

MEDICAL AREA

Effect of prebiotics, probiotics and symbiotics on gut microbiota in sedentary subjects and athletes: narrative review

Effetto di prebiotici, probiotici e simbiotici sul microbiota intestinale in soggetti sedentari e in atleti: review narrativa

Elisa GRAZIOLI¹, Claudia CERULLI¹, Caterina MAURI^{1*}, Arianna MURRI¹,
Eliana TRANCHITA², Gianfranco BELTRAMI³, Attilio PARISI¹, Maurizio CASASCO^{3,4}

¹Department of Movement, Human and Health Sciences, Foro Italico University of Rome, Rome, Italy; ²UOS Sports Medicine, Bambino Gesù IRCCS Children's Hospital, Rome, Italy; ³Italian Sports Medical Federation, Rome, Italy; ⁴European Federation of Sports Medicine Association, Lausanne, Switzerland

*Corresponding author: Caterina Mauri, Department of Movement, Human and Health Sciences, Foro Italico University of Rome, Rome, Italy. E-mail: c.mauri@studenti.uniroma4.it

SUMMARY

The gut microbiota, a complex community of microorganisms, and its impact on health is a topic of mounting interest in the scientific world. Recent studies have highlighted its importance in regulating fundamental physiological functions, and emphasize how proper microbial balance (eubiosis) is associated with a healthy state, while an alteration in this balance (dysbiosis) is related to metabolic and inflammatory disorders. Physical activity and a healthy, balanced diet promote proper modulation of the microbiota; but inactive and unhealthy lifestyles make clear the need to support the body through supplementation of probiotics, prebiotics and symbiotics. Indeed, prebiotics, non-digestible fiber, and probiotics, beneficial live microorganisms, improve the diversity of the microbiota, inducing proper eubiosis. The aim of this narrative review was to investigate the effect of prebiotics and probiotics in two particular categories of people whose lifestyle may have led to altered microbiota: sedentary and overweight individuals and athletes. From the studies analyzed, it appears that in sedentary and overweight subjects, these supplements lead to a reduction in systemic inflammation and regulate metabolism, for example, by improving insulin sensitivity. Even more, symbiotics (prebiotics+probiotics) amplify the above benefits. In addition, studies on athletes show that the effectiveness of such modulating agents of the microbiota influence both sports performance and post-exercise recovery. Indeed, probiotic intake reduces oxidative stress, improves immune function, and minimizes gastrointestinal symptoms associated with intense training, while symbiotics and prebiotics, by stimulating the production of short-chain fatty acids, improve physical endurance and muscle recovery. What emerges from this review, therefore, is that prebiotics, probiotics, and symbiotics represent promising tools both for improving the metabolic health and inflammatory status of sedentary individuals and for optimizing performance and recovery in athletes. Nevertheless, further research remains necessary to define more effective strains and dosages for each category.

(Cite this article as: Grazioli E, Cerulli C, Mauri C, Murri A, Tranchita E, Beltrami G, et al. Effect of prebiotics, probiotics and symbiotics on gut microbiota in sedentary subjects and athletes: narrative review. Med Sport 2024;77:480-90. DOI: 10.23736/S0025-7826.25.04524-7)

KEY WORDS: Prebiotics; Probiotics; Gastrointestinal microbiome; Sedentary behavior; Athletes.

RIASSUNTO

Il microbiota intestinale, una complessa comunità di microrganismi, ed il suo impatto sulla salute è un argomento che suscita sempre maggiore interesse nel mondo scientifico. Studi recenti ne evidenziano l'importanza nel regolare funzioni fisiologiche fondamentali, e sottolineano come un corretto equilibrio microbico (eubiosi) sia associato ad uno stato di salute, mentre una alterazione dello stesso (disbiosi) sia correlata a disturbi metabolici e infiammatori. L'attività fisica e una dieta sana e bilanciata favoriscono la corretta modulazione del microbiota; ma stili di vita inattivi e poco salutari rendono evidente la necessità di supportare l'organismo attraverso l'integrazione di probiotici, prebiotici e simbiotici. Infatti, i prebiotici, fibre non digeribili, e i probiotici, microrganismi vivi benefici, migliorano la diversità del microbiota, inducendo una corretta eubiosi. L'obiettivo di questa revisione narrativa è stato quello di approfondire l'effetto di prebiotici e probiotici in due particolari categorie di persone che, a causa dello stile di vita, possono avere un microbiota alterato: soggetti sedentari e sovrappeso ed atleti. Dagli studi analizzati sembra che nei soggetti sedentari e sovrappeso, queste integrazioni permettono di ridurre l'infiammazione sistemica e regolare il metabolismo, ad esempio migliorando la sensibilità insulinica. E ancor di più i simbiotici (prebiotici+probiotici) amplificano i suddetti

benefici. Inoltre, studi su atleti dimostrano come l'efficacia di tali agenti di modulazione del microbiota influenzino sia la performance sportiva che il recupero post-esercizio. Infatti, l'assunzione di probiotici riduce lo stress ossidativo, migliora la funzione immunitaria e minimizza i sintomi gastrointestinali associati ad allenamenti intensi; mentre simbiotici e prebiotici, stimolando la produzione di acidi grassi a catena corta, migliorano resistenza fisica e recupero muscolare. Ciò che emerge quindi da questa revisione è che prebiotici, probiotici e simbiotici rappresentano strumenti promettenti sia per migliorare la salute metabolica e lo stato infiammatorio di soggetti sedentari, sia per ottimizzare la performance e il recupero negli atleti. Ciononostante, rimangono necessarie ulteriori ricerche per definire ceppi e dosaggi più efficaci per ciascuna categoria di persone.

PAROLE CHIAVE: *Prebiotici; Probiotici; Microbioma intestinale; Sedentarietà; Atleti.*

Until the early 2000s, papers and/or scientific material on the gut microbiota and its impact on human health were very rare. Currently, however, it has become a topic of growing interest in the scientific community, and has led to an exponential growth in studies aimed at investigating its characteristics and implications. The gut microbiota consists of a large community of microorganisms, and it is increasingly emerging that it plays a key role in regulating numerous physiological functions, such as the metabolism, immunity, and gut barrier integrity.¹ Numerous studies now agree that the balance among different microbial populations, termed eubiosis, is critical for gut and systemic health, while its alteration, or dysbiosis, is associated with metabolic, inflammatory, and gastrointestinal disorders.²

