنواخت را با چالش مواجه می‌سازد. سویه‌های مختلفی از جنس‌های Lactobacillus و Bacillus، به‌صورت تک‌سویه یا در قالب ترکیبات چندسویه، در پژوهش‌ها به کار رفته‌اند. در میان سویه‌های پرتکرار می‌توان به Lactobacillus plantarum، Lactobacillus caseiو گونه‌هایی مانند Bacillus coagulansو Bacillus subtilis اشاره کرد. استفاده از ترکیبات چندسویه، که معمولاً شامل چند گونه مکمل با هدف پوشش دامنه وسیع‌تری از اثرات بالقوه است، در مرورهایی نظیر گزارش Di Dio و همکاران (۲۰۲۳) به‌عنوان یکی از منابع اصلی ناهمگونی نتایج معرفی شده است.

دامنه دوز مصرفی پروبیوتیک‌ها در مطالعات انسانی عموماً بین $۱×۱۰^{9}$ تا $۳×۱۰^{10}$ واحد تشکیل‌دهنده کلنی در روز گزارش شده و در برخی مرورهای جامع این دامنه تا $۴×۱۰^{10}$ واحد نیز گسترش یافته است. این گستره وسیع بیانگر نبود استاندارد مشخص در تعیین مقدار مصرفی است و اختلاف در نحوه تجویز، شکل مکمل و ساختار سویه‌ها نیز به افزایش ناهمگونی و محدود شدن مقایسه مستقیم دوزهای مؤثر انجامیده است.

مدت مداخله در مطالعات انسانی نیز متغیر بوده و از دوره‌های کوتاه‌مدت حدود ۱۴ روز تا مداخلات طولانی‌تر نزدیک به ۸۴ روز را دربر گرفته است. برخی گزارش‌ها گرایش به نتایج مطلوب‌تر در مداخلات طولانی‌تر یا با دوز بالاتر را مطرح کرده‌اند؛ با این حال، به دلیل ناهمگونی قابل‌توجه در روش‌ها، پروتکل‌ها و نوع سویه‌ها، امکان نتیجه‌گیری قطعی درباره وابستگی اثرات به دوز یا مدت مداخله وجود ندارد و این الگوها بیشتر به‌عنوان گرایش‌های کلی تلقی می‌شوند.

نوع سویه، مقدار مصرف و مدت مداخله به‌عنوان متغیرهای کلیدی در مطالعات پروبیوتیک‌ها شناخته می‌شوند؛ اما تنوع گسترده در طراحی پژوهش‌ها و ناهمگونی داده‌ها مانع از تعیین سویه یا دوز برتر شده و یافته‌ها عمدتاً بازتاب‌دهنده الگوهای کلی و غیرقطعی در این حوزه هستند.

٦،٤. اختلاف نتایج، محدودیت‌های مطالعات و تفاوت روش‌شناسی

بررسی شواهد موجود درباره اثرات پروبیوتیک‌ها بر عملکرد ورزشی، ریکاوری و شاخص‌های فیزیولوژیک نشان‌دهنده ناهمگونی قابل‌توجه در روش‌شناسی مطالعات، طراحی کارآزمایی‌ها و متغیرهای مداخله‌ای است. مرورهای روش‌شناختی کارآزمایی‌های بالینی تصادفی‌سازی‌شده حاکی از تنوع چشمگیر در انتخاب سویه‌های پروبیوتیک، دوزهای مصرفی و حتی شرایط نگهداری مکمل‌هاست؛ عواملی که همراه با ضعف در نمونه‌گیری، نبود استاندارد مشخص در ثبت رژیم غذایی، وضعیت سلامت پایه و متغیرهای کنترلی، مقایسه مستقیم نتایج مطالعات را دشوار ساخته‌اند. افزون بر این، تفاوت در ویژگی‌های فردی و جمعیتی شرکت‌کنندگان نیز به پیچیدگی و ناهمگونی داده‌ها افزوده است.

در این مرورها همچنین ناهمگونی بالایی در شاخص‌های ارزیابی‌شده، مدت مداخلات و ویژگی‌های نمونه گزارش شده که به‌عنوان مانعی جدی برای استنتاج‌های قطعی مطرح می‌شود. عدم همسانی در ابزارهای اندازه‌گیری، پروتکل‌های مداخله و طول دوره‌های مصرف از دلایل اصلی تفاوت در تفسیر نتایج عنوان شده است. مرور Di Dio و همکاران

(۲۰۲۳) با تأکید بر تنوع گسترده در نوع ورزش، سویه‌ها، دوزها و ساختار ترکیبات چندسویه، نتایج را متناقض و با قابلیت تعمیم محدود ارزیابی کرده و بر ضرورت انجام مطالعات کنترل‌شده با طراحی مقایسه‌پذیر تأکید نموده است.
در متاآنالیز Santibañez Gutierrez و همکاران (۲۰۲۳)، اگرچه اثر تجمیعی پروبیوتیک‌ها بر قدرت و توان عضلانی معنادار گزارش شده است(SMD = ۰,۳٦) ، اما ناهمگونی متوسط نتایج (I^2 = ٤۳٪) و محدودیت‌هایی نظیر تعداد کم مطالعات، حجم نمونه پایین و تفاوت در سویه‌ها، دوزها و مدت مداخله، تعمیم‌پذیری یافته‌ها را کاهش داده است. از این‌رو، نویسندگان بر احتیاط در تفسیر و کاربرد عملی نتایج تأکید کرده‌اند.
اختلافات برجسته میان کارآزمایی‌ها—از گزارش اثرات مثبت تا نبود اثر معنادار—نشان می‌دهد که طراحی مطالعه، ویژگی‌های شرکت‌کنندگان، نوع تمرین، پروتکل مصرف و ساختار سویه‌های پروبیوتیک نقش تعیین‌کننده‌ای در جهت و شدت اثرات دارند. این محدودیت‌های روش‌شناختی بر ضرورت انجام پژوهش‌های آینده با طراحی استاندارد، نمونه‌های بزرگ‌تر و کنترل دقیق متغیرهای مداخله‌ای برای دستیابی به شواهد قوی‌تر و قابل‌اتکاتر تأکید می‌کند.

2 . بحث

۲,۵. تفسیر اثرات پروبیوتیک‌ها بر قدرت عضلانی و عملکرد

شواهد موجود نشان می‌دهد که پروبیوتیک‌ها، به‌ویژه سویه‌هایی مانند Bacillus coagulans GBI-۳۰, ٦۰۸٦ (BC۳۰)، می‌توانند از مسیرهای مکمل و به‌هم‌پیوسته بر ریکاوری، سازگاری‌های عضلانی و عملکرد قدرتی اثر بگذارند. این اثرات هم در مطالعات عملکردی(مانند Wingate، درد عضلانی و شاخص‌های آسیب عضلانی) و هم در مطالعات جذب آمینواسید و متاآنالیزهای انسانی گزارش شده‌اند.

