

# A INFLUÊNCIA DO EXERCÍCIO FÍSICO NA MICROBIOTA INTESTINAL



Daniela Calixto de Campos<sup>1</sup>

Gabriella Tomasi Gravato<sup>2</sup>

Luciana Setaro<sup>3</sup>

**Resumo:** A microbiota intestinal é constituída por trilhões de micróbios que desempenham diversas funções para a saúde do hospedeiro. Para obter esses benefícios, a proporção entre as espécies das bactérias que constituem esse aglomerado deve estar em equilíbrio. Junto a isso, existem alguns fatores que influenciam direta e indiretamente na composição da microbiota, sendo o exercício físico um deles. Sendo assim, o presente estudo objetiva explicar por meio da literatura os efeitos que o exercício físico exerce na microbiota intestinal de atletas e de pessoas ativas. Trata-se de uma pesquisa de revisão da literatura da base de dados Pubmed, considerando o período de 2016 até abril de 2021. Foram incluídos 23 estudos de revisão da literatura e de revisão sistemática. Alguns estudos sobre a relação exercício físico e microbiota propõem que o tipo, o tempo e a intensidade do exercício influenciam de formas distintas, tanto positiva quando negativamente, essa diversidade. O exercício de baixa intensidade proporciona benefícios para a saúde da microbiota. Em compensação, nos exercícios de alta intensidade são liberados componentes que estão relacionados com o aumento da inflamação e com a disbiose intestinal, que podem, além disso, diminuir o desempenho físico de atletas de elite. Dessa forma, mais estudos devem ser realizados a fim de encontrar resultados mais robustos sobre o tema, que se mostra de extrema importância para a saúde dos indivíduos e para melhora do desempenho de atletas de alta performance.

**Palavras-chave:** microbiota intestinal; exercício físico; atletas.

## THE INFLUENCE OF EXERCISE ON GUT MICROBIOTA

**Abstract:** The intestinal microbiota is made up of trillions of microbes that perform various functions for the health of the host. To obtain these benefits, the proportion between the species of bacteria must be in balance. Along with this, there is some factors that directly and indirectly influence the composition of the microbiota, with physical exercise being one of them. Thus, this study aims to explain through the literature the effects that physical exercise exerts on the intestinal microbiota of athletes and active people. This is a literature review survey of the PubMed

.....  
1 Daniela Calixto de Campos, Bacharel em Nutrição, Centro Universitário São Camilo - CUSC, São Paulo, Brasil. E-mail: calixto\_daniela@hotmail.com  
2 Gabriella Tomasi Gravato, Bacharel em Nutrição, Centro Universitário São Camilo - CUSC, São Paulo, Brasil. E-mail: gabriellatomasi@hotmail.com  
3 Luciana Setaro, PhD - Doutorado em Ciência dos Alimentos USP, Docente do Centro Universitário São Camilo - CUSC e Coordenadora do curso de Pós-Graduação em Nutrição Esportiva em Wellness - CUSC, São Paulo, Brasil. E-mail: lusetaro@hotmail.com

database, considering the period from 2016 to April 2021. Twenty-three literature review and systematic review studies were included. Some studies on the relationship between physical exercise and microbiota propose that the type, time, and intensity of exercise influence this diversity in different ways, both positively and negatively. The effects of low-intensity exercise provide health benefits. On the other hand, in high-intensity exercises components are released that are related to the increase in inflammation and intestinal dysbiosis, which can, in addition, decrease the physical performance of elite athletes. Thus, more studies should be carried out in order to find more robust results on the subject, which is extremely important for the health of researchers and for improving the performance of high-performance athletes.

**Keywords:** gut microbiota; exercise; athletes.

A comunidade de microrganismos que habita o trato digestivo humano é chamada de microbiota intestinal. A sua composição depende da saúde do hospedeiro, de fatores exógenos (atividade física, dieta, sono e ritmo circadiano) (AYA *et al.*, 2021) e de fatores endógenos (diabetes tipo 2, estresse, obesidade, saúde da barreira intestinal e tipo de parto) (CASTANER *et al.*, 2018; MOLLER *et al.*, 2019; RINNINELLA *et al.*, 2019).

Em teoria é possível que os herbívoros possuam 14 filos diferentes compondo a microbiota intestinal, enquanto os carnívoros possuam apenas 6 (PUSHPANATHAN *et al.*, 2019). Aproximadamente 90% das bactérias que habitam o intestino são do filo *Bacteroidetes* e *Firmicutes*, sendo o restante composto por *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Fusobacteria* e *Verrucomicrobia*. Esses microrganismos são mantidos nessas proporções para que se mantenha o equilíbrio entre as bactérias patogênicas e não patogênicas, a fim de proporcionar uma relação simbiótica com o hospedeiro (DALTON; MERMIER; ZUHL, 2019).

Nesse sentido, a partir da interação simbiótica com o ambiente intestinal, a microbiota é capaz de realizar a quebra de polissacarídeos não digeríveis para produzir monossacarídeos e também produzir ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), permitindo que o hospedeiro o utilize como fonte de energia (SHORTT *et al.*, 2017).

Dito isso, atletas que praticam maratona, triatlos e outros exercícios prolongados necessitam de um metabolismo energético eficiente (CAREY; MONTAG, 2021). Desse modo, os AGCC produzidos pelas bactérias intestinais podem servir como um substrato energético extra para essa população (LEBLANC *et al.*, 2017). Contudo os estudos em humanos que explicam melhor como funcionam essas vias são escassos e carecem de uma investigação mais aprofundada (CAREY; MONTAG, 2021).