Gut microbiota modifying factors include regular physical activity and a healthy diet. In fact, as reported in the study by Campaniello *et al.*,³ regular physical activity allows enrichment of the diversity of the gut microbiota; it appears to be able to improve the ratio of *Bacteroidetes* to *Firmicutes*, potentially useful for the management of body composition, reduction of obesity-associated diseases and gastrointestinal disorders; and appears to stimulate the proliferation of bacterial species that can modulate immunity, improve intestinal barrier functions, and produce substances with protective action against gastrointestinal disorders and colon cancer. Similarly, diet is also a key factor in modulating the microbiota. Certain dietary habits protracted over time, such as regular intake of fruits, vegetables and dietary fiber, or monounsaturated (MUFA) and polyunsaturated (PUFA) fatty acids, can indeed positively influence the health and well-being of the body through qualitative and quantitative changes in the gut microbiota. These changes may be reflected, for example, in the relative presence of certain taxonomic groups or in the amounts of certain metabolites, thereby promoting the di-

Fino ai primi anni duemila articoli e/o materiale scientifico sul microbiota intestinale e sul suo impatto sulla salute umana erano molto rari. Attualmente, invece, è diventato un argomento di crescente interesse nella comunità scientifica, questo ha portato ad una crescita esponenziale di studi volti ad indagarne caratteristiche e implicazioni. Il microbiota intestinale è costituito da una vasta comunità di microrganismi e sta emergendo sempre più come esso abbia un ruolo chiave nella regolazione di numerose funzioni fisiologiche, come il metabolismo, l'immunità e l'integrità della barriera intestinale.¹ Numerosi studi ormai concordano su come l'equilibrio tra le diverse popolazioni microbiche, definito eubiosi, sia fondamentale per la salute intestinale e sistemica, mentre una sua alterazione, definita disbiosi, sia associata a problematiche metaboliche, infiammatorie e disordini gastrointestinali.²

*Tra i fattori modificanti il microbiota intestinale vi sono l'attività fisica regolare e una sana alimentazione. Infatti, come riportato dallo studio di Campaniello *et al.*,³ l'attività fisica regolare permette l'arricchimento della diversità del microbiota intestinale; sembra essere in grado di migliorare il rapporto tra *Bacteroidetes* e *Firmicutes*, potenzialmente utile per il management della composizione corporea, la riduzione delle malattie associate all'obesità e i disturbi gastrointestinali; e sembra stimolare la proliferazione di specie batteriche in grado di modulare l'immunità, migliorare le funzioni della barriera intestinale, e produrre sostanze ad azione protettiva contro i disturbi gastrointestinali e il cancro del colon. Allo stesso modo, anche la dieta rappresenta un fattore chiave per la modulazione del microbiota. Determinate abitudini alimentari protratte nel tempo, come l'assunzione regolare di frutta, verdura e fibre alimentari, o di acidi grassi monoinsaturi (MUFA) e polinsaturi (PUFA), possono infatti influenzare positivamente la salute e il benessere dell'organismo attraverso cambiamenti qualitativi e quantitativi del microbiota intestinale. Questi cambiamenti possono riflettersi, ad esempio, nella presenza relativa di alcuni gruppi tassonomici o*

versity and functionality of the gut microbiota.

Precisely because of the importance of the role of diet, it has emerged that prebiotics and probiotics can be powerful tools for modulating gut microbiota. In fact, prebiotics are non-digestible substrates that selectively stimulate the growth and activity of bacteria defined as beneficial, and are found mainly in whole grain, legumes, yogurt and fermented milk, and certain vegetables such as asparagus, artichokes, onions and garlic; while probiotics, found mainly in fermented foods (e.g. kombucha tea, miso, kefir, tempeh, and sauerkraut), in fortified yogurt, and in some dairy products, are live microorganisms that, when sufficiently supplemented, improve intestinal homeostasis and modulation of the immune response.⁴ In addition, the combined supplementation of probiotics and prebiotics within a healthy, balanced diet has also shown promising results in the prevention and management of metabolic disorders, as well as protection against infection and inflammatory disorders.⁵

Such supplementation is even more effective when included and proposed to people who follow sedentary lifestyles and improper diet, habits that are very common in the general population, especially in the West. In fact, precisely in sedentary or non-athletic subjects, a diet rich in prebiotics and supplementation of probiotics, which are more difficult to obtain through the diet, have been associated with qualitative improvements in the microbiota with a consequent reduction in systemic inflammation, which helps in preventing diseases related to inactive lifestyles, such as obesity or metabolic dysfunction.⁶ It has also been shown that following a nutritional regime based on the Mediterranean diet characterized by a high intake of prebiotics, has a beneficial effect on the health of the gut microbiome and thus on overall health, even without reductions in caloric intake.⁷

In recent years, scientific research has focused on the effects of the interaction between gut microbiota and the intake of probiotics and prebiotics in sports performance and post-exercise recovery in athletes. Indeed, in a review conducted by Yang *et al.*,⁸ it was found that gut microbiota can influence athletes' ability to achieve optimal performance by regulating energy metabolism, for example, and positively affecting post-exercise recovery time, especially by reducing fatigue. In fact, the diversity and composition of the gut microbiota also seems

nelle quantità di determinati metaboliti, promuovendo quindi la diversità e la funzionalità del microbiota intestinale.

Proprio per l'importanza del ruolo della dieta, è emerso come prebiotici e probiotici possano essere dei potenti strumenti per la modulazione del microbiota intestinale. Infatti, i prebiotici sono substrati non digeribili che stimolano selettivamente la crescita e l'attività di batteri definiti benefici, e sono presenti principalmente nei cereali integrali, nei legumi, nello yogurt e nel latte fermentato, e in determinati ortaggi quali asparagi, carciofi, cipolla e aglio; mentre i probiotici, presenti principalmente nei cibi fermentati (e.g. té kombucha, miso, kefir, tempeh e crauti), nello yogurt addizionato e in alcuni latticini, sono microorganismi vivi che, quando sufficientemente integrati, migliorano l'omeostasi intestinale e la modulazione della risposta immunitaria.⁴ Inoltre, l'integrazione combinata di probiotici e prebiotici all'interno di un regime alimentare sano e bilanciato ha mostrato anche risultati promettenti nella prevenzione e gestione di patologie metaboliche, nonché nella protezione contro infezioni e disordini infiammatori.⁵

Tale integrazione risulta ancora più efficace se inserita e proposta a persone che seguono stili di vita sedentari e scorretta alimentazione, abitudini molto frequenti nella popolazione generale, soprattutto dell'occidente. Infatti, proprio in soggetti sedentari o non sportivi, una dieta ricca di prebiotici e l'integrazione di probiotici, più difficilmente reperibili attraverso la dieta, sono state associate a miglioramenti qualitativi del microbiota con una conseguente riduzione dell'infiammazione sistemica, che aiuta nel prevenire patologie legate a stili di vita inattivi, quali obesità o disfunzioni metaboliche.⁶ È stato inoltre dimostrato che seguire un regime alimentare basato sulla dieta mediterranea, caratterizzata da un elevato apporto di prebiotici, ha un effetto benefico sulla salute del microbioma intestinale e quindi sulla salute generale, anche senza riduzioni dell'in-take calorico.⁷