۱,۲,۵. کاهش آسیب عضلانی و بهبود ریکاوری پس از تمرین

مطالعه(Jäger ۲۰۱۶)نشان داد که مصرف BC۳۰ همراه با پروتئین در افراد تمرین‌کرده مقاومتی، منجر به کاهش درد عضلانی در ۲٤ و ۷۲ ساعت پس از تمرین، بهبود ریکاوری ادراک‌شده و حفظ توان بی‌هوازی در آزمون Wingate نسبت به پروتئین تنها می‌شود. اگرچه سطح CK در هر دو گروه افزایش یافت، میزان افزایش در گروه پروبیوتیک + پروتئین به‌طور قابل‌توجهی کمتر بود (+۱۳۷.۷٪در مقابل +۲۶۶.۸٪). این یافته‌ها حاکی از نقش پروبیوتیک‌ها در کاهش التهاب و محافظت از بافت عضلانی بوده و می‌توانند به بهبود ریکاوری بین جلسات و ارتقای عملکرد قدرتی در بلندمدت کمک کنند.

۲,۲,۵. افزایش جذب آمینواسید و پتانسیل تقویت سنتز پروتئین عضله

مطالعات Jäger و Stecker نشان دادند که مصرف BC۳۰ همراه با پروتئین شیر باعث افزایش AUC و C_{max} آرژنین و ایزولوسین، افزایش C_{max} چندین آمینواسید ضروری و کاهش T_{max} (جذب سریع‌تر) می‌شود. این نتایج بیانگر افزایش زیست‌فراهمی آمینواسیدها از طریق تسهیل هضم و جذب است؛ مکانیسمی که در تمرینات مقاومتی، با توجه به وابستگی هایپرتروفی و ریکاوری به دسترسی آمینواسید، یک مزیت فیزیولوژیک مهم محسوب می‌شود.

۳,۲,۵. اثرات بر قدرت و توده عضلانی در متاآنالیزها

متاآنالیز Prokopidis و همکاران (۲۰۲۲) افزایش توده عضلانی (SMD = ۰,٤۲) و بهبود معنی‌دار قدرت عضلانی کلی(SMD = ۰,٦۹) ؛ اثر متوسط تا زیاد را گزارش کرد، بدون تغییر معنادار در توده بدون چربی کل بدن. این الگو نشان می‌دهد که اثرات پروبیوتیک‌ها احتمالاً موضعی‌تر بوده و از طریق بهبود ریکاوری، افزایش زیست‌فراهمی آمینواسید

و کاهش التهاب اعمال می‌شوند، به‌گونه‌ای که افزایش قدرت و توده عضلانی می‌تواند پیش از تغییرات قابل‌توجه در توده بدون چربی کل بدن مشاهده شود.

٤,٢,٥. جمع‌بندی تفسیر کاربردی

پروبیوتیک‌ها، به‌ویژه BC۳۰ ، می‌توانند به‌عنوان مداخله‌ای کمکی در کنار تمرین مقاومتی و مصرف پروتئین عمل کرده و از طریق کاهش آسیب و التهاب عضلانی، بهبود ریکاوری، افزایش جذب آمینواسید و حمایت متابولیک و ایمنی، موجب بهبود عملکرد قدرتی، توان بی‌هوازی و رشد عضلانی شوند. این اثرات عمدتاً کوچک تا متوسط‌اند، اما در ترکیب با پروتئین در برخی شرایط بهبودهای بزرگ‌تری گزارش شده است. به‌طور کلی، پروبیوتیک‌ها محرک مستقیم افزایش قدرت نیستند، بلکه با بهینه‌سازی محیط فیزیولوژیک ریکاوری و سازگاری عضلانی، اثرات غیرمستقیم مثبتی ایجاد می‌کنند.

٣,٥. تحلیل مکانیسم‌های فیزیولوژیک

داده‌های موجود چارچوبی چندمسیره را برای تبیین اثرات پروبیوتیک‌ها بر عملکرد عضلانی پیشنهاد می‌کنند. متابولیت‌های روده‌ای به‌ویژه SCFA ها از طریق فعال‌سازی مسیرهایی نظیر AMPK و PPAR می‌توانند هموستازی انرژی، حساسیت انسولینی و استفاده از سوخت در عضله را بهبود دهند. محور روده–عضله از طریق تأثیر بر IGF-۱ ، بیوژنز میتوکندری و ذخایر گلیکوژن، محیط آنابولیک‌تری ایجاد می‌کند. تقویت سد روده و کاهش نفوذپذیری آن موجب کاهش انتقال LPS ، تعدیل پاسخ‌های التهابی و بهبود پروفایل سایتوکینی(افزایش IL-۱۰ و تغییرات IL-٦ و TNF-α) می‌شود. شواهد پیش‌بالینی همچنین به کاهش استرس اکسیداتیو و بهبود عملکرد میتوکندری اشاره دارند. علاوه بر این، سویه‌هایی مانند BC۳۰ با افزایش AUC و C_{max} آمینواسیدها، بستر لازم برای افزایش سنتز پروتئین عضلانی را فراهم می‌کنند. نقش نورومدولاتورهایی نظیر GABA نیز مطرح شده، هرچند شواهد انسانی در این زمینه محدود است. هم‌افزایی این مسیرها می‌تواند توضیح دهد که چگونه پروبیوتیک‌ها به‌عنوان مداخله‌ای کمکی به بهبود ریکاوری و عملکرد عضلانی کمک می‌کنند.

٤,٥. بررسی اختلاف نتایج

ناهمگنی نتایج مطالعات عمدتاً ناشی از تفاوت در سویه‌های مورد استفاده، دوز مصرفی(حدود ۲×۱۰^۸ تا ۱×۱۰^۱۱ CFU/روز)ویژگی‌های جمعیت (ورزشکاران الیت، تمرین‌دیده یا تفریحی)، مدت مداخله، ابزارهای ارزیابی عملکردی و زیستی، و کیفیت طراحی و گزارش‌دهی است. کنترل ناکافی متغیرهای مداخله‌گر، اندازه نمونه‌های کوچک و ترکیب پروبیوتیک با سایر مکمل‌ها نیز به پراکندگی نتایج دامن زده‌اند.

