

## As estratégias nutricionais na biogênese mitocondrial e os efeitos no desempenho das vias energéticas para o atleta de *Endurance*

Nutritional strategies in mitochondrial biogenesis and the performance effects of energy pathways for the Endurance athlete

Estrategias nutricionales en la biogénesis mitocondrial y los efectos en el rendimiento de las vías energéticas para el atleta de Resistencia

Recebido: 04/04/2022 | Revisado: 11/04/2022 | Aceito: 12/04/2022 | Publicado: 16/04/2022

**Carolina Mendonça Noronha**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8094-2334>

Centro Universitário Fametro, Brasil

E-mail: [carolnoronha.jh@gmail.com](mailto:carolnoronha.jh@gmail.com)

**Francisca Marta Nascimento de Oliveira Freitas**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0044-0925>

Centro Universitário Fametro, Brasil

E-mail: [Francisca.freitas@fametro.edu.br](mailto:Francisca.freitas@fametro.edu.br)

**José Carlos de Sales Ferreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1867-8229>

Centro Universitário Fametro, Brasil

E-mail: [jcarlos.sales@gmail.com](mailto:jcarlos.sales@gmail.com)

### Resumo

**Introdução:** a necessidade de proporcionar e melhorar o condicionamento físico em esportes de alto rendimento, como o *Endurance*, mostra a importância de se debater sobre a melhora da biogênese mitocondrial, junto às estratégias nutricionais que visem a potencializar a via energética solicitada, para se obter excelentes resultados, acarretando na melhora do condicionamento físico em esportes de alto rendimento, como o *Endurance*. **Objetivo:** a presente revisão tem como objetivo avaliar quais as estratégias nutricionais que melhor beneficiam a biogênese mitocondrial para otimizar o desempenho das vias energéticas para o atleta de *Endurance*. **Metodologia:** A finalidade desta pesquisa é de caráter descritivo. **Resultados e Discussões:** Para o sucesso mais eficiente e sem perdas no desempenho do atleta de *Endurance*, necessita de estratégias nutricionais que se adequem às necessidades fisiológicas do indivíduo. A nutrição deve ser utilizada como ferramenta estratégica para gerar estímulos ao recrutamento e síntese de proteínas mitocondriais, tendo o aumento do tamanho, volume e número de mitocôndrias presentes nas células, tornando-se fator imprescindível para o desempenho das vias energéticas em atletas de *Endurance*. **Conclusão:** os fatores nutricionais exercem grande influência no desempenho de atletas nos exercícios, induzindo a resposta inflamatória, danificando os sistemas antioxidantes e aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) que podem resultar na possibilidade de o atleta desenvolver atividades de alto desempenho como o *Endurance*.

**Palavras-chave:** Estratégias nutricionais; Mitocôndria; Biogênese mitocondrial; Vias energéticas e *Endurance*.

### Abstract

**Introduction:** the need to provide and improve physical conditioning in high-performance sports, such as *Endurance*, shows the importance of debating on the improvement of mitochondrial biogenesis, together with nutritional strategies that aim to potentiate the requested energy pathway, in order to obtain excellent results, resulting in the improvement of physical conditioning in high-performance sports, such as *Endurance*. **Objective:** The present review aims to evaluate which nutritional strategies best benefit mitochondrial biogenesis to optimize the performance of energy pathways for the *Endurance* athlete. **Methodology:** The purpose of this research is descriptive. **Results and Discussions:** For the most efficient success and without loss of performance, the *Endurance* athlete needs nutritional strategies that fit the physiological needs of the individual. Nutrition should be used as a strategic tool to stimulate the recruitment and synthesis of mitochondrial proteins, with the increase in size, volume and number of mitochondria present in cells becoming an essential factor for the performance of energy pathways in *Endurance* athletes. **Conclusion:** nutritional factors exert a great influence on the performance of athletes in exercises, inducing the inflammatory response, damaging the antioxidant systems and increasing the production of reactive oxygen species (ROS) that can result in the possibility of the athlete to develop high performance activities such as *Endurance*.

**Keywords:** Nutritional strategies; Mitochondria; Mitochondrial biogenesis; Energy pathways and *Endurance*.

## Resumen

**Introducción:** la necesidad de proporcionar y mejorar el acondicionamiento físico en deportes de alto rendimiento, como el Endurance. muestra la importancia de debatir sobre la mejora de la biogénesis mitocondrial, junto con estrategias nutricionales que apunten a potenciar la vía energética solicitada, para obtener excelentes resultados, redundando en la mejora del acondicionamiento físico en deportes de alto rendimiento, como el Endurance. **Objetivo:** La presente revisión tiene como objetivo evaluar qué estrategias nutricionales benefician más a la biogénesis mitocondrial para optimizar el rendimiento de las vías energéticas del deportista de resistencia. **Metodología:** El propósito de esta investigación es descriptivo. **Resultados y Discusiones:** Para el éxito más eficiente y sin pérdida de rendimiento, el atleta de resistencia necesita estrategias nutricionales que se ajusten a las necesidades fisiológicas del individuo. La nutrición debe ser utilizada como una herramienta estratégica para estimular el reclutamiento y la síntesis de proteínas mitocondriales, siendo el aumento de tamaño, volumen y número de mitocondrias presentes en las células un factor esencial para el desempeño de las vías energéticas en los atletas de Endurance. **Conclusión:** los factores nutricionales ejercen una gran influencia en el rendimiento de los atletas en los ejercicios, induciendo la respuesta inflamatoria, dañando los sistemas antioxidantes y aumentando la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) que pueden redundar en la posibilidad de que el atleta desarrolle actividades de alto rendimiento como la Resistencia.

**Palabras clave:** Estrategias nutricionales; Mitocondrias; Biogen mitocondrial; Vías de energía y resistencia.

## 1. Introdução

As diretrizes que norteiam este documento direcionam-se a explicativa sobre o acarretamento de meios estratégicos em processos de estímulo ao recrutamento e síntese de proteínas mitocondriais, possuindo como resultado o aumento do tamanho, volume e número de mitocôndrias presentes nas células, tornando-se fator imprescindível para o desempenho das vias energéticas em praticantes e atletas de *Endurance* (Cherry, 2015).