Além disso, estudos apontam a existência da relação entre cérebro e intestino (SHAHAR *et al.*, 2020) — o chamado eixo intestino-cérebro — devido à sinalização bidirecional entre microbiota intestinal, intestino e cérebro por meio de vias neurais e sistema circulatório, envolvendo metabólitos bacterianos, hormônios e reguladores do sistema imunológico (MOHAJERI *et al.*, 2018).

Existem fatores que possuem influência sobre a composição da microbiota, como o exercício físico e a dieta. Assim eles estão relacionados com a diversidade e a riqueza da microbiota, tanto positiva quanto negativamente (ORTIZ-ALVAREZ; XU; MARTINEZ-TELLEZ, 2020).

Além disso, Mach e Fuster-Botella (2017) elucidam que o exercício é capaz de provocar uma mudança na diversidade (número total de espécies em um habitat) da microbiota, por mais

que a literatura careça de evidências sobre como o microbioma contribui para o desempenho do exercício físico.

Junto a isso, não só o exercício, mas também os fatores associados a ele, como a dieta específica, o estresse, o ambiente, o tipo e o tempo de atividade, possuem relações distintas com a microbiota (MOHR *et al.*, 2020). Esses mecanismos estão bem estabelecidos nos estudos com animais, porém em humanos os estudos mostram resultados distintos, possivelmente em razão da metodologia, da intensidade, da frequência, da atividade física aplicada e do método de análise da microbiota intestinal (SHAHAR *et al.*, 2020). Por isso o mecanismo de ação de como o exercício físico interfere na modulação intestinal em humanos ainda é discutido (ORTIZ-ALVAREZ; XU; MARTINEZ-TELLEZ, 2020).

Devido à carência de evidências na relação microbiota-exercício físico, o objetivo desta revisão se destina a explorar como os diferentes tipos de exercício físico modificam a microbiota de indivíduos saudáveis e identificar os benefícios e/ou malefícios que podem influenciar a saúde intestinal.

Este estudo se caracteriza como uma revisão bibliográfica em que foi realizada a busca por artigos entre fevereiro e abril de 2021. Destes foram selecionados artigos publicados na base de dados PubMed entre 2016 e abril de 2021, no idioma inglês, resultando em 23 artigos. Para tal, foram utilizados a técnica booleana com os conectores "AND" e "OR" e os seguintes descritores de saúde: "gut microbiota", "gastrointestinal microbiome", "microbiome", "gut microbiota" AND "exercise", "probiotics", "exercise" AND ("microbiota" OR "microbiome)". Quanto ao processo de seleção, foram incluídos estudos de revisão de literatura e revisão sistemática. Quanto aos critérios de exclusão, excluíram-se estudos de ensaios clínicos, livros e artigos relacionados a patologias, exceto obesidade, não sendo relevantes ao tema proposto.

## DESENVOLVIMENTO

Quadro 1 – Resultados de estudos de revisão que abordam a relação entre a microbiota intestinal e o exercício físico (n=9)

Tipo de artigo	Título	Resultados principais	Conclusão	Autor e ano
Revisão sistemática	Endurance exercise and gut microbiota: A review	A composição da microbiota intestinal pode detectar estresse em decorrência dos exercícios. A suplementação de probióticos pode ajudar a controlar a inflamação e, com isso, aumentar o desempenho esportivo.	A microbiota intestinal pode ter uma função importante no combate ao estresse oxidativo e da inflamação, dessa forma, em exercícios de alta intensidade, ter um ambiente microbiano equilibrado pode ajudar a melhorar o metabolismo e o gasto energético durante o exercício.	(MACH; FUSTER-BOTELLA, 2017)

<b>Tipo de artigo</b>	<b>Título</b>	<b>Resultados principais</b>	<b>Conclusão</b>	<b>Autor e ano</b>
Revisão	Mutual interactions among exercise, sport supplements and microbiota	O exercício físico demonstra aumentar a diversidade da microbiota, ao passo que a adaptação ao exercício físico também pode ser influenciada pela microbiota intestinal individual.	Diversos fatores, como a intensidade, o tempo e o tipo de exercício, podem influenciar na microbiota intestinal. Atividades de baixa intensidade podem aumentar a diversidade de microrganismos, e as de alta intensidade podem trazer prejuízos à microbiota e à saúde dos atletas.	(ZEPPA <i>et al.</i> , 2020)
Revisão sistemática	Association between physical activity and changes in intestinal microbiota composition: A systematic review	Os resultados são dependentes do tempo de atividade física realizado. Foi observado que pessoas ativas obtiveram uma pequena mudança na diversidade e abundância de algumas bactérias intestinais.	Os autores sugerem que outros fatores do estilo de vida, como o sono e a dieta, devem ser associados ao exercício físico para entender melhor os benefícios para a microbiota intestinal.	(AYA <i>et al.</i> , 2021)
Revisão sistemática	Attributes of physical activity and gut microbiome in adults: A systematic review	O treinamento de resistência parece ter influência na abundância de alguns grupos de bactérias, arqueias e nos metabólitos produzidos por elas.	A atividade física contribui de forma significativa para a composição da microbiota, como também influencia na produção de metabólitos bacterianos.	(SHAHAR <i>et al.</i> , 2020)
Revisão	Gastrointestinal conditions in the female athlete	O exercício físico regular de intensidade moderada se mostra favorável em doenças inflamatórias intestinais. Em contrapartida, o treino de alta intensidade e o de resistência prolongada afeta negativamente a saúde intestinal. Atletas do sexo feminino têm maior recorrência de doenças intestinais inflamatórias e sintomas gastrointestinais modulados pela menstruação.	Ajustes no treinamento, na prescrição da dieta e tratamento medicamentoso são estratégias para manter a saúde intestinal, o desempenho físico e para combater problemas gastrointestinais.	(DIDUCH, 2017)
Revisão	Exploring the relationship between gut microbiota and exercise: short-chain fatty acids and their role in metabolism	Os carboidratos ingeridos passam por um processo de fermentação pelas bactérias intestinais. Dessa fermentação, ácidos graxos de cadeia curta são produzidos. Esses metabólitos parecem ser eficientes para melhorar o metabolismo energético durante exercícios de resistência.	Os dados coletados apresentam uma relação positiva no ajuste da microbiota intestinal para melhorar o desempenho esportivo em fase de competição e de treinamento em atletas.	(CAREY; MONTAG, 2021)
Revisão	Gut microbiota, probiotics and physical performance in athletes and physically active individuals	Treinamento e exercícios físicos são associados com modificações na composição da microbiota intestinal, incluindo o aumento da diversidade microbiana e da abundância de espécies.	O uso de probióticos mostra ter potencial para melhorar a saúde intestinal de atletas que podem ser beneficiados com o seu uso, sendo considerados como um agente ergogênico indireto.	(MARTTINEN <i>et al.</i> , 2020)