Negli ultimi anni, la ricerca scientifica si è focalizzata sugli effetti dell'interazione tra il microbiota intestinale e l'assunzione di probiotici e prebiotici nella performance sportiva e nel recupero post-esercizio in atleti. In una review condotta da Yang et al.,⁸ è emerso infatti come il microbiota intestinale possa influenzare la capacità degli atleti di raggiungere prestazioni ottimali, ad esempio regolando il metabolismo energetico, e influire positivamente sui tempi di recupero post allenamento, riducendo soprattutto la fatigue. Infatti, la diversità e la composizione del microbiota intestinale sembra possano influenzare anche la

to be able to influence modulation of oxidative stress and immune function, all of which are critical for improving athletic performance.⁹ It also appears that supplementation of prebiotics and probiotics may also play a positive role in terms of increasing physical endurance, reducing muscle damage, and improving recovery capacity. In light of the initial investigations reported so far, it appears that the proper intake of probiotics and prebiotics has beneficial effects on both sedentary and trained/athletic subjects, although modes of action are different and may also vary according to specific needs. Athletes, in fact, might benefit mainly in terms of managing exercise-induced physiological stress and optimizing energy metabolism during intense exercise; while in sedentary subjects, the main effect seems to be the regulation of inflammation and metabolism.¹⁰ Despite the growing interest in this topic in both sports and general health heads, the authors agree that there is still a need to investigate the specific ways in which probiotics/prebiotics interact with the microbiota.⁸

The purpose of this narrative review of the literature, therefore, was to provide an overview of the effects of taking probiotics, prebiotics, and symbiotics on the health of sedentary and overweight subjects, with a specific focus on metabolic health and reduction of inflammatory status; and also to analyze the effect of the same on performance and post-workout recovery in athletes. Three databases were used to conduct this literature search: PubMed, Scopus, and Web of Science. The keywords of the search were: “probiotics”; “prebiotics”; “synbiotics”; “gut microbiota”; “gut microbiome”; “intestinal health”; “metabolic health”; “inflammation”; “metabolic disease”; “sedentary”; “inactive lifestyle”; “overweight”; “athletes”; “sports performance”; “post-exercise recovery.”

Role of prebiotics and probiotics in sedentary and overweight subjects: focus on metabolic health and inflammation

As mentioned above, the scientific and clinical interest in the effects of prebiotics and probiotics on metabolic health and inflammation in sedentary and overweight subjects is steadily increasing, mainly due to their impact on modulating the gut microbiome (Table D). In fact, the growing interest in this specific population may be due to the fact that, in overweight and

modulazione dello stress ossidativo e la funzione immunitaria, tutti aspetti fondamentali per il miglioramento della performance atletica.⁹ Sembra inoltre che l'integrazione di prebiotici e probiotici possa avere un ruolo positivo anche in termini di incremento della resistenza fisica, riduzione dei danni muscolari e miglioramento delle capacità di recupero. Alla luce delle prime indagini riportate sin qui, sembra che la corretta assunzione di probiotici e prebiotici abbia effetti benefici sia su soggetti sedentari che su soggetti allenati/sportivi, sebbene le modalità di azione siano differenti e possano variare anche in base alle esigenze specifiche. Gli atleti, infatti, potrebbero beneficiarne principalmente in termini di gestione dello stress fisiologico indotto dall'esercizio e di ottimizzazione del metabolismo energetico durante gli esercizi intensi; mentre nei soggetti sedentari l'effetto principale sembra essere la regolazione dell'infiammazione e del metabolismo.¹⁰ Nonostante il crescente interesse per questo tema sia in capo sportivo che di salute generale, gli autori concordano su come ci sia ancora la necessità di indagare le specifiche modalità di interazione tra probiotici/prebiotici e microbiota.⁸

Per questo motivo, lo scopo di questa revisione narrativa della letteratura è quello di fornire una panoramica sugli effetti dell'assunzione di probiotici, prebiotici e simbiotici sulla salute di soggetti sedentari e sovrappeso, con un focus specifico sulla salute metabolica e sulla riduzione dello stato infiammatorio; e inoltre analizzare l'effetto degli stessi sulla performance e sul recupero post allenamento in atleti. Per condurre questa ricerca della letteratura sono stati usati tre database: PubMed, Scopus, e Web of Science. Le parole chiave della ricerca sono state: “probiotics”; “prebiotics”; “synbiotics”; “gut microbiota”; “gut microbiome”; “intestinal health”; “metabolic health”; “inflammation; metabolic disease”; “sedentary”; “inactive lifestyle”; “overweight”; “athletes”; “sports performance”; “post-exercise recovery”.

Ruolo di prebiotici e probiotici in soggetti sedentari e sovrappeso: focus su salute metabolica e infiammazione

Come sopramenzionato, l'interesse scientifico e clinico verso gli effetti dei prebiotici e probiotici sulla salute metabolica e sull'infiammazione in soggetti sedentari e sovrappeso è in continuo aumento, soprattutto grazie al loro impatto sulla modulazione del microbioma intestinale (Tabella D). Infatti, il crescente interesse in questa specifica popolazione potrebbe essere dato dal fatto che, nei

sedentary subjects, it is common to find a condition of dysbiosis, that is, an imbalance in gut microbiota, characterized by a decrease in beneficial bacteria and an increase in pathogenic microorganisms.¹¹ And it is from this imbalance that metabolic problems, such as insulin resistance and chronic low-grade inflammation, both of which are risk factors for conditions such as type 2 diabetes, metabolic syndrome and cardiovascular disease,^{12, 13} may result.

Probiotics, the health-beneficial live bacteria such as *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains, are known for their ability to improve the composition of the gut microbiome. Recent studies have shown that these microorganisms can reduce intestinal permeability, which is often impaired in overweight and sedentary individuals, leading to a condition known as “leaky gut” or permeable bowel.¹⁴ This permeability promotes translocation of bacterial endotoxins into the bloodstream, as in the case of lipopolysaccharide (LPS), triggering a systemic inflammatory response that contributes to insulin resistance and chronic inflammation.¹⁴ And it is in this context that the beneficial effect of probiotics fits. In fact, probiotics such as *Bifidobacterium* and *Lactobacillus*, promote the production of short-chain fatty acids (SCFAs) such as butyrate, which has anti-inflammatory effects and can improve the insulin sensitivity of peripheral cells. SCFAs also play a key role in maintaining the integrity of the intestinal barrier, thereby limiting the penetration of bacteria and toxins into the bloodstream, which is therefore a key element in the health of the entire body. Prebiotics, nondigestible fibers that serve as substrates for beneficial gut bacteria, such as inulin and fructooligosaccharides, also promote the growth of microbial species that produce SCFA and other metabolites with protective effects.¹⁵ Therefore, to promote the proliferation of these SCFA-producing beneficial bacteria, one must consume foods high in probiotics and prebiotics, such as soluble fiber, dairy products, starch¹⁶ and polyphenols.¹⁷ In fact, the combined intake of probiotics and prebiotics, called symbiosis, seems to be able to create an even more effective beneficial synergy for modulating the gut microbiome and thus for the prevention and management of metabolic disorders,¹⁸ positively influencing insulin sensitivity and metabolic efficiency.^{19, 20} In addition, regular intake of these microorganisms also contributes to the regulation of glucose and lipid metabolism.²¹ Just in terms of lipid profile, a recent study by