O aumento na quantidade e qualidade funcional de mitocôndrias do tecido muscular esquelético está diretamente relacionado com algumas mudanças celulares em indivíduos que praticam regularmente treinamento físico-esportivo (TFE) envolvendo sua capacidade física de resistência. Como as mitocôndrias são destinadas a efetivarem a oxidação de intermediários bioenergéticos do catabolismo de glicose e ácidos graxos, a consequência é a resistência do organismo nas atividades físicas de longa duração, como no caso do agrupamento de esportes abordados neste documento (Pereira, 2015).

Atualmente, os esportes que pertencem a modalidade *Endurance* são as maratonas, *triathlon*, maratona aquática, entre outros. As principais características desta modalidade aeróbica são a intensidade, variando de baixa a média e seu caráter de longa duração, sendo igual ou superior a 90 minutos de forma continuada, sendo necessárias extrema resistência física e mental dos atletas (Veganway, 2018).

Os efeitos proporcionados aos atletas desta modalidade são inúmeros, mas sendo encontrado na literatura dados sobre modificações nos estados emocionais destes indivíduos, como euforia, alegria intensa, harmonia interior, energia ilimitada, sensação de bem-estar e redução da percepção de dor. A conexão entre as beta-endorfinas e a sensação do corredor é uma explicação adequada para alguns efeitos positivos nos exercícios e em atividades de *Endurance* (Raichlen, *et al.*, 2012 *apud* Nogueira, *et al.*, 2018).

A mitocôndria é a organela responsável pelo metabolismo dos ácidos graxos através da  $\beta$  – oxidação, correspondendo a homeostasia e biogênese mitocondrial. A biogênese mitocondrial é controlada por uma via de sinalização coordenada por coativadores e fatores de transcrição, como o coativador denominado 1-alfa do receptor ativado por proliferador de peroxissomo (PGC1 $\alpha$ ). Por consequência, o PGC1- $\alpha$ , codificado pelo gene, denominado na literatura como PPARGC1A, modula algumas vias de regulação do metabolismo mitocondrial, fazendo com que sua ativação inicie um efeito cascata, induzindo a transcrição NRF1/2 e expressão de outras proteínas (Stepto, *et al.*, 2012 *apud* Barbosa, 2021).

## 2. Metodologia

A finalidade desta pesquisa é de caráter descritivo onde busca-se evidenciar os benefícios para o atleta de *Endurance* com as estratégias nutricionais na biogênese mitocondrial e os efeitos no desempenho das vias energéticas registrados na literatura nacional e internacional.

De acordo com Aidil Barros e Neide Aparecida (1990):

Na pesquisa descritiva ocorre: [...] descrição do objeto por meio da observação e do levantamento de dados ou ainda pela pesquisa bibliográfica e documental. Das pesquisas descritivas pode-se chegar à elaboração de perfis, cenários etc. A ênfase metodológica pode ser mais quantitativa do que a qualitativa. Busca percentuais, médias, indicadores, curvas de normalidade etc (Aidil & Neide, 1990, p. 34).

Quanto ao método, a pesquisa será bibliográfica onde é estendida a partir de material publicado, constituído principalmente de livros e artigos em periódicos, fazendo parte também da revisão da literatura as monografias, dissertações e teses (Lakatos & Marconi, 2010).

A coleta de dados será totalmente eletrônica por meio da internet, na qual será orientada pelas palavras chaves envolvidas na temática estudada como: estratégias nutricionais; mitocôndria; biogênese mitocondrial; vias energéticas e *Endurance*.

Será pesquisado por meio do banco de dados da REDALYC, LYLACS, MEDLINE, SCIELO, PUBMED e BVS, publicações a partir de 2011, e livros disponibilizados no Google Books, onde todo material pesquisado será analisado e revisado. Também foram pesquisados e analisados alguns livros envolvendo a temática abordada.

Os critérios utilizados neste documento para inclusão e exclusão foram dados a partir de períodos temporais entre 2010 e 2021, com temáticas similares à proposta deste projeto. Os idiomas escolhidos para os documentos literários são pertencentes a língua vernácula (brasileira), e à língua inglesa. Todos os artigos e outras bibliografias que não se adequaram ao método de inclusão foram descartados.

Os descritores utilizados para a pesquisa foram utilizados com o auxílio dos operadores booleanos “OR” e “AND”, que permitiram abranger um maior número de artigos e documentos científicos entre um espaço e tempo dos últimos onze anos. Os termos encontrados foram executados individualmente para refinar a busca dentro das bases de dados. Assim, foram utilizados os seguintes descritores: “Nutritional Strategies” Or” Strategies” Or “Mitochondial Biogenesis” Or “Endurance” And “Endurance Athlete”.

Para análise dos dados será utilizada a abordagem qualitativa onde a aplicação desse método considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o objeto de pesquisa, que não pode ser traduzido em números, sendo utilizada a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados por meio de qualidade, características ou ainda narrativas (Prodanov, 2013).

A partir da leitura bibliográfica e seletiva, será selecionado todo conteúdo que norteará a temática abordada para o desenvolvimento teórico da pesquisa. Utilizando a técnica de fichamento, toda teoria e autores selecionados serão elencados objetivando melhor compreensão e análise da temática em questão.

Os critérios de inclusão utilizados serão: publicações a partir de 2010; publicações em Língua Portuguesa e Língua Inglesa; publicações da LYLACS, MEDLINE, SCIELO, PUBMED e BVS; somente livros e periódicos. Os critérios de exclusão utilizados serão: publicações menos de 10 anos. Tais informações selecionadas serão apresentadas em forma de texto descritivo, reunindo todos os autores selecionados no que se refere da temática de pesquisa. A discussão buscará destacar no tocante dos benefícios e malefícios das estratégias nutricionais na biogênese mitocondrial e os efeitos no desempenho das vias energéticas para o atleta de *Endurance* registrados na literatura nacional e internacional.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 O Atleta de *Endurance*

O treinamento esportivo consiste em um contínuo processo adaptativo diretamente correlacionado a mecanismos de sinalização de síntese proteica, estimulados agudamente a cada sessão de treinamento. O incremento da força, potência, velocidade, ou da *Endurance* dependem de alterações na quantidade e atividade de determinadas proteínas com funções estruturais, regulatórias, ou de transporte de íons através da membrana das células, cujo incremento é resultante da somatória de repetidas sessões de treinamento (Ide, *et al.*, 2019).