Tipo de artigo	Título	Resultados principais	Conclusão	Autor e ano
Revisão	Is there an exercise-intensity threshold capable of avoiding the leaky gut?	Há algumas evidências de que o exercício de alta intensidade aumenta a permeabilidade da membrana intestinal. Também estão associados a esse efeito a temperatura, a altitude e a desidratação do corpo durante o exercício de longa duração.	O exercício físico pode ser considerado um modulador da saúde intestinal, dependendo da intensidade, do tempo e das condições em que o indivíduo se encontra durante o exercício. Ainda podem ser encontrados efeitos positivos para exercícios moderados ou negativos para exercícios de alta intensidade ou prolongados.	(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2021)
Revisão	The athletic gut microbiota	O exercício físico, a dieta específica para atletas e os fatores envolvidos no desempenho do treinamento podem influenciar na microbiota intestinal. Atletas de alto desempenho têm uma composição do microbioma diferente de pessoas sedentárias e de pessoas que praticam exercício físico moderado.	O exercício físico foi associado com uma microbiota intestinal mais saudável. Isso inclui maior abundância nas espécies bacterianas, maior diversidade na microbiota, maior produção de metabólitos, melhora na função da barreira intestinal e melhora na imunidade da mucosa intestinal.	(MOHR <i>et al.</i> , 2020)
Revisão sistemática	The crosstalk between the gut microbiota and mitochondria during exercise	Durante o exercício físico há uma série de mudanças fisiológicas para o organismo se adaptar à demanda energética. As mitocôndrias, produtoras de ATPs, em exercícios intensos, liberam grandes quantidades de espécies reativas de oxigênio.	Exercícios intensos podem causar inflamação intestinal em atletas, favorecendo a permeabilidade da membrana. Esses fatores devem ser combatidos para manter a saúde e o desempenho físico de atletas.	(CLARK; MACH, 2017)

As bactérias do intestino desempenham um papel determinante na regulação da digestão dos nutrientes ao longo da sua passagem pelo trato gastrointestinal. Dessas funções, destacam-se a extração, a síntese e a absorção de nutrientes e metabólitos. Atuam também na proteção da barreira intestinal e no sistema imunológico, sendo importantes para impedir o crescimento e a colonização de bactérias patogênicas (RINNINELLA *et al.*, 2019). Além disso, afetam tanto a proteólise, uma vez que produzem proteinases e peptidases, quanto o metabolismo lipídico, promovendo a atividade da lipase em adipócitos (ZEPPA *et al.*, 2019).

Entre os metabólitos, os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) desempenham o papel de regular o pH intestinal, prevenindo o desenvolvimento de bactérias patogênicas gram-negativas, como *Escherichia coli* e outros membros da família *Enterobacteriaceae* (BIBBÒ *et al.*, 2016). Ademais, os AGCC influenciam na regulação de respostas imunológicas e inflamatórias, na regulação no sistema nervoso central e periférico, na homeostase energética e na regulação de hormônios anorexígenos, os quais atuam no controle de apetite (MOHAJERI *et al.*, 2018).

Outro aspecto relevante é que a fermentação das fibras dietéticas é feita sob condições anaeróbias no intestino grosso. As cepas capazes de degradá-las são *Ruminococcus callidus*, *Ruminococcus albus*, *Blautia obeum* (pertencentes ao filo *Firmicutes*) e *Prevotella spp.* (filo *Bacteroidetes*) (MOHAJERI *et al.*, 2018). Como resultado, a fermentação gera produtos: gases H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, amônia, aminas, fenóis e energia, os quais as bactérias utilizam para crescimento e manutenção da função celular (ZEPPA *et al.*, 2019). Juntamente são obtidos oligossacarídeos e polissacarídeos, substratos necessários por

espécies produtoras de butirato, como *Faecalibacterium prausnitzii*, *Eubacterium rectale*, *Roseburia spp.*, *Eubacterium hallii* e *Anaerostipes spp.* (MOHAJERI *et al.*, 2018).