soggetti sovrappeso e sedentari, è comune trovare una condizione di disbiosi, ovvero uno squilibrio del microbiota intestinale, caratterizzato da una diminuzione di batteri benefici e da un aumento di microrganismi patogeni.¹¹ Ed è proprio da questo squilibrio che possono derivare problemi metabolici, come l'insulino-resistenza e l'infiammazione cronica di basso grado, entrambi fattori di rischio per condizioni quali diabete di tipo 2, sindrome metabolica e malattie cardiovascolari.^{12, 13}

I probiotici, i batteri vivi benefici per la salute, come i ceppi di Lactobacillus e Bifidobacterium, sono noti per la loro capacità di migliorare la composizione del microbioma intestinale. Studi recenti hanno dimostrato che questi microrganismi possono ridurre la permeabilità intestinale, che è spesso alterata nei soggetti sovrappeso e sedentari, portando a una condizione nota come “leaky gut” o intestino permeabile.¹⁴ Questa permeabilità favorisce la traslocazione di endotossine batteriche nel flusso sanguigno, come nel caso del lipopolisaccaride (LPS), innescando una risposta infiammatoria sistemica che contribuisce all'insulino-resistenza e all'infiammazione cronica.¹⁴ E proprio in questo contesto si inserisce l'effetto benefico dei probiotici. Infatti, probiotici quali Bifidobacterium e Lactobacillus, favoriscono la produzione di acidi grassi a catena corta (SCFA) come il butirato, il quale ha effetti antinfiammatori e può migliorare la sensibilità insulinica delle cellule periferiche. Gli SCFA svolgono un ruolo fondamentale anche nel mantenere l'integrità della barriera intestinale, limitando così la penetrazione di batteri e tossine nel sangue, che rappresenta quindi un elemento fondamentale per la salute dell'intero organismo. Anche i prebiotici, fibre non digeribili che fungono da substrato per i batteri intestinali benefici, come l'inulina e i frutto-oligosaccaridi, favoriscono la crescita di specie microbiche che producono SCFA e altri metaboliti con effetti protettivi.¹⁵ Per favorire la proliferazione di questi batteri utili alla produzione di SCFA, bisogna quindi assumere alimenti ad alto contenuto di probiotici e prebiotici, quali fibre solubili, latticini, amido¹⁶ e polifenoli.¹⁷ Infatti, l'assunzione combinata di probiotici e prebiotici, detta simbiosi, sembra possa creare una ancor più efficace sinergia benefica per la modulazione del microbioma intestinale e quindi per la prevenzione e gestione dei disturbi metabolici,¹⁸ influenzando positivamente la sensibilità all'insulina e l'efficienza metabolica.^{19, 20} Inoltre, l'assunzione regolare di questi microrganismi contribuisce anche alla regolazione del metabolismo del glucosio e dei lipidi.²¹ Proprio in termini di profilo lipidico, un recente studio di Pan et al.²² ha evidenziato come l'assunzione di prebiotici possa

Pan *et al.*²² showed that prebiotic intake can reduce LDL cholesterol and triglyceride levels, thus improving cardiovascular risk associated with overweight and sedentary lifestyle. In addition, symbiotic intake also appears to positively affect weight regulation by modulating the gut microbiome through increased proliferation of specific bacterial species, such as *Lactobacillus*.²³ This is demonstrated, for example, in the study by Hibberd *et al.*,²⁴ in which the authors investigated the effect of probiotics or symbiotics on the gut microbiota and metabolic health in 134 overweight individuals. The six-month study involved dividing participants into four groups: group 1 was given a placebo substance (12 g/d of microcrystalline cellulose); group 2 was given 12 g/d of polydextrose, a synthetic carbohydrate used as functional dietary fiber; group 3 was given the probiotic strain *Bifidobacterium animalis subsp. lactis* B420 (B420, 10¹⁰ CFU/d); finally, to group 4, a combination of polydextrose and B420. The results of the study showed that the intake of the probiotic B420 and its combination with polydextrose positively changed the intestinal microbiota, increasing specific strains such as *Lactobacillus* and *Akkermansia*, and also decreased the presence of some plasma bile acids, suggesting improved intestinal barrier function. Also in the study by Crovesy *et al.*,²⁵ the effect of probiotics and symbiotics on modulating gut microbiota was investigated, and they also investigated the effect of probiotics on the metabolic profile of 32 obese women (BMI between 30 and 34.9 kg/m²), focusing on the metabolic health benefits and reduction of inflammation. The participants, who followed a low-calorie diet for 8 weeks, were divided into three groups: one group took probiotics (*Bifidobacterium lactis*); one group took symbiotics, *i.e.*, *Bifidobacterium lactis* in combination with fructooligosaccharides; and one group took a placebo substance. The results of the study seem to suggest that taking symbiotics may offer superior benefits over probiotics or diet alone. In fact, the intake of *Bifidobacterium lactis* in combination with fructooligosaccharides appears to induce greater metabolic benefits by increasing metabolites such as pyruvate and alanine, decreasing citrate and ramified amino acid levels, and inducing greater loss of fat mass; thus highlighting the beneficial potential of taking symbiotics in the management of obesity and its metabolic complications. It is thus apparent that these beneficial effects on metabolic health