A capacidade de manter um alto nível de atividade física sem fadiga demasiada depende de dois fatores: da capacidade de integração de diferentes sistemas fisiológicos (respiratório, circulatório, muscular, endócrino) para realizar o exercício; da capacidade das células musculares específicas de gerar ATP de modo aeróbio (Sandoval, 2011).

Para o atleta de *Endurance* (também denominado resistência), o principal objetivo é aumentar sua capacidade de sustentar a maior intensidade de exercícios por determinados períodos (Jackix & Santos, 2018).

Em provas de *Endurance*, o desgaste físico dos atletas promove uma significativa demanda energética e substancial aceleração do metabolismo. A rotina exaustiva de treinamento físico conduz a alterações consideráveis nas necessidades nutricionais de um atleta (De Rezende & Tirapegui, 2004).

O treinamento de *Endurance* induz adaptações metabólicas e fisiológicas que possibilitam ao atleta sustentar o nível de intensidade/gasto energético por meio de duas vias metabólicas (aeróbicas e anaeróbicas), melhorar a economia de movimento, bem como aumentar a resistência à fadiga (Stellingwerff, *et al.*, 2018).

##### 3.1.1 A Principal via metabólica requerida pelo treinamento de *Endurance*

Os exercícios físicos podem ser classificados, conforme sua intensidade e duração em: anaeróbios e aeróbios (Pereira & Borges, 2006).

Segundo McArdle *et al.* (2003), a fonte direta de energia em exercícios com intensidades maiores é o glicogênio muscular, e os estoques de glicogênio hepáticos são utilizados para recompor a glicose do sangue em situações que a glicemia se encontra diminuída, como por exemplo, em exercícios de longa duração sem a reposição de carboidrato, e também em situação de jejum de longo tempo (Alves, 2021).

Já o sistema oxidativo tem por característica a combustão de carboidrato, gorduras e parcialmente de proteínas, na presença de oxigênio (Gastin, 2011).

Segundo Kraemer *et al.* (2016, p. 48) quanto a geração de ATP na via metabólica:

Quando o exercício ultrapassa 30 segundos, é crucial a ocorrência de glicólise ou metabolismo não oxidativo para produzir o ATP. O produto final da via glicolítica é o ácido pirúvico, e o destino dessa substância depende de quanto oxigênio existe na célula. No caso de não existir oxigênio adequado, o piruvato é convertido em lactato, resultando no termo anaeróbio para descrever a degradação do carboidrato Kraemer, Fleck & Deschenes (2016, p. 48).

Durante a prática de um exercício físico, é importante dizer que todos os sistemas corporais são ativados, porém cada um com sua característica, tendo a ativação predominante conforme a necessidade energética (Caputo *et al.*, 2011).

À medida que a atividade submáxima progride no estado com depleção de glicogênio, os níveis de glicemia caem, e a gordura circulante, predominantemente sob a apresentação de ácidos graxos livres, aumenta acentuadamente, em comparação com o exercício realizado em condições com carga de glicogênio. Simultaneamente, a contribuição da proteína para o gasto energético é elevada. (McArdle, 2016).

Os substratos metabolizados chegam à célula e na presença de O<sub>2</sub> são transformados em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O com a liberação de energia química por meio de um processo metabólico denominado respiração, sendo a única finalidade fornecer energia (Santos, 2014).

Havendo o aporte adequado de oxigênio, o ácido pirúvico produzido entrará nas mitocôndrias para participar do metabolismo aeróbico, assim inibindo a produção de ácido lactato (Kraemer, Fleck & Deschenes, 2016).

Embora não haja ordenação entre os sistemas energéticos, tem-se uma predominância da via anaeróbia em relação aos demais, destacando uma melhor oxidação dos macronutrientes e um saldo energético superior em relação a quantidade de ATP produzida. Apesar da predominância oxidativa citada, quando há necessidade de uma ressíntese mais veloz de ATP, a contribuição anaeróbia tende a aumentar progressivamente. Estas vias metabólicas são estimuladas pela quantidade de difosfato de adenosina (ADP), fosfato inorgânico (Pi) e pelo pH do meio, bem como a biodisponibilidade de substratos energéticos (Souza, *et al.*, 2020).

Ressalta-se que, com o metabolismo aeróbio haverá maior produção de ATP, a partir de uma molécula de glicose. Enquanto o metabolismo anaeróbio só consegue usar glicose como substrato alimentar original, o aeróbio utiliza a glicose, gordura e proteína (Kraemer, Fleck & Deschenes, 2016).

A produção aeróbia de ATP é importante para o desempenho do atleta de *Endurance*, devido sua capacidade de produzir muito ATP sem gerar produtos associados à fadiga. Essa produção de ATP ocorre nas mitocôndrias e envolve o ciclo de Krebs e a cadeia transportadora de elétrons (Kraemer, Fleck & Deschenes, 2016).

### 3.2 Biogênese Mitocondrial

Segundo Junqueira e Carneiro (Junqueira & Carneiro, 2015, p.71): “As mitocôndrias (mitos, filamento, e condria, partícula) são organelas de forma arredondada ou alongada presente no citoplasma das células eucariontes, que participam da respiração aeróbica e de diversas funções”.

São formadas por duas membranas altamente especializadas, uma interna e outra externa. Possuem também o espaço inter membranas e o espaço interno da matriz, onde se situa o DNA mitocondrial e variadas enzimas (Lanoe & Schoolwerth, 1979 *apud* Silva, 2014).

A função primária das mitocôndrias é fornecer energia celular pela produção de trifosfato de adenosina (ATP). Além do metabolismo energético, as mitocôndrias também desempenham papéis essenciais na sinalização, diferenciação e morte celular, bem como no controle do ciclo e crescimento da célula (Wesslink, *et al.*, 2019).

A mitocôndria é a principal organela responsável por transformar a energia retirada dos alimentos em energia útil às células, exercendo papel fundamental na manutenção de várias funções celulares (Pereira, *et al.*, 2016).