O butirato possui funções importantes no organismo. Ele atua como fonte de energia para os colonócitos, prevenindo a degradação da mucosa (CLARK; MACH, 2016), auxilia na síntese de vitaminas K, biotina e folato, na promoção de apoptose, na melhora da atividade insulínica (PUSHPANATHAN *et al.*, 2019), na atividade anti-inflamatória (SALVUCCI, 2019), regula a função e migração de neutrófilos (CLARK; MACH, 2016) e na manutenção da função da barreira intestinal (MOHAJERI *et al.*, 2018). Da mesma forma, o propionato melhora a função da barreira intestinal ao aumentar sua resistência (CLARK; MACH, 2016). O acetato, por sua vez, é absorvido pelo fígado para ser utilizado na lipogênese e na gliconeogênese (PUSHPANATHAN *et al.*, 2019).

## Principais filos e respectivas funções

### Filo *Bacteroidetes*

As bactérias do filo *Bacteroidetes* possuem genes capazes de codificar enzimas, como glicosil transferases, glicosídeo hidrolases e polissacarídeo liases, capazes de fermentar carboidratos (ZEPPA *et al.*, 2019). É notado que nas dietas ricas em fibras há abundância do gênero *Prevotella*, sendo este hábil em acentuar a capacidade de metabolizar carboidratos complexos e, por consequência, aumentar a produção de butirato (SALVUCCI, 2019). Em suma, esse gênero pode degradar polissacarídeos vegetais, como celulose e xilanos, a fim de extrair o máximo de energia de uma dieta rica em fibras (PUSHPANATHAN *et al.*, 2019).

### Filo *Firmicutes*

O gênero *Roseburia* e as espécies *E. rectale* e *R. bromii* são responsáveis por metabolizar polissacarídeos de origem vegetal (SHORTT *et al.*, 2017). Além disso, o gênero *Roseburia* é conhecido pelas bactérias reguladoras de butirato, e seu aumento ocorre em situações em que o exercício físico está inserido (SHAHAR *et al.*, 2020). Aya *et al.* (2021) complementam que a espécie *Roseburia hominis* é uma bactéria considerada para o tratamento probiótico por exibir propriedades imunomoduladoras, de tal forma que contribui para tratar a inflamação intestinal e beneficiar a barreira intestinal.

Outro gênero importante é o *Veillonella*, capaz de realizar a conversão de lactato em propionato. É demonstrado que o lactato sistêmico pode cruzar a barreira intestinal e atingir o lúmen (ZEPPA *et al.*, 2019). Esse processo sugere a comunicação mediada pela atividade física entre a microbiota intestinal e o músculo (AYA *et al.*, 2021).

### Filo *Actinobacteria*

Algumas cepas de *Bifidobacterias* são capazes de contribuir para a melhoria dos níveis de citocinas e hormônios, como a leptina, envolvida na regulação do apetite (SALVUCCI, 2019).

Ademais, a conversão de polifenóis dietéticos pouco absorvidos é realizada por bactérias da família *Coriobacteriaceae*. Essa conversão resulta em derivados biodisponíveis e bioativos. Também é relatado o envolvimento no metabolismo de sais biliares e esteroides, como a aldosterona 18-glucuronídeo, sendo esse importante para a integridade e estabilidade de membrana, sinalização muscular e armazenamento de energia (ZEPPA *et al.*, 2019).

Outra bactéria capaz de metabolizar polifenóis é a *G. urolithinifaciens*, pertencente à família *Eggerthellaceae*. Esse processo resulta em urolitina, um metabólito biodisponível relacionado à regulação do trofismo muscular, vias androgênicas, propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes com papel protetor contra a neuroinflamação (AYA *et al.*, 2021).

### Filo *Verrucomicrobia*

O gênero *Akkermansias* também é capaz de metabolizar carboidratos complexos e açúcares em AGCC (BIBBÒ *et al.*, 2016). Segundo Mohr *et al.* (2020), esse gênero é mais abundante em atletas do que em indivíduos não atletas, sendo positiva para a função metabólica, função da barreira intestinal e controle de inflamação.

## Fatores que modificam a microbiota intestinal

O estilo de vida também é capaz de modular a microbiota intestinal, como Mohr *et al.* (2020) encontraram em seu estudo uma associação negativa ( $p < 0,05$ ) da gordura corporal, dos lipídeos séricos, da proteína C reativa, da depressão e do tabagismo com a diversidade do microbioma.

Ainda nesse contexto, a dieta rica em proteínas também pode afetar a composição da microbiota. Esse tipo de dieta é exigido para atletas, porém a fermentação dos aminoácidos produz ureia e metabólitos indesejáveis — como fenol, sulfeto de hidrogênio e amina — elevando o pH fecal (CLARK; MACH, 2016).

Além do mais, é comum que o consumo de lipídeos por atletas seja baixo. Porém, quando 30 a 50% da energia da dieta provém de lipídeos, pode haver economia do glicogênio e, com isso, melhorar o desempenho de endurance. Como também é relatado em estudos que dietas enterais com alta concentração de lipídeos podem atenuar a inflamação intestinal, a translocação bacteriana e as lesões causadas por hipoperfusão esplênica (CLARK; MACH, 2016).

Por outro lado, também é relatado que dietas ricas em gordura induzem mudanças desfavoráveis na microbiota intestinal. Elas estão associadas à inflamação sistemática crônica de baixo grau, ao aumento da permeabilidade intestinal e concentração plasmática de lipopolissacarídeo (LPS), à diminuição da densidade bacteriana e ao aumento na proporção das ordens *Bacteroidales* e *Clostridiales* (CLARK E MACH, 2016).