*ridurre i livelli di colesterolo LDL e dei trigliceridi, migliorando così il rischio cardiovascolare associato al sovrappeso e alla sedentarietà. Inoltre, l'assunzione simbiotica sembra influire positivamente anche sulla regolazione del peso, grazie alla modulazione del microbioma intestinale attraverso l'aumento della proliferazione di specifiche specie batteriche, quali Lactobacillus.*²³ *Ciò è dimostrato, ad esempio, nello studio di Hibberd et al.,²⁴ in cui gli autori hanno indagato l'effetto di probiotici o simbiotici sul microbiota intestinale e sulla salute metabolica in 134 individui sovrappeso. Lo studio, della durata di sei mesi, prevedeva la suddivisione dei partecipanti in quattro gruppi: al gruppo 1 è stata somministrata una sostanza placebo (12 g/d di cellulosa microcristallina); al gruppo 2 sono stati somministrati 12 g/d di polidestrosio, un carboidrato sintetico utilizzato come fibra alimentare funzionale; al gruppo 3 il ceppo probiotico Bifidobacterium animalis subsp. lactis B420 (B420, 10¹⁰ CFU/d); infine, al gruppo 4, una combinazione di polidestrosio e B420. I risultati dello studio hanno mostrato che l'assunzione del probiotico B420 e la sua combinazione con il polidestrosio hanno modificato positivamente il microbiota intestinale, aumentando specifici ceppi come Lactobacillus e Akkermansia, e inoltre hanno diminuito la presenza di alcuni acidi biliari plasmatici, suggerendo un miglioramento della funzione della barriera intestinale. Anche nello studio di Crovesy et al.²⁵ è stato indagato l'effetto di probiotici e simbiotici sulla modulazione del microbiota intestinale, indagando inoltre l'effetto degli stessi sul profilo metabolico di 32 donne obese (BMI compreso tra 30 e 34,9 kg/m²), concentrandosi sui benefici per la salute metabolica e sulla riduzione dell'infiammazione. Le partecipanti, che hanno seguito una dieta ipocalorica per 8 settimane, sono state divise in tre gruppi: un gruppo ha assunto probiotici (Bifidobacterium lactis); un gruppo simbiotici, ossia Bifidobacterium lactis in combinazione con frutto-oligosaccaridi; e un gruppo ha assunto una sostanza placebo. I risultati dello studio sembrano suggerire che l'assunzione di simbiotici possa offrire vantaggi superiori rispetto ai soli probiotici o dieta. L'assunzione di Bifidobacterium lactis in combinazione con frutto-oligosaccaridi, infatti, risulta indurre maggiori benefici metabolici aumentando metaboliti come piruvato e alanina, diminuendo i livelli di citrato e aminoacidi ramificati, e inducendo una maggiore perdita di massa grassa; evidenziano quindi il potenziale benefico dell'assunzione di simbiotici nella gestione dell'obesità e delle sue complicazioni metaboliche. Risulta quindi evidente come questi effetti benefici sulla salute metabolica agiscano anche sull'inte-*

also act on the integrity of the intestinal barrier, reducing its permeability, and thus playing a key role in modulating systemic inflammation as well.²⁶ Recent studies suggest that improving the composition of the microbiota through supplementation with symbiotics in sedentary and overweight subjects may reduce the number of pro-inflammatory bacteria. Indeed, supplementation with specific probiotic strains appears to be able to reduce levels of C-reactive protein (CRP), a marker of systemic inflammation, showing a positive impact on chronic inflammation associated with overweight.^{27, 28} And, in addition, supplementation with prebiotics has also shown a reduction again in CRP levels and interleukin-6 (IL-6), also an inflammatory biomarker that, at elevated levels, indicates a state of chronic systemic inflammation.²⁹

It is thus inferred that probiotics, prebiotics, and symbiotics represent an increasingly promising and effective approach to improving metabolic health and reducing chronic inflammation in overweight and sedentary individuals. Due to the effect of probiotics on the gut barrier and modulation of systemic inflammation, prebiotics in promoting the growth of beneficial bacteria that support metabolic health, and the synergistic effect of symbiosis, the combined use of these supplements could represent an extremely useful area of intervention, although further studies are needed to understand which strains and dosages are most effective for this specific population.

Role of prebiotics and probiotics in athletes: effects on performance and post-exercise recovery

As a result of the many positive health results that have emerged from the study of these microorganisms, a branch of scientific research has shifted its true focus to studying the effects of such supplementation on athletic performance (Table I). Athletes, in fact, often subject their bodies to intense training loads that on the one hand improve physical ability but at the same time can also lead to increased inflammation and oxidative stress, and impaired gut health.³⁰

As also seen above, the gut microbiome plays a key role in energy metabolism, immune system regulation and management of inflammation, all factors related to athletes' performance and post-exercise recovery, making this field of research extremely useful and interesting.

grità della barriera intestinale, riducendone la permeabilità, e svolgendo quindi un ruolo chiave anche della modulazione dell'infiammazione sistemica.²⁶ Studi recenti suggeriscono che il miglioramento della composizione del microbiota attraverso l'integrazione con simbiotici in soggetti sedentari e sovrappeso può ridurre il numero di batteri pro-infiammatori. Infatti, l'integrazione con specifici ceppi probiotici sembra possa ridurre i livelli di proteina C-reattiva (CRP), un marker di infiammazione sistemica, evidenziando un impatto positivo sull'infiammazione cronica associata al sovrappeso.^{27, 28} E, inoltre, anche l'integrazione con prebiotici ha dimostrato una riduzione sempre dei livelli di CRP e di interleuchina-6 (IL-6), anch'essa un biomarcatore infiammatorio che, a livelli elevati, indica uno stato di infiammazione cronica sistemica.²⁹

Si evince quindi che probiotici, prebiotici e simbiotici rappresentino un approccio sempre più promettente ed efficace per migliorare la salute metabolica e ridurre l'infiammazione cronica nei soggetti sovrappeso e sedentari. Grazie all'effetto dei probiotici sulla barriera intestinale e sulla modulazione dell'infiammazione sistemica, dei prebiotici nel favorire la crescita di batteri benefici che supportino la salute metabolica, e all'effetto sinergico della simbiosi, l'uso combinato di questi integratori potrebbe rappresentare un'area di intervento estremamente utile, anche se sono necessari ulteriori studi per comprendere quali ceppi e dosaggi siano più efficaci per questa popolazione specifica.

Ruolo di prebiotici e probiotici in atleti: effetti sulla performance e sul recupero post-esercizio

A seguito dei numerosi risultati positivi sulla salute emersi dallo studio di questi microorganismi, una branca della ricerca scientifica ha spostato il suo interesse vero lo studio degli effetti di tale integrazione sulla performance atletica (Tabella I). Gli atleti, infatti, spesso sottopongono il loro corpo a carichi di allenamento intensi che da un lato migliorano le capacità fisiche ma che al contempo possono anche portare ad un aumento dell'infiammazione e dello stress ossidativo, e ad una compromissione della salute intestinale.³⁰

Come visto anche in precedenza, il microbioma intestinale svolge un ruolo fondamentale nel metabolismo energetico, nella regolazione del sistema immunitario e nella gestione dell'infiammazione, fattori tutti collegati alla performance e al recupero post-esercizio degli atleti, rendendo questo campo di ricerca estremamente utile e interessante.

TABLE I.—Examples of probiotics, prebiotics and symbiotics and effect on general health and performance.
TABELLA I.—Esempi di probiotici, prebiotici e simbiotici ed effetto sulla salute generale e sulla performance.