Segundo Pereira (2015, p. 95) a biogênese da mitocôndria é:

A atividade contrátil que inicia através de uma série de eventos fisiológicos e bioquímicos que levam à biogênese da mitocôndria. A biogênese é iniciada com um sinal, que tem sua magnitude relacionada com a intensidade e a duração do estímulo contrátil. É proposto que o exercício de *endurance* provoca um maior estímulo à biogênese dessa organela. Segundo Hood (2001) esse sinal influencia a ativação ou inibição de fatores de transcrição, o que afeta a taxa de transcrição do material genético, influencia a ativação de fatores de estabilidade do RNA mensageiro (mRNA), altera a eficiência da tradução e a cinética mitocondrial de importação de proteínas e, ainda, pode ter um efeito mais direto sobre a mitocôndria, iniciando a replicação ou transcrição do DNA mitocondrial (mtDNA) ou ter um efeito direto sobre a tradução do RNA mitocondrial (mtRNA) e na montagem de enzimas (Pereira, 2015, p. 95).

No início da atividade de contração muscular, ocorrem rápidos eventos que podem constituir parte do processo de sinalização inicial ligados à síntese de proteínas e lipídios. No entanto, em relação à biogênese mitocondrial, os eventos sustentados por evidências experimentais, senão os mais importantes, são a sinalização do cálcio e do ATP (Gundersen, 2011).

Quando liberado pelo retículo sarcoplasmático, o cálcio permite, na fibra muscular, a interação entre a actina e a miosina, sendo também reconhecido como um importante segundo mensageiro em variados tipos de células (Schmitt, *et al.*, 2014).

Elevações na concentração citosólica de cálcio podem ativar algumas quinases (calmodulina kinase II, proteína kinase C - PKC) e fosfatases que finalmente transmitem seus sinais para o núcleo, alterando a taxa de transcrição de genes. Aumentos no cálcio citosólico influenciam diretamente a taxa de respiração mitocondrial (Galloway, Lee & Yoon, 2012).

Dessa forma, o suprimento de ATP mitocondrial, ligado às alterações na homeostase do cálcio, pode desencadear a indução do sinal de via de tradução, ligado a fosforilação, transcrição e/ou fatores de estabilidade. Assim, o cálcio pode ser indicativo dos eventos de sinalização da atividade contrátil muscular, e um provável formador de parte de uma ampla série de sinais que mediam as modificações na síntese dos componentes mitocondriais (Gundersen, 2011).

Com relação ao ATP, é proposto por Gundersen (2011) que o aumento na respiração mitocondrial, ou o déficit entre a demanda celular de ATP e o suprimento mitocondrial de ATP, provê um estímulo para a indução sequencial de uma variedade de genes envolvidos na biogênese da mitocôndria (Gundersen, 2011).

A atividade contrátil muscular crônica produz biogênese mitocondrial no músculo esquelético. Essa adaptação resulta em uma significativa mudança no metabolismo, que reflete uma melhora no desempenho aeróbio (De Jesus & Santos, 2014).

Praticar regularmente exercícios induz profundas adaptações fisiológicas no músculo esquelético, sendo uma das mais importantes, o no aumento da capacidade da via oxidativa, que é refletida por incrementos na densidade mitocondrial e na atividade máxima de enzimas do processo mitocondrial de respiração celular (De Jesus & Santos, 2014).

O treinamento de resistência leva a adaptações que possibilitam a remoção e utilização do lactato, o que mantém sua contração sanguínea relativamente estável. Devido ao aumento da atividade enzimática da beta-oxidação, do Ciclo de Krebs e das adaptações relacionadas à biogênese mitocondrial, aumenta-se a produção de glóbulos vermelhos, bem como do fenótipo oxidativo das fibras musculares (Hughes, Ellfsen & Baar, 2018).

Em competência molecular, essas adaptações ocorrem por vias distintas que levam ao aumento, principalmente, da expressão de duas proteínas, a AMPK e a PGC-1 $\alpha$ , que induz à biogênese mitocondrial (Hawley, *et al.*, 2018).

Quanto maior o estresse energético, maior a ativação da AMPK. Isso pode ocorrer pela manipulação nutricional, já que a principal sinalização da via ocorre por diminuição do glicogênio muscular (Santos, 2016).

Assim, a AMPK age como um sinalizador intracelular do status de energia, respondendo ao grau (intensidade) da contração muscular através do aumento da fosforilação e atividade enzimática (Abreu, *et al.*, 2016).

### 3.3 Estratégias Nutricionais

A nutrição está diretamente relacionada com a atividade física. E por meio desta, pode-se melhorar a capacidade de rendimento do metabolismo, através de uma alimentação saudável e ingestão adequada de nutrientes (Martins & Maia, 2018).

O conceito de periodização de treino esportivo já é reconhecido desde 1950, porém relacioná-lo com as estratégias nutricionais é recente (Jackix & Santos, 2018).

Define-se “nutrição periodizada” como termo utilizado para descrever o planejamento nutricional em resposta a determinado período de treinamento.

Segundo Jeukendrup (2017):

Nutrição periodizada é o planejamento intencional e estratégico de intervenções nutricionais específicas com o intuito de potencializar as adaptações induzidas pela sessão de treino e pelo treinamento esportivo, resultando em melhora do desempenho em médio/longo prazo (Jeukendrup, 2017).

O método de periodização nutricional é atrelado ao objetivo que se pretende. Quando o objetivo é gerar adaptações para aumentar a oxidação de gordura e preservar o glicogênio muscular, no treinamento de resistência opta-se pelo baixo consumo de carboidratos para potencializar essas adaptações (Jackix & Santos, 2018).

Os fatores nutricionais tem influências potenciais que se empenham para o devido desempenho do exercício, induzindo a resposta inflamatória, danificando os sistemas antioxidantes e aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) que podem resultar na possibilidade de o atleta desenvolver atividades de alto desempenho como o *Endurance* (Fakhrabadi, *et al.*, 2019).

### 3.3.1 Jejum Intermitente

As respostas adaptativas do organismo para o treinamento físico de alta intensidade e de alta durabilidade estão correlacionados com a qualidade da dieta e quantidade de nutrientes diários introduzidos, seja no pré e/ou pós treino (Jackix & Santos, 2018).

Quando a ingestão ocorre em altas quantidades, pode promover um declínio nos fatores de adaptações ao treinamento. Em contrapartida, treinar com baixa disponibilidade de glicogênio e/ou carboidrato exógeno pode aumentar gradativamente algumas adaptações ao treino, sobretudo o de *Endurance* (Jackix & Santos, 2018).