٥,٥. جمع‌بندی انتقادی و تفسیر کلی برای ورزشکاران قدرتی

مرور شواهد نشان می‌دهد که پروبیوتیک‌ها اثر تجمعی کوچک تا متوسطی بر عملکرد قدرتی دارند(SMD ≈ ۰,۳٦؛ I^2 = ٤۳٪)شواهدی از افزایش توده عضلانی (SMD ≈ ۰,٤۲) و بهبود قدرت کلی (SMD ≈ ۰,٦۹) وجود دارد، بدون تغییر معنادار در توده بدون چربی کل بدن. در مقابل، شواهد مربوط به بهبود ریکاوری قوی‌تر است؛ به‌ویژه ترکیب BC۳۰با پروتئین که با کاهش قابل‌توجه CK ، DOMS کمتر و جذب بهتر آمینواسیدها همراه بوده است. با وجود توجیه‌پذیری مکانیسم‌ها، شدت و تکرارپذیری اثرات هنوز به سطح قاطع نرسیده است.

٦,٥. پیام کاربردی برای ورزشکاران قدرتی

پروبیوتیک‌ها می‌توانند در شرایط استرس تمرینی بالا یا برنامه‌های پرحجم، مزایای بالقوه‌ای برای ریکاوری، کاهش آسیب عضلانی و بهبود عملکرد داشته باشند، اما تعمیم نتایج به تمام ورزشکاران قدرتی نیازمند احتیاط است.

۷،۵. جمع‌بندی عملی

پروبیوتیک‌ها به‌عنوان مداخله‌ای کم‌خطر با پتانسیل کمک به ریکاوری و عملکرد قابل‌طرح‌اند، اما تعیین فرمولاسیون استاندارد و مؤثر مستلزم انجام RCT های باکیفیت، با سویه مشخص، دوز کنترل‌شده و جمعیت قدرتی تعریف‌شده است.

3. نتیجه گیری

مرور نظام‌مند شواهد نشان می‌دهد که مصرف پروبیوتیک‌ها می‌تواند اثرات سودمندی بر عملکرد ورزشکاران تمرین‌دیده، به‌ویژه در حوزه قدرت و توان، داشته باشد. داده‌های موجود از RCTها نشان می‌دهد که پروبیوتیک‌ها به‌طور متوسط موجب بهبود قدرت (SMD = ۰،۳۶)، افزایش توده عضلانی (SMD = ۰،۴۲) و افزایش قدرت عضلانی کلی (SMD = ۰،۶۹) می‌شوند؛ با این‌حال، هیچ اثر معناداری بر توده‌ی بدون چربی کل بدن گزارش نشده است (SMD = −۰،۰۳). باید توجه داشت که بخش قابل توجهی از مطالعات شامل ورزشکاران با پیشینه تمرینی متفاوت، یا ترکیب پروبیوتیک با سایر مداخلات تغذیه‌ای بوده است؛ موضوعی که تعمیم نتایج به ورزشکاران قدرتی حرفه‌ای را محدود می‌کند.

از نظر مکانیزمی، چندین مسیر بالقوه می‌توانند اثرات مشاهده‌شده را توضیح دهند: افزایش جذب آمینواسیدها پس از مصرف پروتئین و فراهم‌سازی بستر مناسب‌تر برای سنتز پروتئین عضلانی؛ تغییر ترکیب و فعالیت میکروبیوتا و تولید متابولیت‌های مؤثر بر محور روده ـ عضله؛ مدولاسیون پاسخ ایمنی و کاهش التهاب سیستمیک که می‌تواند آسیب عضلانی را کاهش دهد؛ و همچنین حمایت از عملکرد میتوکندریایی و هموستازی انرژی در بافت عضله. این مسیرها، در مجموع، چارچوب زیستی مناسبی را برای اثرات عملکردی پروبیوتیک‌ها فراهم می‌کنند.

با این وجود، اثرات پروبیوتیک‌ها به‌شدت وابسته به نوع سویه، دوز مصرفی و مدت مداخله هستند. ناهمگونی گسترده‌ی دوزها، سویه‌ها و پروتکل‌های مطالعاتی در RCTهای موجود، تفسیر قطعی و تعمیم یافته‌ها را دشوار می‌سازد و نشان می‌دهد که استانداردسازی آینده‌پژوهانه ضروری است.

پیام کاربردی برای ورزشکاران قدرتی این است که: استفاده از پروبیوتیک‌ها می‌تواند به‌عنوان یک مداخله کم‌خطر و بالقوه مفید برای بهبود قدرت، ریکاوری و رشد عضلانی در نظر گرفته شود؛ با این حال، شواهد فعلی هنوز برای ارائه‌ی یک توصیه قطعی و عمومی کافی نیست. انجام مطالعات با طراحی استاندارد، دوزهای مشخص، سویه‌های تعریف‌شده و ارزیابی‌های عملکردی ویژه ورزشکاران قدرتی برای رسیدن به نتیجه‌گیری‌های قوی‌تر ضروری است.

4. شکاف ها و محدودیت ها

۱،۷. نبود مطالعات کافی روی ورزشکاران قدرتی به‌طور اختصاصی

بررسی شواهد موجود نشان می‌دهد که داده‌های فعلی درباره تأثیر پروبیوتیک‌ها بر عملکرد ورزشکاران قدرتی بسیار محدود است. در متاآنالیز Santibañez Gutierrez et al. (۲۰۲۳)، تنها ۷ مطالعه با مجموع ۱۴۲ شرکت‌کننده تمرین‌دیده وارد تحلیل شده‌اند؛ موضوعی که قدرت استنتاج را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. اگرچه اندازه‌اثر گزارش‌شده برای بهبود قدرت/توان در این جمعیت در حد متوسط (SMD = ۰،۳۶) بود، اما ناهمگنی نتایج از مقادیر ناچیز تا اثرات بزرگ نشان‌دهنده نبود یک الگوی قطعی و قابل‌اتکا است.

در مرور Di Dio et al. (۲۰۲۳) نیز به‌دلیل تنوع بالا در نوع ورزش، پروتکل‌های تمرینی، سویه‌ها و دوزهای پروبیوتیک، امکان تعمیم نتایج به ورزشکاران قدرتی به‌شدت محدود شده است. افزون بر این، شماری از مطالعاتی که داده‌هایی در

زمینه ورزشکاران قدرتی ارائه می‌دهند، یا بسیار کم‌شمارند یا اصلاً به‌صورت اختصاصی بر جمعیت‌های با تمرین مقاومتی شدید (مانند آزمون‌های 1RM، Wingate یا پروتکل‌های قدرتی استاندارد) متمرکز نشده‌اند.