Probiotics	Effect on general health	Effect on performance
Bifidobacteria	Support gut health, improve the balance of the microbiota, and stimulate the immune system	Improve nutrient absorption, reduce inflammation, and support physical endurance and post-exercise tissue repair
Lactobacilli	Promote lactose digestion, reduce intestinal inflammation, and help prevent infection	Reduce oxidative stress and support post-workout recovery
Prebiotics	Effect on general health	Effect on performance
Fructo-oligosaccharides (FOS)	Promote the growth of beneficial bacteria (e.g. Bifidobacteria) and improve intestinal regularity	Improve metabolic function through the production of short-chain fatty acids and improve endurance
Lactitol	Promotes colon health by increasing production of short-chain fatty acids and reducing intestinal ammonia levels	Support gut health, improving carbohydrate utilization and reducing fatigue
Galactoligosaccharides (GOS)	Stimulate bifidobacteria and support immune system development, especially in children	Promote energy efficiency and physical recovery
Symbiotics	Effect on general health	Effect on performance
Bifidobacteria + fructooligosaccharides (FOS)	Improve intestinal health by reducing the occurrence of intestinal disorders	Boost metabolic energy and reduce the risk of gastrointestinal disorders in athletes
Lactobacilli + lactitol	Promote and improve digestion by reducing the risk of gastrointestinal disorders	Support microbiota stability during intense exercise and reduce chronic fatigue
Bifidobacteria + Galactoligosaccharides (GOS)	Support the gut microbiota and help in the prevention of allergies and infections	Improve post-exercise recovery capacity, especially intended, and support immune resistance in athletes

Recent studies have shown that certain probiotic strains (such as *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*) can reduce gastrointestinal symptoms associated with intense training common especially in endurance athletes, which can hinder performance and cause significant discomfort, such as nausea, bloating, and diarrhea.³¹⁻³³ In addition, probiotics can improve the absorption of nutrients crucial for performance, such as amino acids and antioxidants, and, as seen above, promote the production of SCFAs, which have anti-inflammatory properties.³⁴ In addition, maintaining a reduced level of systemic inflammation may help prevent premature muscle fatigue and support energy efficiency. More and more studies are suggesting that athletes taking probiotics have fewer upper respiratory tract infections, which are common during periods of intense training and can impair the smooth performance of athletic activity.³⁵⁻³⁷ In the study by Gleeson *et al.*,³⁶ for example, *Lactobacillus casei* Shirota supplementation was analyzed for 16 weeks in cycling, running and swimming athletes, and the results showed a reduction in episodes of upper respiratory tract infections compared to the control group,

*Studi recenti hanno mostrato che alcuni ceppi probiotici (come Lactobacillus e Bifidobacterium) possono ridurre i sintomi gastrointestinali associati a un allenamento intenso comuni soprattutto negli atleti di endurance, che possono ostacolare la performance e causare notevoli disagi, come nausea, gonfiore e diarrea.³¹⁻³³ Inoltre, i probiotici possono migliorare l'assorbimento di nutrienti cruciali per la performance, come gli amminoacidi e gli antiossidanti, e, come visto in precedenza, promuovere la produzione di SCFA, che hanno proprietà antinfiammatorie.³⁴ Inoltre, mantenere un livello ridotto di infiammazione sistemica può aiutare a prevenire l'affaticamento muscolare precoce e sostenere l'efficienza energetica. Sempre più studi suggeriscono che gli atleti che assumono probiotici hanno meno infezioni del tratto respiratorio superiore, che sono comuni durante periodi di allenamento intenso e possono compromettere il regolare svolgimento dell'attività sportiva.³⁵⁻³⁷ Nello studio di Gleeson *et al.*,³⁶ ad esempio, è stata analizzata la supplementazione di Lactobacillus casei Shirota per 16 settimane in atleti di ciclismo, corsa e nuoto, e i risultati hanno evidenziato una riduzione negli episodi di infezioni del tratto respiratorio superiore rispetto al gruppo di controllo, così come una diminuzione della durata e della severità dei sintomi.*

as well as a decrease in the duration and severity of symptoms.

Increased SCFA production, stimulated and modulated by the gut microbiota, not only has anti-inflammatory effects, but also influences energy production at cellular level. By this same mechanism, some studies indicate that prebiotics may help reduce exercise-induced oxidative stress and support the immune system of athletes, promoting faster recovery and reducing the risk of injury.³⁸

In the context of improving post-exercise recovery, a study by Jager *et al.*³⁹ showed that probiotic supplementation combined with protein allows greater recovery after intense endurance exercise. In the study, twenty-nine adult amateur athletes took 20 g casein with or without the probiotic *Bacillus coagulans* for two weeks. Results show that casein supplementation with probiotic improved recovery at 24 and 72 hours and reduced muscle soreness compared to protein intake alone. In addition, the group with probiotics showed lower indicators of muscle damage, suggesting a possible benefit for both muscle recovery and maintenance and preservation of subsequent athletic performance.

In addition, the intake of prebiotics appears to positively influence the production of satiety-regulating hormones, such as ghrelin and peptide YY, optimizing appetite management in athletes who must follow discipline-specific nutritional regimens. This may have implications for the maintenance of weight and body composition, essential factors for performance in many sports.⁴⁰

Even in the case of athletes or active individuals, taking symbiotic products (prebiotics+ probiotics) appears to offer a synergistic benefit. Symbiotic products, in fact, can enhance the colonization of probiotics and support a diverse, resilient microbiome. This, as also in the case of sedentary and overweight individuals, allows them to reduce intestinal permeability, an extremely important element for athletes. Indeed, under extreme training conditions, excessive gut barrier permeability can lead to translocation of endotoxins into the bloodstream, triggering inflammatory responses and negatively affecting performance.⁴¹

Studies of athletes taking symbiotics have reported improvements in post-exercise recovery, with a reduction in inflammatory markers and an increase in physical stress tolerance.⁴² Some athletes have also found a reduction in the perception of fatigue, a benefit that could be at-

Una maggiore produzione di SCFA, stimolata e modulata dal microbiota intestinale, non solo ha effetti antiinfiammatori, ma influenza anche la produzione di energia a livello cellulare. Proprio per questo meccanismo, alcuni studi indicano che i prebiotici possono contribuire a ridurre lo stress ossidativo indotto dall'esercizio fisico e a sostenere il sistema immunitario degli atleti, favorendo un recupero più rapido e riducendo il rischio di lesioni.³⁸

Nel contesto del miglioramento del recupero post-esercizio, uno studio di Jager et al. ³⁹ ha mostrato come l'integrazione di probiotici associata a proteine permetta proprio un maggior recupero dopo esercizi di resistenza intensa. Nello studio, ventinove atleti adulti amatoriali hanno assunto 20 g di caseina con o senza il probiotico Bacillus coagulans per due settimane. I risultati mostrano che l'integrazione di caseina con probiotico ha migliorato il recupero a 24 e 72 ore e ridotto il dolore muscolare rispetto alla sola assunzione di proteine. Inoltre, il gruppo con probiotici ha mostrato minori indicatori di danno muscolare, suggerendo un possibile beneficio sia per il recupero muscolare sia per il mantenimento e la preservazione della successiva performance atletica.

Inoltre, l'assunzione di prebiotici sembra influenzare positivamente la produzione di ormoni che regolano la sazietà, come la grelina e il peptide YY, ottimizzando la gestione dell'appetito negli atleti che devono seguire regimi nutrizionali specifici per la loro disciplina. Questo può avere implicazioni per il mantenimento del peso e della composizione corporea, fattori essenziali per le performance in molte discipline sportive.⁴⁰

Anche nel caso di atleti o di soggetti attivi, l'assunzione di prodotti simbiotici (prebiotici + probiotici) sembra offrire un vantaggio sinergico. I prodotti simbiotici, infatti, possono potenziare la colonizzazione dei probiotici e supportare un microbioma diversificato e resiliente. Questo, così come per i soggetti sedentari e sovrappeso, permette di ridurre la permeabilità intestinale, elemento estremamente importante anche per gli atleti. Infatti, in condizioni di allenamento estremo, una eccessiva permeabilità della barriera intestinale può portare alla traslocazione di endotossine nel sangue, scatenando risposte infiammatorie e influenzando negativamente sulla performance.⁴¹

Studi su atleti che assumono simbiotici hanno riportato miglioramenti nel recupero post-esercizio, con una riduzione dei marker infiammatori e un aumento della tolleranza allo stress fisico.⁴² Alcuni atleti hanno anche riscontrato una riduzione della percezione della fatica, un beneficio che potrebbe essere attribuibile a una migliore assimi-

tributable to improved nutrient assimilation and reduced systemic inflammation.³² In addition, an improved gut microbiome profile appears to contribute to optimal hormone regulation, which is critical for physical and mental stress management.^{42, 43}

Conclusions

This overview of the literature highlights the significant role of probiotics, prebiotics, and symbiotics as critical support for both sedentary subjects and athletes, albeit with different physiological goals. In sedentary subjects, supplementation of these substances shows important potential to improve metabolic health and reduce chronic inflammation, two key factors in the prevention of many lifestyle-related diseases. For athletes, on the other hand, supplementation of these microorganisms, by promoting gut health, also proves beneficial for optimizing physical performance and more effective recovery. Therefore, the targeted use of probiotics, prebiotics and symbiotics represents a promising approach for both improving overall health in sedentary individuals and optimizing athletic performance, opening the way to new possibilities for personalized nutritional intervention. However, further studies are needed to identify the specific strains and doses most effective for maximum benefits.

References/Bibliografia

- 1) Gomaa EZ. Human gut microbiota/microbiome in health and diseases: a review. *Antonie van Leeuwenhoek* 2020;113:2019–40.
- 2) Vitetta L, Oldfield D, Sali A. Inflammatory Bowel Diseases and the Efficacy of Probiotics as Functional Foods. *Frontiers in Bioscience-Elite*. 2024;16:13.
- 3) Campaniello D, Corbo MR, Sinigaglia M, Speranza B, Racioppo A, Altieri C, *et al*. How Diet and Physical Activity Modulate Gut Microbiota: Evidence, and Perspectives. *Nutrients* 2022;14:2456.
- 4) Valdes AM, Walter J, Segal E, Spector TD. Role of the gut microbiota in nutrition and health. *BMJ* 2018;2179.
- 5) Li HY, Zhou DD, Gan RY, Huang SY, Zhao CN, Shang A, *et al*. Effects and Mechanisms of Probiotics, Prebiotics, Symbiotics, and Postbiotics on Metabolic Diseases Targeting Gut Microbiota: A Narrative Review. *Nutrients* 2021;13:3211.
- 6) Bock PM, Martins AF, Schaan BD. Understanding how pre- and probiotics affect the gut microbiome and metabolic health. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2024;327:89–102.
- 7) Meslier V, Laiola M, Roager HM, De Filippis F, Roume H, Quinquis B, *et al*. Mediterranean diet intervention in over-

- weight and obese subjects lowers plasma cholesterol and causes changes in the gut microbiome and metabolome independently of energy intake. *Gut* 2020;69:1258–68.
- 8) Yang K, Chen Y, Wang M, Zhang Y, Yuan Y, Hou H, *et al*. The Improvement and Related Mechanism of Microecology on the Sports Performance and Post-Exercise Recovery of Athletes: A Narrative Review. *Nutrients* 2024;16:1602.
 - 9) Mazziotta C, Tognon M, Martini F, Torreggiani E, Rotondo JC. Probiotics Mechanism of Action on Immune Cells and Beneficial Effects on Human Health. *Cells* 2023;12:184.
 - 10) Chen Y, Yang K, Xu M, Zhang Y, Weng X, Luo J, *et al*. Dietary Patterns, Gut Microbiota and Sports Performance in Athletes: A Narrative Review. *Nutrients* 2024;16:1634.
 - 11) Liu BN, Liu XT, Liang ZH, Wang JH. Gut microbiota in obesity. *World J Gastroenterol* 2021;27:3837–50.
 - 12) Iatcu CO, Steen A, Covasa M. Gut Microbiota and Complications of Type-2 Diabetes. *Nutrients* 2021;14:166.
 - 13) Lau WL, Tran T, Rhee CM, Kalantar-Zadeh K, Vaziri ND. Diabetes and the Gut Microbiome. *Semin Nephrol* 2021;41:104–13.
 - 14) Abenavoli L, Scarpellini E, Colica C,

lazione dei nutrienti e alla ridotta infiammazione sistemica.³² Inoltre, il miglioramento del profilo del microbioma intestinale sembra contribuire a una regolazione ormonale ottimale, che è fondamentale per la gestione dello stress fisico e mentale.^{42, 43}

Conclusioni

Questa panoramica della letteratura evidenzia il ruolo significativo dei probiotici, prebiotici e simbiotici come supporto fondamentale sia per soggetti sedentari sia per atleti, seppur con obiettivi fisiologici differenti. Nei soggetti sedentari, l'integrazione di queste sostanze mostra un potenziale importante per migliorare la salute metabolica e ridurre l'infiammazione cronica, due fattori chiave nella prevenzione di numerose patologie correlate allo stile di vita. Per gli atleti, invece, l'integrazione di questi microorganismi, promuovendo la salute intestinale, si rivela vantaggiosa anche per l'ottimizzazione delle prestazioni fisiche e per un recupero più efficace. Pertanto, l'uso mirato di probiotici, prebiotici e simbiotici rappresenta un approccio promettente sia per il miglioramento della salute generale nei soggetti sedentari che per l'ottimizzazione delle prestazioni atletiche, aprendo la strada a nuove possibilità di intervento nutrizionale personalizzato. Tuttavia, sono necessari ulteriori studi per identificare i ceppi specifici e le dosi più efficaci per ottenere i massimi benefici.