O jejum intermitente é uma estratégia nutricional, caracterizada por formas distintas de intercalar períodos regulares de ingesta calórica, seguido por abstenção alimentar, geralmente superior a um jejum típico durante o sono noturno (Tinsley & La Bounty, 2015).

O jejum pode, ainda, ser denominado como a técnica fomentadora da ausência de ingestão alimentar por um determinado período de tempo, uma vez que não há uma definição precisa quanto à duração após a última refeição do indivíduo. Seus efeitos são adentrados em ajustes agudos e crônicos fisiológico, bem como seu impacto no metabolismo energético (Miranda, *et al.*; Maughan, Fallah & Coyle, 2010).

O jejum intermitente neutraliza os processos de doenças que envolvem a ativação de vias de sinalização de resposta celular adaptativa ao estresse oxidativo que melhoram a saúde mitocondrial (PUJOL, 2021).

### 3.3.2 Jejum Intermitente com restrição de tempo

A estratégia com restrição de tempo (TRF – Time Restricted Feeding) envolve um determinado número de horas de jejum diário, enquanto a alimentação é permitida nas horas restantes sem redução calórica. O TRF apresenta três variantes: a. 16/8 (16h de jejum, janela alimentar de 8h); 18/6 (18h de jejum, janela alimentar de 6h) e 20/4 (16h de jejum, janela alimentar de 8h) (Pujol, 2021).

O período sem alimentação pode ser diurno ou noturno. Estudos demonstram que a janela alimentar diurna é favorável à saúde do metabolismo, beneficiando o ciclo circadiano que regula o metabolismo e o comportamento humano (Ruderman & Cahill, 1976; *apud* Pujol, 2021).

### 3.3.3 Estratégia *Train Low, Sleep Low*

Segundo Almeida (2021):

a *Sleep Low* consiste em um treino de alta intensidade realizado ao final do dia com o objetivo de que seja feita a depleção do glicogênio. Ele segue de uma refeição com baixa quantidade de carboidratos antes do sono. Na manhã seguinte, o indivíduo faz o treino de *endurance* em jejum, e permanece sem o consumo de carboidratos nas horas posteriores, a fim de que as adaptações transcricionais esperadas em enzimas envolvidas no metabolismo lipídico e glicídico sejam verificadas, além da biogênese mitocondrial (Almeida, 2021).

Estudos evidenciam que, a fadiga é menor quando é ofertado ao atleta de *Endurance* uma dieta pobre em carboidratos (Kraemer, Fleck & Deschenes, 2016).

O método que preconiza a realização do exercício com redução da disponibilidade de carboidratos é conhecido como *train low*, onde estudos visam à melhora das adaptações metabólicas do músculo esquelético exigidas pelo treinamento de resistência (Jackix & Santos, 2018).

### 3.3.4 Dieta Cetogênica

A dieta cetogênica apesar de reduzir os estoques de glicogênio, permite que o organismo utilize como substrato a gordura corporal (Dahlke & Viana, 2016).

Trata-se de uma estratégia nutricional que consiste no alto aporte lipídico, proteína adequada e níveis insuficientes de carboidratos para necessidades metabólicas (< 20 g d<sup>-1</sup> ou 5% da ingestão diária total de energia), que simula o efeito do jejum, produzindo  $\beta$ -hidroxibutirato, acetoacetato e acetona (Padilha, De Oliveira & Da Silva Alves, 2018).

A abordagem com uma dieta cetogênica, ou seja, restrita em carboidratos e alto consumo de gordura, possibilita utilizar a gordura corporal como energia para a realização de exercícios físicos, havendo, no entanto, a necessidade de um período mínimo de 3 a 4 semanas de adaptação (Dahlke & Viana, 2016).

Quando a gordura é consumida metabolicamente, decompõe-se em glicerol e ácidos graxos livres, formando pares de dois compostos de carbono, denominados corpos cetônicos, do qual resulta um novo ácido graxo para ser usado como combustível energético (Padilha, De Oliveira & Da Silva Alves, 2018).

### 3.4 Os Efeitos das Estratégias Nutricionais para a Biogênese Mitocondrial e o Desempenho do Atleta de *Endurance*

A rede mitocondrial é dinâmica, sendo comum sua remodelação sob estresse, fazendo com que a célula seja mais responsiva aos estímulos e sensível à oferta de substratos pela glicólise ou pela demanda oxidativa celular (Silva, *et al.*, 2016).

Um ambiente rico em nutrientes está associado com a fragmentação da rede mitocondrial, enquanto o jejum tende a alongá-la. Dessa forma, o alongamento mitocondrial com o jejum é necessário para manter a produção adequada de ATP (Pereira, 2015).

A resposta do organismo ao jejum prolongado aumenta a eficiência bioenergética mitocondrial muscular. (Bourguignon, *et al.*, 2017). Segundo (Sparks, *et al.*, 2016), o efeito de jejum por 12 semanas só tem efetividade na biogênese mitocondrial se o indivíduo já possuir mitocôndrias mais eficientes.

A alta demanda por energia em meio a baixa oferta de substratos torna as mitocôndrias mais eficientes (Liesa & Shirihai, 2013). Observam-se as alterações biomoleculares, as quais o jejum intermitente está associado ao aumento na expressão à atividade das enzimas que são influenciadas pelas variações no balanço energético como, por exemplo, a proteína quinase ativada por AMP (AMPK) e as sutinas, que aumentam a biogênese mitocondrial, a partir da estimulação de PGC-1 $\alpha$  (Haigis, *et al.*, 2006 *apud* De Cabo & Mattson, 2019).

Sobre os efeitos energéticos, por outro lado, a contagem mitocondrial muscular é um dos importantes fatores na tolerância ao esporte. O exercício por conta própria induz efeitos mitocondriais da biogênese (MB) até 20% e 100%, a depender da duração do esporte como um mecanismo adaptativo para aumentar a tolerância a atividade (Fakhrabadi, *et al.*, 2019).