Shahar *et al.* (2020) afirmam que a atividade física é um dos meios que parecem estar associados à diversificação dos microrganismos. Dentro desse contexto, o exercício físico é capaz de modificar a microbiota por consequência da ativação da via da Proteína Quinase Ativada por Monofosfato de Adenosina (AMPK), da promoção da perda de peso, da modificação do perfil de ácidos biliares (ZEPPA *et al.*, 2019), da redução do trânsito intestinal e da modulação da resposta imunológica (SHAHAR *et al.*, 2020). O mecanismo de ação deste último é elucidado a partir da via de sinalização de *Toll-Like Receptors* (TLRs), imunoglobulina A (IgA) e alteração do número de células B e TCD4+ (ZEPPA *et al.*, 2019).

Junto a isso, a composição da microbiota é influenciada pela disponibilidade de nitrogênio, pois depende deste para proliferação e metabolismo. Nesse sentido, em consequência do catabolismo proteico e estresse contínuo, exercícios de alta intensidade aumentam as concentrações de ureia plasmática. Essa ureia é hidrolisada em nitrogênio e  $\text{NH}_3$  que pode ser usado por bactérias para seu metabolismo e síntese de proteínas ou ser absorvida pelos colonócitos (CLARK; MACH, 2016).

Logo é possível entender que o exercício intenso é um desafio exógeno percebido como adverso pelo organismo, acarretando o estresse. De tal forma que é capaz de modificar os hormônios catabólicos, citocinas e moléculas microbianas intestinais, podendo resultar em distúrbios gastrointestinais, ansiedade, depressão e baixo desempenho esportivo (CLARK; MACH, 2016).

Também torna-se evidente que o exercício físico é um estressor para o intestino, estimulando, portanto, adaptações (ZEPPA *et al.*, 2019). Essas podem ser benéficas ou malélicas, dependendo do tipo de esporte, das características do atleta e/ou indivíduo saudável, do condicionamento físico e do regime de treinamento (MOHR *et al.*, 2020). Nesse âmbito, é estimado que a prevalência de estresse seja maior em esportes de endurance, como natação, remo, ciclismo, triatlo e corrida de longa distância (CLARK; MACH, 2016).

Em suma, a biodiversidade microbiológica intestinal é influenciada pelos exercícios físicos (ZEPPA *et al.*, 2019), pelo tempo de exposição a esses estímulos, bem como pelas características fenotípicas do hospedeiro (ORTIZ-ALVARES; XU; MARTINEZ-TELLEZ, 2020; AYA *et al.*, 2021).

É importante considerar que diferentes tipos de esportes geram diversidades distintas na microbiota dos atletas (AYA *et al.*, 2021), logo a diversidade de espécies também difere entre atletas, indivíduos saudáveis e não atletas (MOHR *et al.*, 2020). AYA *et al.* (2021) acrescentam que, em relação a pessoas inativas, os atletas competidores possuem uma maior  $\alpha$ -diversidade, fator altamente associado ao maior consumo de proteínas.

Atletas de rúgbi, quando comparados a pessoas sedentárias, apresentam menor concentração de *Bacteroidetes* e maior de *Firmicutes* (MACH; FUSTER-BOTELLA, 2017). Similarmente, em mulheres ativas, é relatada essa menor concentração no filo *Bacteroidetes*, juntamente à maior abundância de bactérias *Lachnospiraceae*, *Akkermansiaceae* e *Faecalibacterium* (AYA *et al.*, 2021).

Zeppa *et al.* (2019) enfatizam que o microbioma do atleta é definido pela maior concentração da família *Veillonellaceae* (filo *Firmicutes*), *Bacteroidetes*, *Prevotella*, *Methanobrevibacter* e *Akkermansia*. Tais diferenças na composição podem contribuir no aumento das vias metabólicas e metabólitos fecais associados ao melhor condicionamento e saúde (MOHR *et al.*, 2020).

Diduch (2017) elucida que o exercício regular de intensidade moderada pode trazer benefícios para a microbiota e a saúde do intestino. Até mesmo em pessoas sedentárias, a inclusão de exercícios moderados, diariamente, ocasionou maior diversidade entre o filo *Firmicutes* (MACH; FUSTER-BOTELLA, 2017). Em contrapartida, Diduch (2017) também relata que exercícios de alta intensidade e treinamentos de resistência prolongados podem trazer efeitos negativos, como o desenvolvimento de doenças intestinais inflamatórias, o aumento da permeabilidade de membrana e, com isso, o atleta pode diminuir seu desempenho no treinamento esportivo.

## Barreira intestinal e inflamação

A atividade física moderada regular é benéfica ao organismo e é a prevenção primária para pelo menos 35 condições crônicas, sendo capaz de reduzir a incidência de doenças metabólicas e inflamatórias. Em contraste, a atividade física excessiva pode trazer danos físicos e na composição da microbiota (SAHAR *et al.*, 2020).

Diversas alterações fisiológicas ocorrem em praticantes de esportes de resistência. Infecções do trato respiratório superior e problemas gastrointestinais são comuns, sendo que o segundo envolve o aumento da permeabilidade da parede epitelial e da ruptura da espessura da mucosa (MACH; FUSTER-BOTELLA, 2017).

O exercício de resistência pode aumentar a produção de citocinas pró-inflamatórias, como: TNF- $\alpha$ , IL-1, IL-6. Esse fator pode contribuir para o desenvolvimento da disbiose, da hipertermia tecidual e para o aumento da permeabilidade da membrana intestinal, que, por sua vez, aumenta o reconhecimento mediado por TLRs potencializando respostas do sistema imune e favorecendo o ambiente inflamatório (MACH; FUSTER-BOTELLA, 2017).

Esse aumento de permeabilidade pode ser justificado pela diminuição significativa da circulação sanguínea esplênica (MOLLER *et al.*, 2019). Isso ocorre porque o exercício físico a 70% do VO<sub>2</sub> máximo é capaz de reduzir em 60-70% o fluxo sanguíneo esplênico. Essa isquemia induzida, a partir de 50% de redução do fluxo sanguíneo, já é capaz de aumentar a permeabilidade intestinal (CLARK; MACH, 2016). A isquemia que ocorre no intestino danifica células locais que produzem proteínas antimicrobianas e de junção (claudina e ocludina) e células produtoras de muco. Elas impedem a passagem de agentes patogênicos do intestino para a corrente sanguínea, dessa forma essa proteção fica prejudicada, podendo aumentar a produção de citocinas pró-inflamatórias (RIBEIRO *et al.*, 2021).

Ainda, durante o exercício físico intenso há o aumento da temperatura corporal; somado o dano térmico à mucosa intestinal com a redistribuição do fluxo sanguíneo, podendo causar a ruptura da barreira intestinal (CLARK; MACH, 2016). Dessa forma, pode haver a translocação de microrganismos do lúmen intestinal para a circulação sanguínea, resultando em inflamação sistêmica. Esse fenômeno de aumento da permeabilidade intestinal e inflamação é chamado de *leaky gut* (SHAHAR *et al.*, 2020).

O aumento da permeabilidade pode estar associado à dieta rica em lipídeos, os quais estimulam a proliferação de bactérias gram-negativas. Pode também estar associado à diminuição de *Bifidobacteria ssp.*, sendo que essas são reconhecidas por reduzir os níveis de LPS e melhorar a barreira intestinal (BIBBÒ *et al.*, 2016). Sendo assim, a permeabilidade intestinal pode ser agravada tanto pela disbiose como também pela produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (CLARK; MACH, 2016).

Desse modo, o indivíduo fica mais suscetível a infecções (MOLLER *et al.*, 2019) e pode ocorrer a translocação de LPS (CLARK; MACH, 2016). Como consequência são observados distúrbios gastrointestinais, desequilíbrios na hidratação, má absorção de nutrientes e eletrólitos e danos na mucosa intestinal, efeitos os quais afetam negativamente o desempenho do atleta (CLARK; MACH, 2016).

Junto a isso, o estresse durante o período de treinamento para competição pode alterar a composição da microbiota. Isso porque o trato gastrointestinal responde ao estresse liberando ácido gama-aminobutírico (GABA), neuropeptídeo Y (NPY) e dopamina, que parecem causar distúrbios intestinais, ansiedade, depressão, redução da ingestão de alimentos e menos enfrentamento ao estresse. Além disso, a noradrenalina tem influência na expressão gênica bacteriana, podendo acarretar na modificação do padrão microbiano (CLARK; MACH, 2016).

Diversos autores sugerem a suplementação de prébióticos e/ou probióticos que estimulem o desenvolvimento de *Bifidobacterias* e *Lactobacillus*, a fim de promover uma melhor composição da microbiota em atletas. Dessa forma, é esperada a melhora da função metabólica, imunológica e da barreira intestinal (CLARK; MACH, 2016).

## Papel da microbiota na melhora do desempenho físico

A microbiota é capaz de modular a ativação das vias metabólicas associadas ao desempenho por meio da sinalização de miocinas e citocinas (MOHR *et al.*, 2020). Durante o exercício físico são liberadas essas substâncias que resultam num efeito anti-inflamatório e mediam a secreção de *glucacon-like-peptídeo-1* (GLP-1) — pró-hormônio envolvido em todo o processo metabólico (ORTIZ-ALVAREZ; XU; MARTINEZ-TELLEZ, 2020). Por sua vez, eles influenciam indiretamente no desempenho físico, no tempo de recuperação e nos padrões de doenças (MOHR *et al.*, 2020).

Vale também ressaltar que os metabólitos das bactérias influenciam nas funções mitocondriais relacionadas à produção de energia, biogênese mitocondrial e cascatas de inflamação (CLARK; MACH, 2017).

É importante salientar a importância do butirato na melhora da capacidade respiratória. Haja vista que uma maior diversidade microbiana e de butirato fecal está correlacionada com uma maior aptidão cardiorrespiratória (MOHR *et al.*, 2020; AYA *et al.*, 2021). Isso em virtude da capacidade do butirato em induzir a expressão do gene PGC-1 $\alpha$  tanto nos músculos esqueléticos quanto no tecido adiposo marrom. Conseqüentemente, melhora a capacidade respiratória e a beta-oxidação de ácidos graxos (CLARK; MACH, 2017).

Em suma, o acetato e o butirato têm sua importância no desempenho nos exercícios, pois aumentam a oxidação de gordura muscular, melhoram a capacidade na troca e na utilização de lipídeos e carboidratos e ajudam prevenindo a perda de massa muscular devido à inibição da histona desacetilase atuante no catabolismo de proteínas musculares (ORTIZ-ALVARES; XU; MARTINEZ-TELLEZ, 2020). Eles também são valiosos na regulação da produção de energia, sendo que, uma vez que sofrem a beta-oxidação, têm como produto a acetilcoenzima A (acetil-CoA), importante para a produção de adenosina trifosfato (ATP) e CO<sub>2</sub> (CLARK; MACH, 2017). Logo esses produtos da fermentação podem ser usados como fonte de energia tanto no fígado quanto em células musculares, a fim de manter a glicemia por mais tempo (ZEPPA *et al.*, 2019).

Além disso, os metabólitos reduzem a produção de EROs e auxiliam no equilíbrio do redox. Tal equilíbrio é essencial, uma vez que o desequilíbrio do redox, por longos períodos, foi correlacionado com o rápido surgimento da fadiga e da incapacidade em manter a velocidade e intensidade do desempenho (CLARK; MACH, 2017).

Sendo assim, a microbiota pode favorecer uma possível melhora nos resultados de atletas competitivos (MOHR *et al.*, 2020). Clark e Mach (2017) reforçam essa ideia ao referir que exercícios de endurance poderiam ter como alvos terapêuticos os metabólitos produzidos pelas bactérias comensais.

Por isso, no âmbito esportivo, é sugerida uma dieta capaz de estimular microrganismos que melhoram o metabolismo energético. Dessa forma, seria possível controlar o estresse oxidativo e a resposta inflamatória decorrente de exercícios de endurance, além de melhorar o metabolismo e o gasto de energia durante exercícios intensos (CLARK; MACH, 2016).

Também são importantes as escolhas nutricionais adequadas nas diferentes fases da competição, como evitar gordura e fibras antes de competições, de tal forma que isso colabora com o desconforto gastrointestinal em atletas de elite, pois garante um esvaziamento gástrico rápido e perfusão adequada da vasculatura esplênica. Porém, a longo prazo, a falta de carboidratos complexos pode afetar negativamente a composição e a função da microbiota intestinal (CLARK; MACH, 2016).

## CONCLUSÕES

As evidências mostram que a prática regular de exercícios de endurance de intensidade baixa e moderada pode ser benéfica para a microbiota intestinal de indivíduos ativos. Entre os benefícios é possível identificar o aumento da diversidade microbiana e seus metabólitos, o combate ao estresse oxidativo e a inflamação, bem como a melhora na função de barreira intestinal. Nesse contexto, pode haver melhora no desempenho físico.

Em contrapartida, exercícios de alta intensidade aumentam a permeabilidade intestinal e a inflamação, causando a disbiose em atletas, que pode ocasionar a diminuição do desempenho físico e trazer prejuízos à saúde do atleta.

Ademais, há poucos estudos que relacionam o treinamento de força e a microbiota. Existem cepas e algumas características de microrganismos que habitam a microbiota intestinal que são desconhecidas ou pouco estudadas, dificultando um melhor esclarecimento da interação do exercício físico com algumas espécies que constituem a microbiota.

Em conclusão, mais estudos devem ser realizados para obter resultados mais robustos sobre o tema, que se mostra de extrema importância para a saúde e para a melhora do desempenho de atletas de alta performance.

## REFERÊNCIAS

AYA, V.; FLOREZ, A.; PEREZ, L.; RAMIREZ, J. D. Association between physical activity and changes in intestinal microbiota composition: A systematic review. **PLoS One**, Colômbia, v. 25, n. 2, p. 1-21, fev. 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33630874/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

BIBBÒ, S.; IANIRO, G.; GIORGIO, V.; SCALDAFERR, F.; MASUCCI, L.; GASBARRINI, A.; CAMMAROTA, G. The role of diet on gut microbiota composition. **European Review For Medical And Pharmacological Sciences**, Roma, v. 20, n. 22, p. 4742-4749, nov. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27906427/>. Acesso em: 11 abr. 2021.

CAREY, R. A.; MONTAG, D. Exploring the relationship between gut microbiota and exercise: short-chain fatty acids and their role in metabolism. **BMJ Open Sport & Exercise Medicine**, Londres, v. 7, n. 2, p. 1-7, abr. 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33981447/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

CASTANER, O.; GODAY, A.; PARK, Y.; LEE, S.; MAGKOS, F.; SHIOW, S. T. E.; SCHRODER, H *et al.* The gut microbiome profile in obesity: A systematic review. **International Journal of Endocrinology**, Londres, v. 2018, p. 1-9, mar. 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5933040/>. Acesso em: 28 fev. 2021.

CLARK, A.; MACH, N. The crosstalk between the gut microbiota and mitochondria during exercise. **Frontiers in Physiology**, [S.l.], v. 8, n. 319, p. 1-17, maio 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28579962/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

CLARK, A.; MACH, N. Exercise-induced stress behavior, gut-microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, [S.l.], v. 13, n. 43, p. 13-43, nov. 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5121944/#> Acesso em: 03 fev. 2021.

DALTON, A.; MERMIER, C.; ZUHL, M. Exercise influence on the microbiome-gut-brain-axis. **Gut Microbes**, Novo México, v. 10, n. 5, p. 555-568, jan. 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6748614/>. Acesso em: 23 fev. 2021.

DIDUCH, B. K. Gastrointestinal conditions in the female athlete. **Clinics in Sports Medicine**, [S.l.], v. 36, n. 4, p. 655-669, out. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28886820/>. Acesso em: 23 abr. 2021.

LEBLANC, J. G.; CHAIN, F.; MARTÍN, R.; BERMÚDEZ-HUMARÁN, L. G.; COURAU, S.; LANGELLA, P. Beneficial effects on host energy metabolism of short-chain fatty acids and vitamins produced by commensal and probiotic bacteria. **Microbial Cell Factories**, Paris, v. 16, n. 79, p. 1-10, maio 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5423028/>. Acesso em: 23 abr. 2021.

MACH, N.; FUSTER-BOTELLA, D. Endurance exercise and gut microbiota: A review. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 179-197, jun. 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6188999/>. Acesso em: 17 fev. 2021.

MARTTINEN, M.; ALA-JAAKKOLA, R.; LAITILA, A.; LAHTINEN, M. J. Gut microbiota, probiotics and physical performance in the athletes and physically active individuals. **Nutrients**, [S.l.], v. 12, n. 10, p. 1-32, set. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32992765/>. Acesso em: 17 abr. 2021.

MOHAJERI, M. H.; BRUMMER, R. J. M.; RASTALL, R. A.; WEERSMA, R. K.; HERMSEN, H. J. M.; FAAS, M.; EGGERSDORFER, M. The role of the microbiome for human health: from basic science to clinical applications. **European Journal of Nutrition**, [S.l.], v. 57, n. 1, p. 1-14, maio 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29748817/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

MOHR, A. E.; JAGER, R.; CARPENTER, K. C.; KERKSICK, C. M.; PURPURA, M.; TOWNSEND, J. R.; WEST, N. P.; BLACK, K.; GLEESON, M.; PYNE, D. B.; WELLS, S. D.; ARENT, S. M.; KREIDER, R. B.; CAMPBELL, B. I.; BANNOCK, L.; SCHEIMAN, J.; WISSENT, C. J.; PANE, M.; KALMAN, D. S.; PUGH, J. N.; ORTEGA-SANTOS, C. P.; HAAR, J. A.; ARCIERO, P. J.; ANTONIO, J. The athletic gut microbiota. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, Arizona – EUA, v. 17, n. 24, p. 1-33, maio 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32398103/>. Acesso em: 03 fev. 2021.

MOLLER, G. B.; GOULART, M. J. V. C.; NICOLETTO, B. B.; ALVES, F. D.; SCHNEIDER, C. D.. Supplementation of probiotics and its effects on physically active individuals and athletes: Systematic review. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, [S.l.], v. 29, n. 5, p. 481-492, set. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30676130/>. Acesso em: 07 fev. 2021.

ORTIZ-ALVAREZ, L.; XU, H.; MARTINEZ-TELLEZ, B. Influence of exercise on the human gut microbiota of healthy adults: A systematic review. **Clinical and Translational Gastroenterology**, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 1-9, fev. 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7145029/>. Acesso em: 05 abr. 2021.

PUSHPANATHAN, P.; MATHEW, G. S.; SELVARAJAN, S.; SESHADRI, K. G.; SRIKANTH, P. Gut microbiota and its mysteries. **Indian Journal of Medical Microbiology**, Chennai /Índia, v. 37, n. 2, p. 268-277, jun. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31745030/>. Acesso em: 18 abr. 2021.

RIBEIRO, F. M.; PETRIZ, B.; MARQUES, G.; KAMILLA, L. H.; FRANCO, O. L. Is there an exercise-intensity threshold capable of avoiding the leaky gut? **Frontiers in Nutrition**, [S.l.], v. 8, n. 8, p. 1-12, mar. 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33763441/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

RINNINELLA, E.; RAOUL, P.; CINTONI, M.; FRANCESCHI, F.; MIGGIANO, G. A. D.; GASBARRINI, A.; MELE, M. C. What is the healthy gut microbiota composition? A changing ecosystem across age, environment, diet, and diseases. **Microorganisms**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 1-22, jan. 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6351938/>. Acesso em: 17 abr. 2021.

SALVUCCI, E. The human-microbiome superorganism and its modulation to restore health. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, [S.l.], v. 70, n. 7, p. 781-795, nov. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30843443/>. Acesso em: 18 abr. 2021.

SHAHAR, R.T.; KOREN, O.; MATARASSO, S.; SHOCHAT, T.; MAGZAL, F.; AGMON, M. Attributes of physical activity and gut microbiome in adults: A systematic review. **International Journal of Sports Medicine**, Nova Iorque, v. 41, n. 12, p. 801-814, out. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32455454/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SHORTT, C.; HASSELWANDER, O.; MEYNIER, A.; NAUTA, A.; FERNANDEZ, E. N.; PUTZ, P.; ROWLAND, I.; SWANN, J.; TURK, J.; VERMEIREN, J.; ANTOINE, J. Systematic review of the effects of the intestinal microbiota on selected nutrients and non-nutrients. **European Journal of Nutrition**, [S.l.], v. 57, n. 1, p. 25-49, out. 2017. Disponível em: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5847024/pdf/394\\_2017\\_Article\\_1546.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5847024/pdf/394_2017_Article_1546.pdf). Acesso em: 06 fev. 2021.

ZEPPA, S. D.; AGOSTINI, D.; GERVASI, M.; ANNIBALINI, G.; AMATORI, S.; FERRINI, F.; SISTI, D.; PICCOLI, G.; BARBIERI, E.; SESTILI, P.; STOCCHI, V. Mutual Interactions among Exercise, sport supplements and microbiota. **Nutrients**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 1-33, dez. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31861755/>. Acesso em: 25 abr. 2021.