شواهد کنونی تنها از یک «اثر مثبت مشروط» حمایت می‌کنند؛ با این توصیح که به‌دلیل تعداد اندک مطالعات، تنوع سویه، دوز و مدت مداخله، و اختلاف در ویژگی‌های شرکت‌کنندگان، هنوز نمی‌توان توصیه‌ای عمومی و مبتنی بر شواهد قوی برای ورزشکاران قدرتی ارائه کرد.

۲.۷. عدم یکسانی در سویه‌ها، دوز و مدت مصرف در کارآزمایی‌های بالینی تصادفی‌شده

یکی از مهم‌ترین دلایل ناهمگنی نتایج در ادبیات مربوط به مکمل‌یاری پروبیوتیک، عدم یکنواختی در طراحی مداخلات است. نخست، کارآزمایی‌های موجود از طیف گسترده‌ای از سویه‌ها استفاده کرده‌اند و هیچ الگوی ثابتی از نظر گونه یا سویه غالب وجود ندارد؛ مسئله‌ای که امکان مقایسه مستقیم میان مطالعات را محدود می‌کند، زیرا اثر پروبیوتیک‌ها به‌شدت سویه‌محوراست.

دوم، دوز مصرفی در مطالعات به‌طور چشمگیری متفاوت است چه از نظر مقدار CFU روزانه و چه تعداد دفعات مصرف و نبود استاندارد دوزی واحد، تفسیر اندازه اثر و برآورد دوز پاسخ را دشوار می‌سازد. افزون بر این، مدت مداخله نیز از دوره‌های کوتاه‌مدت تا مداخلات چندهفته‌ای یا چندماهه متغیر بوده است؛ بنابراین، اثرات مشاهده‌شده را نمی‌توان مستقل از بازه زمانی مداخله ارزیابی کرد.

عامل مهم دیگر، تفاوت در نوع پروتکل‌های مداخله است. در برخی RCTها پروبیوتیک به‌صورت مکمل مستقل مصرف شده، در حالی که در برخی دیگر همراه با پروتئین، سایر مکمل‌ها یا در چارچوب برنامه‌های تمرینی خاص استفاده شده است. این ناهمگنی، تعیین سهم واقعی پروبیوتیک را از سایر عوامل هم‌زمان دشوار می‌کند.

در نهایت، اختلاف قابل‌توجه در شاخص‌های اندازه‌گیری اعم از قدرت (1RM، ایزومتریک، Wingate)، ریکاوری، نشانگرهای زیستی آسیب عضلانی، ترکیب بدن، یا پارامترهای التهابی سبب شده که یافتن خروجی‌های قابل‌مقایسه میان مطالعات مشکل باشد. این مجموعه عوامل منجر به محدودیت در ترکیب شواهد و تفسیر اثرات واقعی پروبیوتیک‌ها بر عملکرد ورزشکاران قدرتی شده‌اند.

۳.۷. کمبود مطالعات مکانیسم‌محور در انسان

یکی از محدودیت‌های اساسی در ارزیابی اثرات پروبیوتیک‌ها بر عملکرد و سازگاری‌های عضلانی، فقدان مطالعات مکانیسم‌محور در سطح انسانی است. در مرورهای انجام‌شده بر تغییرات میکروبیوتا و شاخص‌های سلامت در ورزشکاران، داده‌های موجود عمدتاً بر پیامدهای عمومی سلامت گوارش، التهاب سیستمیک یا شاخص‌های عملکردی استوار بوده‌اند؛ در حالی که شواهد مستقیم انسانی درباره تغییرات بافت عضله، مسیرهای متابولیکی یا سازوکارهای درون‌سلولی پس از تعدیل میکروبیوتا بسیار محدود است. به‌ویژه، داده‌هایی که بتوانند ارتباط روشن میان تغییر ترکیب میکروبی روده و تغییرات آنابولیک، مسیرهای بهبود عملکرد یا رفتارهای سلولی عضله را نشان دهند، در ادبیات کنونی به‌ندرت گزارش شده‌اند.

در همین راستا، مرور Giron ۲۰۲۲ نیز نشان می‌دهد که بخش عمده شواهد موجود بر پایه مدل‌های حیوانی یا مطالعات متابولیکی غیرمستقیم است. این مرور تأکید می‌کند که شواهد انسانی درباره مسیرهای مرتبط با عملکرد میتوکندری، فرآیندهای التهابی، یا مکانیسم‌های سلولی مرتبط با پروبیوتیک‌ها به‌طور قابل‌توجهی ناکافی است. بسیاری

از فرضیه‌های مرتبط با محور روده–عضله، شامل نقش متابولیت‌ها، تعدیل مسیرهای انرژی یا پاسخ‌های التهابی، بیش از آن‌که بر مبنای داده انسانی باشند، به مطالعات حیوانی متکی‌اند.

نبود مطالعات انسانی که به‌طور مستقیم مکانیسم‌های فیزیولوژیک و سلولی را در پاسخ به پروبیوتیک‌ها بررسی کنند، یک شکاف مهم در ادبیات محسوب می‌شود و مانعی در مسیر تفسیر دقیق و قطعی اثرات مشاهده‌شده در سطح عملکرد عضلانی ورزشکاران است.

۴.۷. عدم وجود داده‌ی کافی درباره‌ی اثرات سویه‌های جدید در انسان

یکی دیگر از محدودیت‌های برجسته در ادبیات موجود، کمبود شواهد انسانی درباره‌ی سویه‌های جدید پروبیوتیکی است؛ سویه‌هایی که در سال‌های اخیر به‌عنوان گزینه‌های بالقوه مؤثر بر عملکرد ورزشی معرفی شده‌اند، اما هنوز پشتوانه‌ی بالینی کافی ندارند. برای نمونه، درباره Bacillus coagulans GBI-۳۰ تنها یک کارآزمایی بالینی انسانی در دسترس است که آن هم در قالب ترکیب پروبیوتیک با پروتئین طراحی شده است. در نتیجه، امکان تفکیک اثر مستقل پروبیوتیک از اثر پروتئین وجود ندارد و داده‌ها برای نتیجه‌گیری قطعی درباره کارایی این سویه در شرایط انسانی محدود است.

به‌طور مشابه، شواهد در مورد Lactobacillus plantarum PL-۰۲ نیز عمدتاً از مدل‌های حیوانی به‌دست آمده‌اند. با وجود گزارش‌هایی از تأثیرات احتمالی این سویه بر شاخص‌های مرتبط با عضله یا عملکرد، داده‌های انسانی درباره تأثیر آن بر عملکرد قدرتی یا سازوکارهای عضلانی کافی نیست. نبود کارآزمایی‌های انسانی کنترل‌شده و استاندارد، ارزیابی قابلیت تعمیم نتایج حیوانی به ورزشکاران را دشوار می‌سازد.