Corroborando com as pesquisas de Fakhrabadi, *et al.*, 2019:

Destaca-se que após a prática de exercícios com alta intensidade o fator de transcrição mitocondrial é aumentado e, subsequentemente, o genoma mitocondrial é duplicado. Dentro da mitocôndria PGC - 1 $\alpha$  denota-se que este não está diretamente ligado ao DNA mitocondrial (mtDNA) e encontra-se principalmente no meio de um complexo alojado na



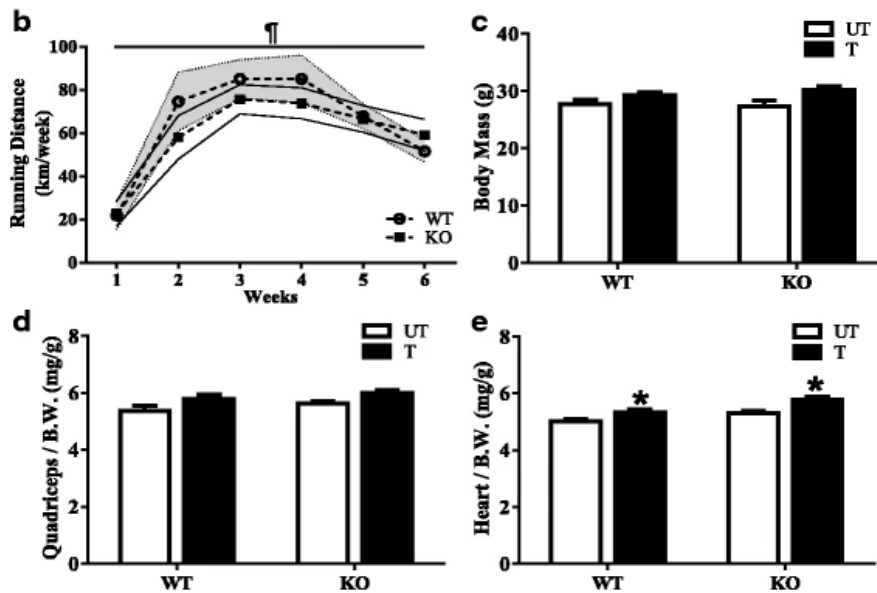
região estrutural do loop D do mtDNA. Isto significa que há um aumento no PGC-1 $\alpha$  e biogênese mitocondrial, uma vez que a estrutura do *D-loop* é detectada na área do mtDNA (Holloszy & Coyle, 1984; apud Chow, et al., 2007; apud de Fakhrabadi, et al., 2019).

Em particular, demonstra-se que a prática regular destes esportes favorece a biogênese mitocondrial e mitofagia que podem interagir com TFAM para aumentar a transcrição e replicação do mtDNA, bem como aumentar a massa mitocondrial. Além do mais, pode aumentar a expressão da proteína PGC-1 $\alpha$  através da regulação negativa do substrato de interação (Chen, Erlich & Hood, 2018).

Na Figura 1, evidenciam-se as características físicas dos praticantes de *Endurance*, denotando que nesta imagem, a massa corporal total, quadríceps e peso do coração dos atletas são medidos no final das 6 semanas de exercício voluntário.

As amostras destacam que não houve efeito significativo do genótipo ou do treinamento na massa corporal ou na massa muscular do quadríceps quando corrigido para o peso corporal.

**Figura 1** – Representação gráfica da distância de corrida voluntária (quilômetros por semana) entre atletas ( $n = 8$ ).



Fonte: Chen, Erlich & Hood (2018).

Ressalta-se que, tanto o jejum quanto a restrição energética ativam a rede celular sensível à energia AMPK-SIRT-PGC1 $\alpha$  para aumentar a produção de energia a partir da oxidação de gordura melhorando a resistência, porém alguns dados indicam que a deficiência na ingestão de carboidrato e aumento no aporte de gordura pode inibir o crescimento do AMPK, assim impactando negativamente na síntese de proteínas musculares (Pujol, 2021).

Estudos de Marquet e colaboradores (2016), examinaram que o efeito da estratégia *train low, sleep low* no músculo esquelético agudo e nas respostas de corpo inteiro a uma sessão de ciclismo em estado estacionário prolongado na manhã seguinte mostrou uma regulação positiva de vários marcadores de metabolismo lipídico, mas pouca mudança nas vias celulares envolvidas na biogênese mitocondrial do músculo esquelético (Marquet, et al., 2016).

O glicogênio muscular fornece a energia necessária para a execução dos mais diversos movimentos corporais, porém por um período limitado de tempo. Assim, o tempo de permanência em uma atividade muscular está relacionado com a quantidade de glicogênio disponível (Dahlke & Viana, 2016).

As reservas lipídicas, que podem fornecer uma grande quantidade de energia para o organismo, parecem não ser mobilizadas no momento que ocorre a depleção quase total do glicogênio, ocasionando fadiga e a interrupção da atividade. Um dos motivos para não utilização imediata da gordura corporal armazenada é que para ser oxidada demanda uma grande quantidade de oxigênio, manobra que prejudica a intensidade do exercício (Dahlke & Viana, 2016).

Estudos identificam que, embora a dieta cetogênica ofertando <50 g de carboidrato por dia possa melhorar a utilização de lipídeos durante o exercício prolongado, por outro lado, pode comprometer o desempenho do atleta de *Endurance*, particularmente a de alta intensidade, por via de regra, independentemente do nível de treinamento individual (De Abreu Perron, De Moura & Panza, 2018).

#### 4. Considerações Finais

Quando se fala de uma alteração física e metabólica, como eficiência na resistência, redução da fadiga e melhores índices, além da periodização nutricional, na maioria das vezes o indivíduo também deve aliar a atividade física para o alcance do objetivo.

A escolha de uma estratégia nutricional adequada e a periodização em consonância ao treinamento de *Endurance* podem beneficiar o atleta e otimizar o alto rendimento esportivo. Todas as estratégias mencionadas podem ser utilizadas nos treinos de menor intensidade e/ou quando a prioridade for potencializar adaptações ao treinamento de *Endurance*.

O *Endurance* auxilia no desempenho das vias energéticas obtidos nas atividades, uma vez que esta modalidade de esportes ocorre de forma intensa e promove a nível celular efeitos como indução da sinalização de PGC-1 $\alpha$ .

O conteúdo mitocondrial muscular, entretanto, é aumentado em resposta aos treinamentos intensivos ou de longa duração, além de atenuar o fluxo de mitofagia induzido por exercício nos indivíduos/atletas com uma menor taxa de degradação mitocondrial resultando na melhoria da qualidade da organela.

Em contrapartida, o treinamento incide em um maior conteúdo mitocondrial nos praticantes. Assim, a prática de exercícios, bem como treinamentos para o *Endurance* fornecem efeitos significativos nas células humanas.