- Boccutto L, Salehi B, Sharifi-Rad J, *et al*. Gut Microbiota and Obesity: A Role for Probiotics. *Nutrients* 2019;11:2690.
- 15) Holscher HD. Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota. *Gut Microbes* 2017;8:172–84.
 - 16) Fernando WM, Flint SH, Ranaweera KK, Bamunuarachchi A, Johnson SK, Brennan CS. The potential synergistic behaviour of inter- and intra-genus probiotic combinations in the pattern and rate of short chain fatty acids formation during fibre fermentation. *Int J Food Sci Nutr* 2018;69:144–54.
 - 17) Parisi A, Mauri C, Tranchita E, Beltrami G, Scorcu M, Cerulli C, *et al*. Phytonutrients and weight control: the role of polyphenols. *Med Sport* 2023;76.
 - 18) Hassan NE, El-Masry SA, El Shebini SM, Ahmed NH, Mehanna NS, Abdel Wahed MM, *et al*. Effect of weight loss program using prebiotics and probiotics on body composition, physique, and metabolic products: longitudinal intervention study. *Sci Rep* 2024;14:10960.
 - 19) Ferraresse R, Ceresola ER, Preti A, Canducci F. Probiotics, prebiotics and symbiotics for weight loss and metabolic syndrome in the microbiome era. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2018;22:7588–605.
 - 20) Sergeev IN, Aljutaily T, Walton G,

Huarte E. Effects of Synbiotic Supplement on Human Gut Microbiota, Body Composition and Weight Loss in Obesity. *Nutrients* 2020;12:222.

21) Gibson GR, Hutkins R, Sanders ME, Prescott SL, Reimer RA, Salminen SJ, *et al.* Expert consensus document: the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 2017;14:491–502.

22) Pan Y, Yang Y, Wu J, Zhou H, Yang C. Efficacy of probiotics, prebiotics, and synbiotics on liver enzymes, lipid profiles, and inflammation in patients with non-alcoholic fatty liver disease: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Gastroenterol* 2024;24:283.

23) Sergeev IN, Aljutaily T, Walton G, Huarte E. Effects of Synbiotic Supplement on Human Gut Microbiota, Body Composition and Weight Loss in Obesity. *Nutrients* 2020;12:222.

24) Hibberd AA, Yde CC, Ziegler ML, Honoré AH, Saarinen MT, Lahtinen S, *et al.* Probiotic or synbiotic alters the gut microbiota and metabolism in a randomised controlled trial of weight management in overweight adults. *Benef Microbes* 2019;10:121–36.

25) Crovesy L, El-Bacha T, Rosado EL. Modulation of the gut microbiota by probiotics and symbiotics is associated with changes in serum metabolite profile related to a decrease in inflammation and overall benefits to metabolic health: a double-blind randomized controlled clinical trial in women with obesity. *Food Funct* 2021;12:2161–70.

26) Roy S, Dhaneshwar S. Role of prebiotics, probiotics, and synbiotics in man-

agement of inflammatory bowel disease: current perspectives. *World J Gastroenterol* 2023;29:2078–100.

27) Green M, Arora K, Prakash S. Microbial Medicine: Prebiotic and Probiotic Functional Foods to Target Obesity and Metabolic Syndrome. *Int J Mol Sci* 2020;21:2890.

28) Mazziotta C, Tognon M, Martini F, Torreggiani E, Rotondo JC. Probiotics Mechanism of Action on Immune Cells and Beneficial Effects on Human Health. *Cells* 2023;12:184.

29) Al Bander Z, Nitert MD, Mousa A, Naderpoor N. The Gut Microbiota and Inflammation: an Overview. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:7618.

30) Pingitore A, Lima GP, Mastorci F, Quinones A, Iervasi G, Vassalle C. Exercise and oxidative stress: potential effects of antioxidant dietary strategies in sports. *Nutrition* 2015;31:916–22.

31) Vitale K, Getzin A. Nutrition and Supplement Update for the Endurance Athlete: review and Recommendations. *Nutrients* 2019;11:1289.

32) Lee MC, Ho CS, Hsu YJ, Huang CC. Live and Heat-Killed Probiotic *Lactobacillus paracasei* PS23 Accelerated the Improvement and Recovery of Strength and Damage Biomarkers after Exercise-Induced Muscle Damage. *Nutrients* 2022;14:4563.

33) Miles MP. Probiotics and Gut Health in Athletes. *Curr Nutr Rep* 2020;9:129–36.

34) Claus M, Gérard P, Mosca A, Leclerc M. Interplay Between Exercise and Gut Microbiome in the Context of Human Health and Performance. *Front Nutr* 2021;8:637010.

35) Donati Zeppa S, Agostini D, Gervasi M, Annibalini G, Amatori S, Ferrini F, *et al.* Mutual Interactions among Exercise,

Sport Supplements and Microbiota. *Nutrients* 2019;12:17.

36) Gleeson M, Bishop NC, Oliveira M, Tauler P. Daily Probiotic's (*Lactobacillus casei* Shirota) Reduction of Infection Incidence in Athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2011;21:55–64.

37) Zhang L, Zhang R, Li L. Effects of Probiotic Supplementation on Exercise and the Underlying Mechanisms. *Foods* 2023;12:1787.

38) Marttinen M, Ala-Jaakkola R, Laitila A, Lehtinen MJ. Gut Microbiota, Probiotics and Physical Performance in Athletes and Physically Active Individuals. *Nutrients* 2020;12:2936.

39) Jäger R, Shields KA, Lowery RP, De Souza EO, Partl JM, Hollmer C, *et al.* Probiotic *Bacillus coagulans* GBI-30, 6086 reduces exercise-induced muscle damage and increases recovery. *PeerJ* 2016;4:2276.

40) Hughes RL, Holscher HD. Fueling Gut Microbes: A Review of the Interaction between Diet, Exercise, and the Gut Microbiota in Athletes. *Adv Nutr* 2021;12:2190–215.

41) Álvarez-Herms J, González A, Corbi F, Odriozola I, Odriozola A. Possible relationship between the gut leaky syndrome and musculoskeletal injuries: the important role of gut microbiota as indirect modulator. *AIMS Public Health* 2023;10:710–38.

42) Yang K, Chen Y, Wang M, Zhang Y, Yuan Y, Hou H, *et al.* The Improvement and Related Mechanism of Microecologies on the Sports Performance and Post-Exercise Recovery of Athletes: A Narrative Review. *Nutrients* 2024;16:1602.

43) Chen Y, Yang K, Xu M, Zhang Y, Weng X, Luo J, *et al.* Dietary Patterns, Gut Microbiota and Sports Performance in Athletes: A Narrative Review. *Nutrients* 2024;16:1634.

Conflicts of interest

The authors certify that there is no conflict of interest with any financial organization regarding the material discussed in the manuscript.

Authors' contributions

All authors read and approved the final version of the manuscript.

History

Manuscript accepted: January 20, 2025. - Manuscript received: January 20, 2025.