فاصله قابل‌توجهی میان شواهد حیوانی و کاربرد بالینی سویه‌های جدید وجود دارد و کمبود مطالعات انسانی دقیق، مانعی مهم برای تفسیر معتبر و به‌کارگیری عملی این سویه‌ها در ورزشکاران قدرتی محسوب می‌شود.

۵،۷. پیشنهادهایی برای مسیرهای آینده‌ی پژوهش

با توجه به محدودیت‌های فعلی در ادبیات، چند محور کلیدی برای توسعه‌ی دانش در زمینه‌ی اثرات پروبیوتیک‌ها بر ورزشکاران قدرتی قابل‌تعیین است. نخست آن‌که ارزیابی دقیق رابطه‌ی دوز و پاسخ باید در اولویت قرار گیرد؛ چراکه هنوز دوز مؤثر، آستانه‌ی پاسخ و دامنه‌ی بهینه‌ی مصرف پروبیوتیک برای بهبود عملکرد قدرتی مشخص نشده است. از سوی دیگر، شناسایی الگوی اختصاصی میکروبیوتا در ورزشکاران قدرتی می‌تواند درک عمیق‌تری از ارتباط بین ترکیب میکروبی و ویژگی‌های مرتبط با قدرت و رشد عضلانی فراهم آورد و زمینه‌ساز انتخاب سویه‌های هدفمندتر باشد.

علاوه بر این، مطالعات طولانی‌مدت برای ارزیابی پایداری اثرات پروبیوتیک بر حجم عضلانی، سازگاری تمرینی و ظرفیت تولید نیرو ضروری است، زیرا اغلب مطالعات کنونی کوتاه‌مدت بوده و امکان قضاوت درباره‌ی دوام اثرات را محدود می‌کنند. همچنین، طراحی مداخله‌های چندسویه (multi-strain) می‌تواند به بررسی تعامل یا هم‌افزایی میان سویه‌ها و مقایسه‌ی کارایی ترکیبات مختلف در بهبود عملکرد منجر شود.

در نهایت، پیشبرد تحقیقات مکانیسم‌محور در جمعیت انسانی اهمیت ویژه‌ای دارد. اندازه‌گیری شاخص‌هایی همچون متابولیت‌های میکروبی (مانند SCFA و GABA)، نشانگرهای عملکرد میتوکندری، و مسیرهای سلولی مرتبط با عضله می‌تواند به روشن شدن سازوکارهای زیربنایی اثرات احتمالی پروبیوتیک‌ها کمک کند. چنین مطالعاتی برای پل‌زدن میان شواهد حیوانی و کاربرد عملی در ورزشکاران قدرتی ضروری خواهد بود

5 . محدودیت ها

۱،۸. محدودیت‌های روش‌شناختی در مطالعات موجود

بررسی کارآزمایی‌های کنترل‌شده تصادفی نشان می‌دهد که ادبیات کنونی از ناهمگونی قابل‌توجه در طراحی پژوهش‌ها رنج می‌برد. نخست آن‌که تفاوت چشمگیر در دوز مصرفی پروبیوتیک‌ها—از نظر میزان CFU روزانه و تعداد دفعات دریافت امکان مقایسه‌ی مستقیم نتایج و تعیین یک دامنه‌ی دوز استاندارد را محدود می‌کند. افزون بر این، عدم یکنواختی در سویه‌های به‌کاررفته و استفاده از گونه‌ها یا ترکیبات متفاوت، موجب افزایش ناهمگونی سویه‌ای و کاهش قابلیت تعمیم‌پذیری یافته‌ها به ورزشکاران قدرتی می‌شود.

از سوی دیگر، مطالعات موجود از ابزارهای عملکردی و شاخص‌های کاملاً متنوع برای ارزیابی پیامدها استفاده کرده‌اند؛ به‌طوری که برخی بر قدرت عضلانی و توان، برخی بر ترمیم و ریکاوری، گروهی بر ترکیب بدنی و عده‌ای بر علائم گوارشی تمرکز داشته‌اند. این ناهمگونی در پیامدها ، تفسیر مقایسه‌ای نتایج را دشوار می‌سازد. در نهایت، تفاوت در مدت مداخله از مطالعات کوتاه‌مدت تا دوره‌های بلندمدت بر امکان سنجش الگوهای زمانی پاسخ اثر می‌گذارد و مانع از رسیدن به جمع‌بندی منسجم درباره پایداری یا زمان‌بندی تأثیر پروبیوتیک‌ها می‌شود.

۲.۸.حجم نمونه‌ی پایین در اغلب RCTها

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های ادبیات موجود کوچک بودن حجم نمونه در کارآزمایی‌های تصادفی‌شده است. در بازنگری Di Dio et al. ۲۰۲۳ که ۱۳ مطالعه‌ی RCT را بررسی کرده است، تقریباً تمامی پژوهش‌ها دارای تعداد شرکت‌کنندگان کم بوده‌اند؛ امری که توان آماری (statistical power) را محدود و احتمال خطای نوع دوم را افزایش می‌دهد.

این مرور تأکید می‌کند که شواهد موجود برای نتیجه‌گیری قطعی «ناکافی» و «ضعیف» هستند، چراکه حجم نمونه‌ی پایین همراه با ناهمگونی بالا در طراحی و پروتکل‌های مطالعات، تفسیر اثرات واقعی پروبیوتیک‌ها بر عملکرد ورزشی به‌ویژه در ورزشکاران قدرتی را دشوار می‌سازد.

در نتیجه، کمبود مطالعات با نمونه‌های بزرگ، طراحی استاندارد و توان آماری کافی یکی از موانع اصلی در رسیدن به جمع‌بندی قابل اتکا درباره‌ی اثرات پروبیوتیک‌ها در ورزشکاران محسوب می‌شود.

۳،۸. ناهمگونی شدید میان مطالعات

یکی از چالش‌های اساسی در تفسیر شواهد مربوط به اثرات پروبیوتیک‌ها در ورزشکاران، ناهمگونی قابل‌توجه میان مطالعات است؛ مسئله‌ای که اعتبار نتیجه‌گیری‌های ترکیبی را کاهش می‌دهد و تعمیم‌پذیری یافته‌ها را محدود می‌کند. در مرور Santibañez Gutierrez et al. ۲۰۲۳ این ناهمگونی در چند سطح بارز بود:

۱.۳.۸. تفاوت گسترده در سویه‌های پروبیوتیک مورد استفاده، از جمله Bifidobacterium longum، B. breve، Bacillus coagulans، B. subtilis، Lactobacillus plantarum، L. casei، و Streptococcus thermophilus، که هر یک مکانیسم‌ها و پیامدهای بالقوه متفاوتی دارند.