Para concluir, os fatores nutricionais exercem grande influência no desempenho de atletas nos exercícios, induzindo a resposta inflamatória, danificando os sistemas antioxidantes e aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) que podem resultar na possibilidade do atleta desenvolver atividades de alto desempenho como o *Endurance*.

#### Referências

- Abreu, P., Leal-Cardoso, J. H., & Ceccatto, V. M. (2017). Adaptação do músculo esquelético ao exercício físico: considerações moleculares e energéticas. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 23, 60-65. <<https://www.scielo.br/rbme/a/nrVqz5ncsFTpzBrmvwhYfng/abstract/?lang=pt>>
- Abreu, P. et al. (2016). Effects of endurance training on reduction of plasma glucose during high intensity constant and incremental speed tests in Wistar rats. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 49. <https://www.scielo.br/j/bjmr/a/RJqWJTYyFFRPW6HMrkKBnQx/?format=pdf&lang=en>
- De Abreu Perroni, C.O.; De Moura, B. M.; Panza, V.S.P. (2018). Efeito da dieta cetogênica na capacidade de endurance e na utilização de substratos energéticos no exercício. *RBNE-Revista Brasileira De Nutrição Esportiva*, 12(73), 574-589.
- Almeida, F. (2021). Estratégia Sleep Low. <https://www.nutrifeliपालmeida.com/single-post/2017/10/02/estrat%C3%A9gia-sleep-low>.
- Alves, B. R. D., et al. (2019). Efeitos de duas dietas isoenergéticas na composição corporal de praticantes de treinamento funcional. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/12299>.
- Alves, R.L.S. (2021). Efeitos da prática do exercício físico em jejum e a oxidação de substratos. <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/61737>.
- Akbari-Fakhrabadi, M., et al. (2019). Effect of saffron (*Crocus sativus* L.) and endurance training on mitochondrial biogenesis, endurance capacity, inflammation, antioxidant, and metabolic biomarkers in Wistar rats. *Journal of food biochemistry*, 43(8), e12946. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfbc.12946>.
- Barbosa, H. C. (2021). O Efeito Do Exercício Físico Sobre As Alterações Epigenéticas Causadas Pela Lipotoxicidade No Diabetes Mellitus Tipo 2. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás. Jataí/GO, 01-63. <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/11308>.

Barros, A. J. P., & Neide, A. S. (1990). Projeto de Pesquisa: propostas metodológicas. Vozes.

BOURGUIGNON, T., *et al.* *Mitochondrial phylogenomics resolves the global spread of higher termites, ecosystem engineers of the tropics.* *Molecular Biology and Evolution*, 34(3), 589-597, 2017. Disponível em: < <https://academic.oup.com/mbe/article/34/3/589/2739698?login=true> >. Acesso em: 06 de outubro de 2021.

Caputo, F., *et al.* (2011). Exercício aeróbio: Aspectos bioenergéticos, ajustes fisiológicos, fadiga e índices de desempenho. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*, 11(1), 94-102.

Chen, C. C. W., Erlich, A.T., & Hood, D.A. (2018). Papel de Parkin e treinamento de resistência na renovação mitocondrial no músculo esquelético. *Journal BMC*.

Cherry, A. D., & Piantadosi, C. A. (2015). Regulation of mitochondrial biogenesis and its intersection with inflammatory responses. *Antioxidants & redox signaling*, 22(12), 965-976. <https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/ars.2014.6200> >.

Dahlke, A.P., & Viana, K. R. F. (2018). Revisão sistemática: dieta cetogênica e suas implicações na performance. *Kinesis*, 36, 1.

De Cabo, R., & Mattson, M. P. (2019). Effects of intermittent fasting on health, aging, and disease. *New England Journal of Medicine*. 381, 26, 2541-2551, <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmra1905136>.

De Jesus, G. M., & Mercês, S. (2014). Adaptações fisiológicas e morfológicas das mitocôndrias ao treinamento de Endurance. *Diálogos Possíveis*, 4(1), 201, <https://www.efdeportes.com/efd63/mitoc.htm> .

De Rezende, M. G., Tirapegui, J. (2018). *Revista Brasileira de Nutrição Esportiva, São Paulo*. 12(70), 160 – 169. ISSN 1981-9927. <http://www.rbne.com.br/index.php/rbne/article/view/994/746> .

Veganway. (2018). Dicionário Do Esporte: <https://veganway.com.br/dicionario-do-esporte-endurance/> .

Galloway, C. A., Lee, H., & Yoon, Y. (2012). Mitochondrial Morphology – emerging role in bioenergetics. *Free Radical Biology and Medicine*. 12(53), 2218-2228.

Galvão, F. G. R. (2017). Importância do Nutricionista na Prescrição de Suplementos na Prática de Atividade Física: Revisão Sistemática. *Revista e-ciência*, 5(1), 52-59. <http://www.revistafjn.com.br/revista/index.php/eciencia/article/view/245/245>.

Gastin, P. B. (2011). Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Medicine, Dallas*, 31(10), 725-741.

Gundersen, K. (2011). Excitation-transcription coupling in skeletal muscle: the molecular pathways of exercise. *Biological Reviews*. 3(86), 564-600.

Hawley, J. A., *et al.* (2018). Maximizing cellular adaptation to endurance exercise in skeletal muscle. *Cell metabolism*. 27(5), 962-976. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1550413118302572> .

Hughes, D. C., Ellefsen, S., & Baar, K. (2018). Adaptations to endurance and strength training. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 8(6), a029769. <http://perspectivesinmedicine.cshlp.org/content/8/6/a029769.short> .

Ide, B. N., & Rosa, G. C. (2019). Bases moleculares das estratégias de treinamento com baixa disponibilidade de Carboidrato. [https://www.researchgate.net/profile/Guilherme-Rosa-10/publication/336248145\\_Bases\\_moleculares\\_das\\_estrategias\\_de\\_treinamento\\_com\\_baixa\\_disponibilidade\\_de\\_carboidratos/links/5d9bdc4892851c2f70f402f7/Bases-moleculares-das-estrategias-de-treinamento-com-baixa-disponibilidade-de-carboidratos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Guilherme-Rosa-10/publication/336248145_Bases_moleculares_das_estrategias_de_treinamento_com_baixa_disponibilidade_de_carboidratos/links/5d9bdc4892851c2f70f402f7/Bases-moleculares-das-estrategias-de-treinamento-com-baixa-disponibilidade-de-carboidratos.pdf) .

Jackix, E.A., & Santos, G.B. (2018). Periodização nutricional do atleta de endurance. *Brazilian Journal of Functional Nutrition*.

Jeukendrup, A. (2014). A step toward personalized sports nutrition: carbohydrate intake during exercise. *Sports Med*.

Junqueira, L.C.U., & Junqueira, J.C. (2015). *Biologia Celular e Molecular*. (9ª ed). Guanabara Koogan.

Kraemer, W. J., Fleck, M. R., & Deschenes, M.R. (2016). *Fisiologia do exercício: teoria e prática*. (2ª. ed). Guanabara Koogan.

Liesa, M., & Shirihai, O. S. Mitochondrial networking in T cell memory. *Cell*, 166(1), 9-10, 2016. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867416308066> >. Acesso em: 03 de novembro de 2021.

Ma, S., & Suzuki, K. (2019). Keto-adaptation and endurance exercise capacity, fatigue recovery, and exercise-induced muscle and organ damage prevention: a narrative review. *Sports*, 7(2), 40. <https://www.mdpi.com/2075-4663/7/2/40> .

Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2010). *Técnicas de Pesquisa. Atlas*.

Marquet, L.A., Brisswalter, J., & Louis, J. (2016). Enhanced endurance performance by periodization by of carbohydrate “sleep low” strategy. *Med Sci Sports Exercise*.

Martins, A. D. B., & Maia, J. K. S. (2018). Avaliação do conhecimento e prescrição de suplementação esportiva por profissionais de educação física e seus efeitos sobre alunos de academias. *Revista Saúde em Foco*, nº 10, 725-738. <https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/09/084>.

Mcardle, William D. (2016). *Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano*. (8ª. ed.)

Miranda, I. E. F., *et al.* Jejum intermitente e exercício físico: efeitos crônicos em parâmetros de composição corporal e de desempenho físico. *Revista Ponteditora*. pp.34-43. [s.d.].

- Nogueira, A., et al. (2018). Exercise Addiction in Practitioners of Endurance Sports: A Literature Review. *Journal Front. Psychol.* [https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2018.01484/full?utm\\_campaign=6211273945&utm\\_term=2019\\_02\\_07\\_13\\_00&utm\\_medium=triathlonmania&utm\\_source=instagram&utm\\_content=105479879](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2018.01484/full?utm_campaign=6211273945&utm_term=2019_02_07_13_00&utm_medium=triathlonmania&utm_source=instagram&utm_content=105479879).
- Padilha, C.R.B., De Oliveira, C.V.C., & Da Silva Alves, C. (2018). A Dieta Cetogênica em Praticantes de Atividade Física: uma Revisão. *International Journal of Nutrology*, 11, S 01, Trab12.
- Pereira, B. (2015). Biogênese mitocondrial e exercício físico: hipótese do acoplamento elétrico-transcripcional. *Revista Bras. Educ. Fís. Esporte*. São Paulo/SP. n. 4(29). 687-703.
- Pereira, B. (2018). Mitocôndria: a cada de força da potência aeróbica e da resistência. Curitiba: CRV. 164.
- Pereira, E. F. B. B., & Borges, A. C. (2006). Influência da Corrida como Exercício Aeróbico na Melhora do Condicionamento Cardiorrespiratório. *Estudos: Vida e Saúde*, Goiânia, 33(7/8), 573-588.
- Prodanov, Cleber Cristiano. (2013). *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico*. (2ª Ed.) Novo Hamburgo: Feevale.
- Pujol, A. P. (2021). Estratégias Low Carb, Cetogênica & Jejum Intermitente. Camboriú: Ed. Do Autor. 516.
- Souza, D.P., et al. (2020). Lactato como substrato energético e a atividade carcinogênica: uma revisão. *Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício*. 1(19). 54-64.
- Sandoval, Armando. (2011). Introdução à fisiologia do exercício principais mecanismos. Pancorbo Sandoval AE. Medicina do esporte: princípios e prática - Porto Alegre: Artmed, [https://www.medicinanet.com.br/conteudos/revisoes/5972/introducao\\_a\\_fisiologia\\_do\\_exercicio\\_principais\\_mecanismos.htm](https://www.medicinanet.com.br/conteudos/revisoes/5972/introducao_a_fisiologia_do_exercicio_principais_mecanismos.htm).
- Santos, E. V. M., et al. (2014). Estratégias para predominância de organismos acumuladores de fósforo em sistemas de lodo ativado e respirometria aplicada à biodesfosfatação. <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/2247>.
- Santos, G. (2016). Periodização nutricional no endurance.
- Schmitt, F., et al. (2014). A plural role for lipids in motor neuron diseases: energy, signaling and structure. *Front. Cell. Neurosci.*
- Silva Ramos, E., Larson, N.G., & Mourier, A. (2016). Bioenergetic roles of mitochondrial fusin. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics*, 1857(8), 1277-1283.
- Sparks, L. M., et al. (2016). Metabolic Flexibility in Health and Disease. *Cell Metabolism*, 25(5), 1027–1036.
- Stellingwerff, T., & Cox, G.R. Systematic review: carbohydrates supplementation on exercise performance or capacity of varying durations. *Appl Physiol Nutr Metab*. 39, 998-1011. [s.d.].
- Tinsley, G. M., & La Bounty, P. M. (2015). Effects of intermittent fasting on body composition and clinical health markers in humans. *Nutrição Reviews*, 73, 10, 661–674, <https://www.futuremedicine.com/doi/abs/10.2217/fca-2017-0038>.
- Wang, Y., et al. (2018). Medium chain triglycerides enhances exercise endurance through the increased mitochondrial biogenesis and metabolism. *PloS one*, 13(2), e0191182. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0191182>.
- Volek, J. S., Noakes, T., & Phinney, S. D. (2014). Rethinking fat as a fuel for endurance exercise. *European Journal of Sport Science*. 15, Iss. 1.
- Wesselink, E. et al. (2019). Feeding mitochondria: Potential role of nutritional components to improve critical illness convalescence. *Clinical Nutrition*, 38(3), 982-995. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261561418324269>.