۲،۳،۸. دامنه وسیع دوز مصرفی، از روزانه ۱× ۹^۱۰ تا ۳×۱۰^۱۰CFU، که امکان استخراج یک الگوی دوز پاسخ قابل اعتماد را از بین می‌برد.

۳،۳،۸. اختلاف چشمگیر در مدت مداخله، از ۱۴ تا ۸۴ روز، که موجب تفاوت در زمان‌بندی بروز اثرات و دشواری در مقایسه مستقیم مطالعات می‌شود.

۴.۳.۸. تنوع در فرم تجویز شامل کپسول، پودر، شیک یا نوشیدنی بطری‌شده، که خود عامل دیگری در ایجاد تفاوت در زیست‌فراهمی و پاسخ فیزیولوژیک است.

۵.۳.۸. اختلاف در ابزارهای ارزیابی عملکرد ورزشی—از جمله vertical jump، Wingate، RM۱، isometric peak torque و sprint tests که موجب ناهمگونی قابل توجه در پیامدها و دشواری در استنتاج الگوی اثر یکپارچه می‌شود.

این سطوح متعدد از ناهمگونی، در مجموع، مانع از دستیابی به نتیجه‌گیری‌های قطعی درباره‌ی اثرات پروبیوتیک‌ها در ورزشکاران قدرتی شده و نیاز به طراحی مطالعات استانداردتر، همگن‌تر و با تعریف دقیق‌تری از مداخلات و شاخص‌های ارزیابی را برجسته می‌کند.

۴.۸. کمبود مطالعات اختصاصی روی ورزشکاران قدرتی

یکی از محدودیت‌های برجسته در ادبیات موجود، فقدان مطالعات اختصاصی بر ورزشکاران قدرتی است؛ مسئله‌ای که تعمیم نتایج به این گروه را بسیار دشوار می‌کند.

در مرور Prokopidis et al., ۲۰۲۲ – Impact of probiotics on muscle mass, muscle strength and lean mass:

۱،٤،۸. اکثریت مطالعات شامل ورزشکاران عمومی، افراد فعال، یا جمعیت بزرگسال سالم بوده‌اند، نه ورزشکاران تخصصی در حوزه‌ی قدرت (powerlifters, weightlifters, strongman, bodybuilders).

۲،٤،۸. در این مرور هیچ تمایز مستقیمی بین ورزشکاران قدرتی و ورزشکاران تمرین دیده اعمال نشده است؛ بنابراین نتایج ترکیبی اثر پروبیوتیک‌ها بر توده‌ی عضلانی و قدرت عضلانی شامل جمعیت‌های متنوعی بوده است.

۳.۴.۸. ناهمگونی در نوع شرکت‌کنندگان تمرین دیده(Trained) ، غیر رقابتی/ تفریحی(Recreationally active) ، فاقد سابقه تمرینی(Untrained) و ترکیبی (Mix) باعث شده نتوان اثرات را به‌طور مستقیم به ورزشکاران قدرتی نسبت داد.

٤،٤،۸. تعداد مطالعاتی که به‌طور خاص تمرین مقاومتی شدید، آزمون‌های قدرتی(RM۱، isokinetic torque) ، یا جمعیت قدرتی حرفه‌ای را مورد بررسی قرار داده باشند، بسیار محدود یا حتی در برخی مرورها صفر است.

در نتیجه، به علت نبود RCTهای کافی روی ورزشکاران قدرتی واقعی، شواهد موجود هنوز برای ارائه‌ی توصیه‌های قطعی یا کاربردی ویژه‌ی این جمعیت کافی نیست.

آنچه اکنون مؤید اثرات مثبت است، بیشتر بر اساس داده‌های جمعیت‌های «فعال» یا «آماتور» است، نه ورزشکاران تخصصی قدرتی.

این محدودیت نشان‌دهنده‌ی نیاز فوری به کارآزمایی‌های بالینی هدفمند در ورزشکاران قدرتی با پروتکل‌های دقیق، استاندارد و قابل تعمیم است.

۵،۸. کمبود داده‌های مکانیسمی انسانی

یکی از مهم‌ترین خلأهای ادبیات موجود، نبود شواهد مکانیسم‌محور در انسان است؛ مسئله‌ای که تفسیر علّی اثرات پروبیوتیک‌ها بر عضله و عملکرد قدرتی را محدود می‌کند.

در Zhang ۲۰۲۳ – The gut microbiome of elite athletes بررسی جامعی از ترکیب و کارکرد میکروبیوم ورزشکاران نخبه ارائه شده است، اما هیچ داده‌ی مستقیم انسانی درباره‌ی پیامدهای عضلانی در سطح سلولی و مولکولی، مانند سیگنالینگ آنابولیک، فعالیت میتوکندری، سنتز پروتئین عضلانی یا التهاب بافتی، گزارش نشده است.

به بیان دیگر، مطالعه تنها ارتباطات سطح میکروبیوم را نشان می‌دهد، نه مسیرهای فیزیولوژیک علت – معلولی.

در Giron ۲۰۲۲ – Probiotics, mitochondria, and skeletal muscle شواهد مرورشده عمدتاً از مدل‌های حیوانی یا محیط‌های زنده (انسانی) حاصل شده‌اند.مسیرهای مرتبط با عملکرد میتوکندری، اکسیداسیون، بیوژنز، هموستازی انرژی و التهاب عمدتاً در شرایط آزمایشگاهی یا حیوانی ارزیابی شده‌اند.داده‌های انسانی بسیار محدود بوده و توانایی اتصال مکانیسم‌های میتوکندریایی یا سلولی عضله به تغییرات عملکردی ناشی از پروبیوتیک‌ها در انسان را فراهم نمی‌کند.

به طور کلی، نبود شواهد انسانی در سطح مکانیزمی چه در سطح عضله اسکلتی و چه در مسیرهای میتوکندری و التهاب یکی از فاصله‌های اساسی دانش موجود است.

در نتیجه، هرچند مطالعات انسانی برخی اثرات عملکردی پروبیوتیک‌ها را نشان داده‌اند، عدم وجود داده‌های مکانیزمی در موجود زنده سبب می‌شود نتوان مسیرهای زیربنایی را با قطعیت تفسیر کرد.

این محدودیت نیاز به مطالعات انسانی مکانیزم‌محور را برجسته می‌کند؛ به‌ویژه مطالعاتی که تغییرات میتوکندریایی، نشانگرهای مولکولی عضله، و واسطه‌های متابولیکی محور روده – عضله را به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کنند.

منابع

۱. Prokopidis, K., Giannos, P., Kirwan, R., Ispoglou, T., Galli, F., Witard, O. C., Triantafyllidis, K. K., Kechagias, K. S., Morwani-Mangnani, J., Ticinesi, A., & Isanejad, M. (۲۰۲۲). Impact of probiotics on muscle mass, muscle strength and lean mass: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle, ۱٤(۱), ۳۰–٤٤. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۲/jcsm.۱۳۱۳۲ (pmc.ncbi.nlm.nih.gov)

۲.Marttinen, M., Ala-Jaakkola, R., Laitila, A., & Lehtinen, M. J. (۲۰۲۰). Gut microbiota, probiotics and physical performance in athletes and physically active individuals. Nutrients, ۱۲(۱۰), ۲۹۳٦. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/nu۱۲۱۰۲۹۳٦ (mdpi.com)

۳.Santibañez-Gutierrez, A., Fernández-Landa, J., Todorović, N., Calleja-González, J., Stojanović, M., & Mielgo-Ayuso, J. (۲۰۲۳). Effects of probiotics on strength and power performance in a trained population: A systematic review and meta-analysis. Kinesiology, ٥٥(۱), ٦۲–۷۲. https://hrcak.srce.hr/file/٤۳۳۳۸٥

۴.Townsend, J. R., Bender, D., Vantrease, W. C., Sapp, P. A., Toy, A. M., Woods, C. A., & Johnson, K. D. (۲۰۱۸). Effects of probiotic (Bacillus subtilis DE۱۱۱) supplementation on immune function, hormonal status, and physical performance in Division I baseball players. Sports (Basel), ٦(۳), ۷۰. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/sports٦۰۳۰۰۷۰ (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

٥.Chen, Y.-M., Wei, L., Chiu, Y.-S., Hsu, Y.-J., Tsai, T.-Y., Wang, M.-F., & Huang, C.-C. (۲۰۱٦). Lactobacillus plantarum TWK۱۰ supplementation improves exercise performance and increases muscle mass in mice. Nutrients, ۸(٤), ۲۰٥. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/nu۸۰٤۰۲۰٥ (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

۶.Lee, M.-C., Tu, Y.-T., Lee, C.-C., Tsai, S.-C., Hsu, H.-Y., Tsai, T.-Y., Liu, T.-H., Young, S.-L., Lin, J.-S., & Huang, C.-C. (۲۰۲۱). Lactobacillus plantarum TWK۱۰ improves muscle mass and functional performance in frail older adults: A randomized, double-blind clinical trial. Microorganisms, ۹(۷), ۱٤٦٦. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/microorganisms۹۰۷۱٤٦٦ (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

۷.Teglas, T., & Radak, Z. (۲۰۲٥). Probiotic supplementation for optimizing athletic performance: Current evidence and future perspectives for microbiome-based strategies. Frontiers in Nutrition, ۱۲, ۱٥۷۲٦۸۷. https://doi.org/۱۰,۳۳۸۹/fnut.۲۰۲٥,۱٥۷۲٦۸۷ (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

۸.Jäger, R., Purpura, M., Farmer, S., Cash, H. A., Keller, D., Chernoff, J., Lowery, R. P., Shields, K. A., & Cooke, M. (۲۰۱٦). Probiotic Bacillus coagulans GBI-۳۰, ٦۰۸٦ reduces

exercise-induced muscle damage and increases recovery. PeerJ, ٤, e٢٢٧٦. https://doi.org/١٠,٧٧١٧/peerj.٢٢٧٦

٩.Zhang, L., Liu, Y., Zhang, X., Wang, J., & Li, Y. (٢٠٢٣). Effects of probiotic supplementation on exercise and the underlying mechanisms. Foods, ١٢(٩), ١٧٩٣. https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/foods١٢٠٩١٧٩٣

١٠.Shirkoohi, N. M., Mohammadi, H., Gallaly, D. Q., & Djafarian, K. (٢٠٢٥). The effects of probiotic supplementation on body composition, recovery following exercise-induced muscle damage, and exercise performance: A systematic review and meta-analysis of clinical trials. Physiological Reports, ١٣(٨), e٧٠٢٨٨. https://doi.org/١٠,١٤٨١٤/phy٢,٧٠٢٨٨ (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

١١.Scheiman, J., Luber, J. M., Chavkin, T. A., MacDonald, T., Tung, A., Pham, L.-D., Wibowo, M. C., Wurth, R. C., Punthambaker, S., Tierney, B. T., Yang, Z., Hattab, M. W., Avila-Pacheco, J., Clish, C. B., Lessard, S., Church, G. M., Kostic, A. D., & Clish, C. B. (٢٠٢٠). Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. Nature Medicine, ٢٦(٧), ١١٠٤–١١٠٩. https://doi.org/١٠,١٠٣٨/s٤١٥٩١-٠٢٠-٠٩١٨-١

١٢.Lee, M.-C., Hsu, Y.-J., Ho, C.-S., Tsai, Y.-S., Chen, C.-C., & Huang, C.-C. (٢٠٢٤). Supplementation with Lactiplantibacillus brevis GKEX combined with resistance exercise training improves muscle mass, strength performance, and body fat condition in healthy humans. Foods, ١٣(٧), ١٠٣٠. https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/foods١٣٠٧١٠٣٠ (mdpi.com)

١٣.Yeh, W.-L., Hsu, Y.-J., Ho, C.-S., Ho, H.-H., Kuo, Y.-W., Tsai, S.-Y., Huang, C.-C., & Lee, M.-C. (٢٠٢٢). Lactobacillus plantarum PL-٠٢ supplementation combined with resistance training improved muscle mass, force, and exercise performance in mice. Frontiers in Nutrition, ٩, ٨٩٦٥٠٣. https://doi.org/١٠,٣٣٨٩/fnut.٢٠٢٢,٨٩٦٥٠٣ (frontiersin.org)

١٤.Stecker, R. A., Moon, J. M., Russo, T. J., Ratliff, K. M., Mumford, P. W., Jäger, R., Purpura, M., & Kerksick, C. M. (٢٠٢٠). Bacillus coagulans GBI-٣٠, ٦٠٨٦ improves amino acid absorption from milk protein in healthy adults. Nutrients, ١٢(١٠), ٣٠٣٣. https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/nu١٢١٠٣٠٣٣

١٥.Mohr, A. E., Pyne, D. B., Leite, G. S. F., Akins, D., & Pugh, J. (٢٠٢٣). A systematic scoping review of study methodology for randomized controlled trials investigating probiotics in athletic and physically active populations. Journal of Sport and Health Science, ١٣(١), ٦١–٧١. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.jshs.٢٠٢٢,١٢,٠١٢ (sciencedirect.com)

١٦.Di Dio, M., Calella, P., Pelullo, C. P., Liguori, F., Di Onofrio, V., Gallè, F., & Liguori, G. (٢٠٢٣). Effects of probiotic supplementation on sports performance and performance-related features in athletes: A systematic review. International Journal of Environmental Research and Public Health, ٢٠(٣), ٢٢٢٦. https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/ijerph٢٠٠٣٢٢٢٦

۱۷.Guo, C., Luo, S., & You, Y. (۲۰۲۵). The impact of probiotic supplementation on aerobic capacity and muscle mass in athletes: A meta-analysis. Science & Sports, ٤٠(٨), ٦٠٣–٦١١. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.scispo.٢٠٢٥,٠٨,٠٠١ (sciencedirect.com)

۱۸.Petersen, L. M., Bautista, E. J., Nguyen, H., Hanson, B. M., Chen, L., Lek, S. H., Sodergren, E., Weinstock, G. M., & Frank, D. N. (۲۰۱۷). The human gut microbiome of athletes: Metagenomic and metabolic insights. Microbiome, ٥, ٤٣. https://doi.org/١٠,١١٨٦/s٤٠١٦٨-٠١٧-٠٢٤٧-٧

۱۹.Gepner, Y., Hoffman, J. R., Shemesh, E., Stout, J. R., Church, D. D., Varanoske, A. N., Zelicha, H., Shelef, I., Chen, Y., Frankel, H., & Ostfeld, I. (۲۰۱۷). Combined effect of Bacillus coagulans GBI-۳۰, ٦٠٨٦ and β-hydroxy-β-methylbutyrate supplementation on muscle integrity and cytokine response during intense military training. Journal of Applied Physiology, ١٢٣(١), ١١–١٨. https://doi.org/١٠,١١٥٢/japplphysiol.٠١١١٦,٢٠١٦

۲۰.Aparicio-Pascual, D., Clemente-Suárez, V. J., Tornero-Aguilera, J. F., & Rubio-Zarapuz, A. (۲۰۲٥). The effect of probiotic supplementation on cytokine modulation in athletes after a bout of exercise: A systematic review and meta-analysis. Sports Medicine - Open, ١١(١), ٥٨. https://doi.org/١٠,١١٨٦/s٤٠٧٩٨-٠٢٥-٠٠٨٦٠-٧ (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

۲۱.Hsu, Y.-J., Ho, C.-S., Ho, H.-H., Kuo, Y.-W., Tsai, S.-Y., Huang, C.-C., & Lee, M.-C. (۲۰۲۲). Lactobacillus plantarum PL-۰۲ supplementation improves endurance exercise performance and increases muscle mass in mice. Frontiers in Nutrition, ٩, ٨٠٩٩٨٣. https://doi.org/١٠,٣٣٨٩/fnut.٢٠٢٢,٨٠٩٩٨٣

۲۲.Giron, M., Santilli, F., Valerio, A., & Muscaritoli, M. (۲۰۲۲). Gut microbiota and skeletal muscle: A focus on cachexia, sarcopenia, and physical performance. Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle, ١٣(٦), ٢٧٩٠–٢٨٠٦. https://doi.org/١٠,١٠٠٢/jcsm.١٣٠١١

۲۳.West, N. P., Pyne, D. B., Peake, J. M., & Cripps, A. W. (۲۰۰۹). Probiotics, immunity and exercise: a review. Exercise Immunology Review, ١٥, ١٠٧–١٢٦. (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

۲۴.Williams, N., & Weir, T. (۲۰۲۴). Spore-based probiotic Bacillus subtilis: Current applications in humans and future perspectives. Fermentation, ١٠(٢), ٧٨. https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/fermentation١٠٠٢٠٠٧٨ (mdpi.com)

۲۵.Sivamaruthi, B. S., Kesika, P., & Chaiyasut, C. (۲۰۱۹). Effect of probiotic supplementation on health status of athletes. International Journal of Environmental Research and Public Health, ١٦(٢٢), ٤٤٦٩. https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/ijerph١٦٢٢٤٤٦٩ (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

\۲۶.Lamprecht, M., Bogner, S., Schippinger, G., Steinbauer, K., Fankhauser, F., Hallstroem, S., Schuetz, B., & Greilberger, J. F. (۲۰۱۲). Probiotic supplementation affects markers of intestinal barrier, oxidation, and inflammation in trained men: A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. Journal of the International Society of Sports Nutrition, ۹, ٤٥. https://doi.org/۱۰,۱۱۸٦/۱٥٥۰-۲۷۸۳-۹-٤٥

۲۷.Miles, M. P. (۲۰۲۰). Probiotics and gut health in athletes. Current Nutrition Reports, ۹(۳), ۱۲۹–۱۳۶. https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۳٦٦۸-۰۲۰-۰۰۳۱٦-۲ (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)

۲۸.Jäger, R., Mohr, A. E., Carpenter, K. C., Kerksick, C. M., Purpura, M., Moussa, A., Townsend, J. R., Lamprecht, M., West, N. P., Black, K., Gleeson, M., Pyne, D. B., Wells, S. D., Arent, S. M., Smith-Ryan, A. E., Kreider, R. B., Campbell, B. I., Bannock, L., Scheiman, J., Wissent, C. J., Pane, M., Kalman, D. S., & Pugh, J. N. (۲۰۱۹). International Society of Sports Nutrition position stand: Probiotics. Journal of the International Society of Sports Nutrition, ۱٦(۱), ٦۲. https://doi.org/۱۰,۱۱۸٦/s۱۲۹۷۰-۰۱۹-۰۳۲۹-۰ (bulknutrients.com.au)

۲۹.Carvalho Porepp, O. da S., Xavier, M. G., da Silveira, L. M., Lindenau, I., Schmechel Schellin, A., Piccoli, R. C., Messenburger, G. P., Pastorino da Silva, P., Souto Oliveira, P., Delpino, F. M., & Pieniz, S. (۲۰۲٤). Effect of probiotic supplementation on gut microbiota and sport performance in athletes and physically active individuals: A systematic review. Journal of Dietary Supplements, ۲۱(٥), ٦٦۰–٦۷٦. https://doi.org/۱۰,۱۰۸۰/۱۹۳۹۰۲۱۱,۲۰۲۳,۲۲۹۳۸٤۲ (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov)