

# **GERONTOMOTRICIDADE**

**ENVELHECIMENTO ATIVO  
E SAUDÁVEL**

**EDITOR**

**FILIPPE RODRIGUES**

TÍTULO

**GERONTOMOTRICIDADE**

ENVELHECIMENTO ATIVO E SAUDÁVEL

EDITOR

**Filipe Rodrigues**

EDIÇÃO

História Carmim, Unipessoal Lda

geral@hc.com.pt

COMISSÃO DE TRABALHO

Filipe Rodrigues – Instituto Politécnico de Leiria

António Monteiro – Instituto Politécnico de Bragança

César Oliveira – Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Dalmo Machado – Universidade do Algarve

Dulce Esteves – Universidade da Beira Interior

Joana Correia – Instituto Politécnico do Porto

Luis Branquinho – Instituto Politécnico de Portalegre

Luis Leitão – Instituto Politécnico de Setúbal

Rafael Oliveira – Instituto Politécnico de Santarém

Pedro Duarte-Mendes – Instituto Politécnico de Castelo Branco

Rui Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra

Vânia Loureiro – Instituto Politécnico de Beja

COMISSÃO CIENTÍFICA

Alexandre Martins, Ana Pereira, André Bento, André Ramalho, André Schneider, Bebiãna Sabino, Carla Fonseca, Catarina

Gonçalves, Catarina Rondão, Cristiana Mercê, Cristiana Monteiro, Cristóvão Margarido, Diogo Mendes, Diogo Monteiro, Emerson

Sebastião, Fátima Ramalho, Fernanda Silva, Gonçalo Dias, Guilherme Eustáquio Furtado, Guilherme Furtado, Gustavo González-

Calvo, Helena Barbosa, Helena Ferreira-Barbosa, Henrique Neiva, Isabel Vieira, Joana Freitas, Joana Silva, João Brito, José Teixeira,

Luciano Bernardes Leite, Marco Branco, Margarida Gomes, Maria Vaz Pato, Miguel Jacinto, Nelson Valente, Nuno Amaro, Nuno

Loureiro, Nuno Pinto, Pablo Jorge Marcos-Pardo, Pedro Afonso, Pedro Bento, Pedro Forte, Pedro Pinto, Raul Antunes, Ricardo

Ferraz, Ricardo Madeira, Ricardo Martins, Ricardo Minhalma, Ricardo Pocinho, Rita Santos-Rocha, Rita Terruta, Rui Matos, Rui

Mendes, Rui Paulo, Rui Santos, Samuel Encarnação, Samuel Silvestre, Sílvia Silva, Sónia Brito-Costa, Tiago Barbosa.

DESIGN E PRODUÇÃO

História Carmim, Unipessoal Lda

geral@hc.com.pt

DEPÓSITO LEGAL

552618/25

IMPRESSÃO

Novembro, 2025

APOIO

WORKWELL, Unipessoal Lda - <https://workwell.pt/>

ACTIF Age, Lda - <https://www.actifonline/>

REDESPP - Rede de Escolas com Formação em Desporto do

Ensino Superior Politécnico Público - Portugal -

[www.redepolitecnicosdesporto.com](http://www.redepolitecnicosdesporto.com)

IMAGEM DE CAPA

banjongseal324 - istockphoto

CDU

613.9 Saúde e higiene em relação à idade, sexo, etnia

614 Saúde e higiene públicas. Prevenção de acidentes

796 Desporto. Jogos. Exercícios físicos

ISBN

Papel: 9789893600283

Ebook: 9789893600290

Catálogoção

Família: Desporto

Subfamília: Investigação em Desporto

**Workwell** **actif**  
Wellbeing for All - People & Workplaces



Copyright © 2025 | História Carmim, Unipessoal Lda e autores.

Todos os direitos reservados a História Carmim, Unipessoal Lda e autores.

A reprodução desta obra, no todo ou em parte, por fotocópia ou qualquer outro meio, seja eletrónico, mecânico ou outros, sem prévia autorização escrita, é ilícita e passível de procedimento judicial contra o infrator.

Este livro encontra-se em conformidade com o novo Acordo Ortográfico de 1990, respeitando as suas indicações genéricas e assumindo algumas opções específicas.

**#5**

# **GERONTOMOTRICIDADE**

**ENVELHECIMENTO ATIVO  
E SAUDÁVEL**

**EDITOR**

**FILIPE RODRIGUES**

# Índice

<b>INTRODUÇÃO AO ENVELHECIMENTO ATIVO E SAUDÁVEL .....</b>	<b>XV</b>
<b>1. ENVELHECIMENTO ATIVO .....</b>	<b>19</b>
1.1. Introdução .....	19
1.2. Atividade física e envelhecimento ativo: recomendações globais e benefícios para a saúde.....	21
1.3. O Vivifrail como intervenção multicomponente para o envelhecimento ativo.....	25
1.4. Mobilidade baseada na tecnologia: Promoção do envelhecimento ativo .....	27
1.5. Conclusões .....	30
Referências .....	31
<b>2. ENVELHECIMENTO FISIOLÓGICO .....</b>	<b>37</b>
2.1. Enquadramento .....	37
2.2. Desregulação da tradução de proteínas e o envelhecimento .....	40
2.3. Senescência celular e dieta no envelhecimento .....	41
2.4. Adaptações fisiológicas em atletas ao longo da vida .....	43
2.5. Adaptações microvasculares.....	45
2.6. Modulação fisiológica através do exercício físico .....	47
2.7. Conclusão.....	49
Referências .....	50
<b>3. ENVELHECIMENTO NEUROLÓGICO.....</b>	<b>55</b>
3.1. Introdução .....	55
3.2. Exercício físico.....	58
3.3. Psicomotricidade .....	59
Referências .....	60
<b>4. ENVELHECIMENTO E COMPOSIÇÃO CORPORAL .....</b>	<b>67</b>
4.1. Introdução .....	67
4.2. Métodos de avaliação da composição corporal.....	67
4.2.1. Densitometria radiológica de dupla energia .....	68
4.2.2. Tomografia computadorizada .....	69
4.2.3. Pletismografia por deslocamento de ar .....	70
4.2.4. Ultrassom .....	70
4.2.5. Scan 3D .....	71
4.2.6. Análise de impedância bioelétrica .....	71
4.2.7. Antropometria.....	72
4.2.8. Pregas subcutâneas .....	73
4.2.9. Circunferências.....	76
4.3. Alterações na composição corporal associadas ao envelhecimento .....	80

## 2. Envelhecimento fisiológico

**Pedro Forte<sup>1,2,3</sup>, Samuel G. Encarnação<sup>2,4</sup>, José E. Teixeira<sup>1,2,5,6</sup>, Luís Branquinho<sup>7,8</sup>,  
Luciano Bernardes Leite<sup>1,9</sup>, Filipe Rodrigues<sup>10,11</sup>, Pedro Afonso<sup>8,12</sup>, Nelson  
Valente<sup>7,8,13</sup>, António M. Monteiro<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Desporto e Educação Física, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Centro de Investigação para a Vida Ativa e Bem-Estar (LiveWell), Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>3</sup> Departamento de Desporto, Instituto Superior de Ciências Educativas do Douro, Penafiel, Portugal

<sup>4</sup> Escola Superior de Saúde, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>5</sup> Departamento de Desporto, Instituto Politécnico da Guarda, Guarda, Portugal

<sup>6</sup> Centro de Investigação e Inovação em Desporto, Atividade Física e Saúde (SPRINT), Instituto Politécnico da Guarda, Guarda, Portugal

<sup>7</sup> Centro de Investigação em Qualidade de Vida (CIEQV), Santarém, Portugal

<sup>8</sup> Escola Superior de Biociências de Elvas, Instituto Politécnico de Portalegre, Portalegre, Portugal

<sup>9</sup> Laboratório de Biologia do Exercício, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil

<sup>10</sup> ESECS – Politécnico de Leiria, Leiria, Portugal

<sup>11</sup> Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Vila Real, Portugal

<sup>12</sup> Departamento de Ciências do Desporto, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

<sup>13</sup> Centro de Investigação do Instituto Superior de Ciências Educativas (CI-ISCE), Penafiel, Portugal.

### 2.1. Enquadramento

O envelhecimento fisiológico é um processo multifacetado que envolve alterações ao nível celular, tecidual e sistémico. À medida que os indivíduos envelhecem, observa-se um declínio gradual de diversas funções fisiológicas, o que compromete a capacidade do corpo de manter a homeostasia e responder adequadamente a fatores de stress. Este processo de envelhecimento é influenciado por fatores genéticos, ambientais e de estilo de vida, que em conjunto determinam a taxa e a extensão do envelhecimento (Sames, 2020).

Um aspeto crucial do envelhecimento fisiológico é o impacto nos sistemas sensoriais, como o olfato. Com o avançar da idade, o sistema olfativo sofre alterações anatómicas e fisiológicas que podem comprometer o sentido do olfato. Estas mudanças estão associadas a diversos fatores fisiopatológicos

que contribuem para a disfunção olfativa (Doty & Kamath, 2014). De forma semelhante, o sistema linfático, responsável pela eliminação de resíduos no cérebro, é afetado pelo envelhecimento, o que pode ter importantes implicações para a saúde cerebral. Compreender os efeitos do envelhecimento em sistemas como o linfático é essencial para entender as mudanças relacionadas com a idade na função cerebral (Benveniste *et al.*, 2018).

Além disso, o envelhecimento fisiológico está intimamente ligado a mudanças na composição corporal. Com o avanço da idade, há um aumento progressivo da massa gorda e uma perda da massa corporal magra, o que pode afetar a saúde geral e a função metabólica (Strasser, 2012). Esta mudança na composição corporal faz parte de um espectro mais amplo de alterações relacionadas com a idade, que abrange modificações não só no tecido adiposo, mas também noutros tecidos e órgãos, contribuindo para o declínio geral da função fisiológica (Blokland *et al.*, 2020).

A nível celular, a proteostasia mitocondrial desempenha um papel fundamental na regulação do envelhecimento e da longevidade. Manter a função mitocondrial e os mecanismos de controlo da qualidade das proteínas é crucial para um envelhecimento saudável. Disrupções nestes processos podem acelerar o envelhecimento e conduzir ao aparecimento de doenças relacionadas com a idade (Jensen & Jasper, 2014). O exercício físico foi identificado como uma intervenção chave na promoção de um envelhecimento saudável, e uma prescrição de exercício geriátrico pode ajudar a contrariar as mudanças fisiológicas associadas ao envelhecimento, melhorando o bem-estar geral e a qualidade de vida em adultos mais velhos (Singh, 2002). A fragilidade, caracterizada pela perda da reserva fisiológica, é comum em indivíduos mais velhos que se submetem a cirurgias. A gestão da fragilidade no período perioperatório requer uma abordagem multidisciplinar para enfrentar a vulnerabilidade acrescida e os desafios fisiológicos enfrentados por pacientes cirúrgicos mais velhos (Subramaniam *et al.*, 2020). Além disso, as influências nutricionais na epigenética desempenham um papel significativo nas doenças relacionadas com a idade. As modificações epigenéticas podem influenciar o desenvolvimento de várias condições associadas ao envelhecimento, sublinhando a importância da nutrição para um envelhecimento saudável (Park *et al.*, 2011).

Do ponto de vista essencialmente hormonal, o sistema endocanabinoide também desempenha um papel na regulação da homeostasia energética e da função metabólica. O direcionamento deste sistema pode ajudar a gerir

## 2. Envelhecimento fisiológico

---

condições como a obesidade e a doença hepática gordurosa, destacando as conexões fisiológicas entre o sistema endocanabinoide e a saúde metabólica (Osei-Hyiaman *et al.*, 2006). Além disso, a glândula tiroide e as suas hormonas têm sido implicadas no processo de envelhecimento e nas doenças metabólicas. Compreender as vias de sinalização envolvendo as hormonas tiroideias pode oferecer insights sobre as alterações metabólicas relacionadas com a idade e possíveis alvos terapêuticos (Lange *et al.*, 2013).

O envelhecimento não é apenas um processo biológico, é também neurológico. A relação entre o envelhecimento neurológico e o envelhecimento fisiológico é crucial, particularmente em condições como a demência. Estudar os aspetos neurológicos do envelhecimento juntamente com as mudanças fisiológicas pode proporcionar uma compreensão abrangente do declínio cognitivo relacionado com a idade e dos distúrbios neurodegenerativos (Wu *et al.*, 2021). Adicionalmente, o sistema cerebrovascular sofre alterações com o envelhecimento, afetando a estrutura, a função e a cognição cerebrais. Estas mudanças na saúde cerebrovascular estão interligadas com o envelhecimento fisiológico e podem influenciar a saúde cerebral global em adultos mais velhos (Fabiani & Gratton, 2021).

A senescência celular é um aspeto fundamental do envelhecimento do organismo com implicações para doenças relacionadas com a idade e inflamação. A acumulação de células senescentes pode contribuir para um ambiente tecidual pró-inflamatório, ligando a senescência celular à inflamação e às patologias associadas (Sharma, 2024). Além disso, o sistema imunitário e a barreira hematoencefálica desempenham papéis críticos no processo de envelhecimento, particularmente em condições como a doença de Parkinson. Compreender a interação entre neurónios vulneráveis, o sistema imunitário e a barreira hematoencefálica é essencial para elucidar a fisiopatologia dos distúrbios neurodegenerativos relacionados com o envelhecimento (Bendig, 2024).

O envelhecimento fisiológico abrange uma ampla gama de alterações que ocorrem a diferentes níveis biológicos. Desde modificações nos sistemas sensoriais e na composição corporal até processos celulares e funções neurológicas, o envelhecimento afeta diversos aspetos da fisiologia humana. Compreender as interações complexas entre essas mudanças fisiológicas é crucial para desenvolver estratégias que promovam um envelhecimento saudável e previnam doenças relacionadas com a idade. Explorando as complexidades

do envelhecimento fisiológico, investigadores e profissionais de saúde podem esforçar-se para melhorar a qualidade de vida dos adultos mais velhos e enfrentar os desafios associados ao envelhecimento.

## **2.2. Desregulação da tradução de proteínas e o envelhecimento**

A tradução de proteínas é um processo fundamental na fisiologia celular, essencial para a síntese de proteínas que impulsionam várias funções biológicas. A relação entre a tradução de proteínas e o envelhecimento tem atraído significativa atenção na investigação científica (Anisimova *et al.*, 2018). Estudos demonstram que ocorrem alterações na síntese de proteínas e na precisão da tradução com o avanço da idade, afetando o proteoma e a função celular (Anisimova *et al.*, 2018). A desregulação da tradução de proteínas no envelhecimento pode levar a mudanças na qualidade e quantidade de proteínas produzidas, afetando a homeostasia celular e contribuindo para o declínio fisiológico relacionado com a idade (Anisimova *et al.*, 2018). Compreender as consequências destas alterações na síntese de proteínas é crucial para desvendar os mecanismos moleculares subjacentes ao processo de envelhecimento e desenvolver estratégias que visem a disfunção da tradução como meio de prolongar a longevidade (Anisimova *et al.*, 2018).

A investigação tem destacado o papel da expansão nucleolar e da tradução elevada de proteínas no envelhecimento prematuro, sublinhando a importância de manter mecanismos adequados de síntese proteica ao longo da vida (Buchwalter & Hetzer, 2017). A expansão dos nucléolos e o aumento da tradução proteica têm sido implicados no envelhecimento prematuro, enfatizando o impacto da desregulação da síntese de proteínas nos processos de envelhecimento acelerado (Buchwalter & Hetzer, 2017). Além disso, estudos demonstraram que as alterações na precisão traducional podem influenciar a longevidade e os resultados do envelhecimento (Martinez-Miguel *et al.*, 2021). A maior precisão da tradução tem sido associada a uma vida prolongada, sugerindo que manter mecanismos precisos de síntese proteica é essencial para um envelhecimento saudável (Martinez-Miguel *et al.*, 2021).

A interação entre a tradução de proteínas e o envelhecimento estende-se à senescência celular e à agregação de proteínas relacionada com a idade (Tanase *et al.*, 2016). Durante o envelhecimento fisiológico, há uma tendência

crescente para as proteínas se agregarem, com modificações pós-traducionais associadas ao stress oxidativo crónico contribuindo para essa agregação (Tanase *et al.*, 2016). Compreender como as alterações na tradução de proteínas e nas modificações afetam a agregação proteica durante o envelhecimento é crucial para elucidar os mecanismos subjacentes à desregulação da proteostasia associada à idade (Tanase *et al.*, 2016). Além disso, o controlo da precisão da tradução foi identificado como um determinante do envelhecimento saudável, sendo que a redução dessa precisão afeta negativamente os processos de envelhecimento (Haar *et al.*, 2017). Manter a fidelidade traducional é essencial para preservar a função proteica e a homeostasia celular durante o envelhecimento (Haar *et al.*, 2017).

Ademais, a modulação da tradução de proteínas tem sido associada à longevidade e a doenças relacionadas com a idade (Milholland *et al.*, 2017). Mudanças específicas da idade no mecanismo de tradução e nos fatores de tradução de mRNA têm sido observadas em vários organismos, destacando a importância da regulação da síntese proteica no processo de envelhecimento (Milholland *et al.*, 2017). A desregulação da iniciação ou da elongação da tradução pode afetar a proteostasia e contribuir para a agregação proteica, um conhecido impulsionador do envelhecimento (Clay *et al.*, 2022). Compreender como as alterações no mecanismo de tradução afetam a homeostasia proteica e os processos relacionados com o envelhecimento é crucial para desenvolver intervenções que atenuem o declínio da proteostasia associado à idade (Clay *et al.*, 2022). A desregulação na tradução de proteínas pode levar a desequilíbrios na proteostasia, agregação proteica e disfunção celular, contribuindo para o declínio fisiológico relacionado com a idade.

### 2.3. Senescência celular e dieta no envelhecimento

A senescência celular, um estado de paragem irreversível do ciclo celular, desempenha um papel crucial no processo de envelhecimento e nas doenças relacionadas com a idade. O impacto da dieta na senescência celular emergiu como uma área crítica de investigação, lançando luz sobre como os fatores dietéticos podem modular o fenótipo de senescência e influenciar os resultados do envelhecimento (Sone & Kagawa, 2004). Estudos demonstraram que uma dieta rica em gorduras pode induzir a senescência celular em vários tipos de células, contribuindo para a patogénese de condições como a diabetes tipo 2 (Sone & Kagawa, 2004). A desregulação da senescência celular em resposta

a fatores dietéticos sublinha a relação complexa entre a dieta, o envelhecimento celular e os distúrbios metabólicos.

A obesidade, frequentemente associada a dietas ricas em gorduras, tem sido ligada à promoção da senescência vascular, exacerbando a suscetibilidade a lesões isquêmicas e doenças cardiovasculares (Wang *et al.*, 2009). A ativação crônica de vias de sinalização como Akt e mTOR devido a uma dieta rica em gorduras pode acelerar a senescência vascular, conduzindo a disfunção vascular e aumento da suscetibilidade a doenças (Wang *et al.*, 2009). Compreender como a obesidade induzida pela dieta influencia a senescência vascular fornece insights sobre os mecanismos subjacentes às patologias vasculares relacionadas com a idade e oferece potenciais alvos para intervenções que possam mitigar os processos de envelhecimento vascular.

A senescência endotelial, uma característica marcante do envelhecimento vascular, pode ser influenciada por padrões de fluxo perturbado e fatores dietéticos (Warboys *et al.*, 2014). Estudos demonstraram que condições de fluxo perturbado promovem a senescência endotelial através de vias de mecanotransdução, contribuindo para a aterosclerose e disfunção vascular (Warboys *et al.*, 2014). A identificação de vias moleculares envolvidas na senescência endotelial induzida pela dieta destaca o papel da dieta na modulação dos processos de envelhecimento vascular e oferece oportunidades para o desenvolvimento de intervenções dietéticas para preservar a saúde vascular durante o envelhecimento.

A interação entre dieta, senescência celular e doenças relacionadas com a idade tem sido alvo de intensa pesquisa, com estudos a destacar o impacto dos componentes dietéticos nos processos de envelhecimento celular (Beck *et al.*, 2020). Dietas ricas em sal e gorduras têm mostrado acelerar a senescência endotelial e desencadear inflamação endotelial, exacerbando condições cardiovasculares relacionadas com a idade (Beck *et al.*, 2020). Ao elucidar os mecanismos através dos quais a dieta influencia a senescência celular, os investigadores podem descobrir novos alvos terapêuticos para combater patologias vasculares relacionadas com a idade e promover um envelhecimento saudável.

Além disso, a modulação da senescência celular hepática por componentes dietéticos tem sido investigada, revelando alterações na expressão de genes relacionados com a senescência em resposta a dietas ricas em gorduras (Zhang *et al.*, 2018). Os fatores dietéticos podem influenciar a expressão de

marcadores de senescência como p16(INK4a) e p21(Cip1), reguladores chave da paragem do ciclo celular e da senescência, em tecidos hepáticos (Zhang *et al.*, 2018). Compreender como os componentes dietéticos afetam a senescência celular hepática fornece informações sobre o papel da dieta no envelhecimento do fígado e nos distúrbios metabólicos relacionados com a idade, identificando potenciais estratégias para intervenções dietéticas que possam mitigar a senescência hepática e promover a saúde metabólica.

Em conclusão, a interação complexa entre dieta e senescência celular no envelhecimento sublinha a importância dos fatores dietéticos na modulação dos processos de envelhecimento celular e das doenças relacionadas com a idade. Ao desvendar os mecanismos através dos quais a dieta influencia a senescência celular, os investigadores podem identificar intervenções dietéticas para combater a acumulação de células senescentes e promover um envelhecimento saudável. Compreender o impacto da dieta na senescência celular fornece uma base para o desenvolvimento de estratégias dietéticas personalizadas para mitigar a disfunção celular relacionada com a idade e aumentar a saúde global.

### 2.4. Adaptações fisiológicas em atletas ao longo da vida

Os atletas competitivos passam por uma série de adaptações fisiológicas ao longo da vida, que influenciam o seu desempenho atlético e bem-estar geral. Alguns estudos demonstraram que atletas com alta capacidade de resposta ao treino, que atingem excelência em idades mais avançadas, frequentemente apresentam uma maior eficiência de desempenho atlético devido a longos períodos de treino e à experiência acumulada (Wang, 2024). Esses atletas geralmente passaram por regimes de treino rigorosos, permitindo-lhes atingir o pico de desempenho mais tarde nas suas carreiras e manter altos níveis de eficiência (Wang, 2024).

Os efeitos da idade e do sexo na aptidão aeróbica, no desempenho em sprints e na velocidade de mudança de direção em atletas do ensino secundário foram estudados, revelando que os atletas masculinos experimentam melhorias mais rápidas e globalmente maiores no desempenho devido ao aumento da massa muscular esquelética durante a puberdade (Hackett *et al.*, 2022). Este aumento de massa muscular contribui para um desempenho atlético aprimorado, particularmente em atividades que exigem potência explosiva e capaci-

dades de sprint (Hackett *et al.*, 2022). Compreender as mudanças relacionadas com a idade na massa muscular e o seu impacto no desempenho atlético é crucial para otimizar os programas de treino para atletas em diferentes estágios de desenvolvimento.

O desempenho dos atletas nos desportos é influenciado por uma combinação de tarefas de treino, fatores ambientais e talentos individuais (Lubay *et al.*, 2021). Os resultados de desempenho dos atletas são moldados pelas suas experiências de treino, predisposições genéticas e influências ambientais, destacando a complexa interação de fatores que contribuem para o sucesso atlético (Lubay *et al.*, 2021). Ao considerar essas influências multifacetadas no desempenho atlético, treinadores e cientistas desportivos podem adaptar programas de treino para maximizar o potencial dos atletas e otimizar os seus resultados.

A análise de desempenho no levantamento de peso tem sido instrumental na compreensão dos fatores que influenciam as melhorias anuais de desempenho dos atletas, com uma percentagem notável de melhoria ocorrendo dentro de períodos específicos (Ryoo *et al.*, 2022). Esta análise sublinha a importância de monitorizar o progresso dos atletas e identificar períodos críticos de melhoria de desempenho para otimizar as estratégias de treino e melhorar os resultados atléticos (Ryoo *et al.*, 2022). Ao utilizar dados de análise de desempenho, treinadores e atletas podem tomar decisões informadas para aumentar a eficácia do treino e atingir níveis máximos de desempenho.

O envelhecimento tem mostrado afetar o desempenho dos atletas em eventos de endurance, como a Maratona des Sables, com uma diminuição do desempenho observada em competidores com idades entre os 43 e os 80 anos (Tsoutsoubi *et al.*, 2018). A queda no desempenho relacionada com a idade destaca as mudanças fisiológicas que ocorrem com o envelhecimento e as suas implicações para os esforços atléticos (Tsoutsoubi *et al.*, 2018). Compreender como o envelhecimento influencia o desempenho atlético pode orientar estratégias de treino e competição para acomodar as mudanças relacionadas com a idade e otimizar os resultados de desempenho em atletas mais velhos.

A individualização, reajuste e codeterminação dos atletas no treino de alto desempenho têm sido enfatizados no atletismo e no voleibol, destacando a importância de personalizar os programas de treino de acordo com as necessidades e níveis de desempenho dos atletas (Sigmund & Güllich, 2021). Ao incorporar a idade dos atletas e o nível de desempenho como variáveis predi-

toras, treinadores e preparadores podem desenhar regimes de treino personalizados que abordem as necessidades específicas dos atletas e otimizem o seu desenvolvimento atlético (Sigmund & Güllich, 2021). Esta abordagem individualizada do treino pode melhorar os resultados de desempenho dos atletas e apoiar o seu sucesso a longo prazo nos desportos competitivos.

As adaptações fisiológicas em atletas competitivos ao longo da vida até ao envelhecimento são influenciadas por uma série de fatores, incluindo a capacidade de resposta ao treino, mudanças na massa muscular relacionadas com a idade, talentos individuais e o impacto do envelhecimento no desempenho. Ao considerar esses fatores e personalizar os programas de treino de acordo com as necessidades específicas dos atletas, treinadores e cientistas desportivos podem otimizar o desempenho atlético, apoiar o bem-estar dos atletas e promover a longevidade nos desportos competitivos

### 2.5. Adaptações microvasculares

A microvasculatura desempenha um papel crucial na regulação do fluxo sanguíneo, na troca de nutrientes e na perfusão dos tecidos, sendo a sua função influenciada tanto pelo envelhecimento fisiológico como pelo exercício físico. Pesquisas têm demonstrado que o exercício pode prevenir o declínio relacionado com a idade na função vasodilatadora mediada por óxido nítrico em microvasos cutâneos, sublinhando os efeitos benéficos do exercício na saúde microvascular (Black *et al.*, 2008). Além disso, a atividade física tem sido demonstrada como uma forma de melhorar a saúde microvascular da retina, servindo como um biomarcador da redução do risco cardiovascular e destacando o potencial do exercício na preservação da função microvascular durante o envelhecimento (Streese *et al.*, 2020).

A perfusão microvascular comprometida tem sido associada à disfunção vascular e resistência à insulina no músculo, enfatizando a importância de manter a função microvascular para a saúde metabólica (Clark, 2008). Estudos mostraram que doses fisiológicas baixas de insulina e exercício leve podem melhorar a perfusão microvascular sem aumentar o fluxo sanguíneo total, sublinhando o papel do exercício na promoção da saúde microvascular (Clark, 2008). Estes achados sugerem que as melhorias na perfusão microvascular induzidas pelo exercício podem contribuir para mitigar a disfunção vascular e a resistência à insulina relacionadas com a idade.

O exercício de resistência tem sido identificado como uma intervenção-chave na promoção de adaptações fisiológicas ao envelhecimento, particularmente no sistema cardiovascular (Phillips *et al.*, 2017). Ao melhorar a função endotelial e reduzir a pressão arterial, o exercício de resistência pode melhorar a função microvascular e contribuir para a saúde cardiovascular em idosos (Phillips *et al.*, 2017). Estas adaptações destacam o potencial do exercício para reverter as alterações vasculares induzidas pela idade e apoiar o envelhecimento saudável.

Além disso, o recrutamento de capilares musculares em resposta a refeições mistas e exercício leve tem demonstrado aumentar o volume microvascular muscular, facilitando a entrega de nutrientes e hormonas em indivíduos saudáveis (Vincent *et al.*, 2006). Este recrutamento capilar é uma resposta fisiológica vital que melhora a troca de nutrientes e apoia os processos metabólicos durante o exercício e estados pós-prandiais (Vincent *et al.*, 2006). Compreender as respostas microvasculares ao exercício e à alimentação pode fornecer insights para otimizar a entrega de nutrientes e a regulação metabólica em indivíduos envelhecidos.

O treino físico tem mostrado reverter a disfunção diastólica induzida pela idade e restaurar a função microvascular coronária, indicando o potencial do exercício na preservação da saúde cardiovascular com o envelhecimento (Hotta *et al.*, 2017). No músculo esquelético envelhecido, o treino físico pode reverter a disfunção endotelial e a desregulação da perfusão microvascular, destacando os efeitos benéficos do exercício na microvasculatura em idades avançadas (Hotta *et al.*, 2017). Estes achados sublinham a importância do exercício regular na manutenção da saúde microvascular e no suporte da função cardiovascular em indivíduos mais velhos.

O treino intervalado de alta intensidade (HIIT) tem demonstrado melhorar a reatividade vascular induzida pela atividade contrátil e a perfusão muscular esquelética em adultos mais velhos, sugerindo que o HIIT pode induzir adaptações microvasculares favoráveis em conjunto com o treino de resistência (Herrod *et al.*, 2021). A combinação de HIIT e treino de resistência pode oferecer benefícios sinérgicos na melhoria da função vascular e da perfusão muscular esquelética, particularmente em adultos mais velhos (Herrod *et al.*, 2021). Estas mudanças microvasculares sublinham o potencial de abordagens de treino multimodais na promoção da saúde vascular e da capacidade funcional em indivíduos envelhecidos.

As adaptações microvasculares com o envelhecimento fisiológico e o exercício desempenham um papel crucial na manutenção da saúde vascular e no suporte da função fisiológica geral. O exercício tem demonstrado melhorar a função microvascular, otimizar a troca de nutrientes e preservar a saúde cardiovascular em indivíduos envelhecidos.

### 2.6. Modulação fisiológica através do exercício físico

A relação entre as mudanças fisiológicas associadas ao envelhecimento e o impacto do exercício físico nessas mudanças é um tema de crescente interesse nos campos da gerontologia e da ciência do exercício. Pesquisas indicam que o desempenho em exercícios de resistência em atletas Masters é afetado por mudanças relacionadas à idade e mecanismos fisiológicos subjacentes (Tanaka & Seals, 2008). O declínio relacionado à idade no desempenho em exercícios de resistência está frequentemente ligado à redução na intensidade e volume dos exercícios, enfatizando a importância de compreender as mudanças fisiológicas que ocorrem com o envelhecimento e as suas implicações para o desempenho atlético (Tanaka & Seals, 2008).

Estudos sobre resistências vasculares pulmonares durante o exercício em indivíduos saudáveis têm sido conduzidos para entender a influência da idade na função vascular durante a atividade física (Kovács *et al.*, 2011). Estes estudos fornecem informações sobre como as alterações relacionadas com a idade na circulação pulmonar afetam as respostas vasculares induzidas pelo exercício, oferecendo uma visão sobre as adaptações fisiológicas no sistema cardiovascular associadas ao envelhecimento (Kovács *et al.*, 2011). Compreender as mudanças na resistência vascular durante o exercício pode levar a estratégias para melhorar a saúde cardiovascular em indivíduos mais velhos por meio de intervenções de exercício direcionadas.

As conexões e interações entre idade, exercício e função fisiológica têm sido investigadas para revelar os efeitos gerais do envelhecimento e do exercício em vários processos fisiológicos (Lazarus *et al.*, 2018). Tanto o envelhecimento quanto o exercício têm impactos significativos nos sistemas fisiológicos, afetando funções em vários órgãos e sistemas (Lazarus *et al.*, 2018). Ao explorar a inter-relação entre o envelhecimento e o exercício, os pesquisadores podem desenvolver uma compreensão abrangente de como esses fatores modulam a função fisiológica e a saúde geral em indivíduos mais velhos.

Estudos têm examinado fatores biológicos e metodológicos que influenciam a variabilidade na resposta ao treino de resistência para compreender as diversas respostas às intervenções de exercício entre os indivíduos (Meyler *et al.*, 2021). As variações na aptidão cardiorrespiratória em resposta ao treino de resistência podem ser atribuídas a uma variedade de fatores biológicos e metodológicos, destacando a complexidade das respostas individuais aos estímulos do exercício (Meyler *et al.*, 2021). Identificar esses fatores permite que os pesquisadores ajustem prescrições de exercícios para otimizar os resultados do treino e melhorar as adaptações fisiológicas em indivíduos envelhecidos.

O processo natural de envelhecimento em humanos e o papel do exercício na promoção de um envelhecimento saudável têm sido explorados para elucidar os efeitos protetores da atividade física nos sistemas fisiológicos (Lazarus & Harridge, 2018). O exercício regular demonstrou ter amplos efeitos protetores na função fisiológica, apoiando o processo de envelhecimento ao preservar a integridade fisiológica e a capacidade funcional (Lazarus & Harridge, 2018). Estas descobertas ressaltam a importância do exercício como modulador das mudanças fisiológicas relacionadas à idade e promotor de um envelhecimento saudável.

Pesquisas que utilizam protocolos de treino físico em coelhos têm sido utilizados em estudos cardiovasculares para investigar as mudanças fisiológicas induzidas por diferentes regimes de exercícios (Lozano *et al.*, 2020). Ao estudar as respostas fisiológicas ao exercício em modelos animais, os pesquisadores podem obter insights sobre as respostas adaptativas à atividade física e às suas implicações para a saúde cardiovascular (Lozano *et al.*, 2020). Compreender as adaptações fisiológicas ao exercício em modelos animais pode orientar prescrições de exercícios para indivíduos envelhecidos com o objetivo de otimizar os resultados de saúde.

Pesquisas extensivas foram conduzidas sobre as mudanças na fisiologia cardiovascular com o envelhecimento para elucidar alterações na função ventricular, doenças cardiovasculares e respostas ao exercício em adultos mais velhos (Cheitlin, 2003). As mudanças relacionadas à idade na função cardiovascular contribuem para várias condições cardiovasculares observadas nos idosos, ressaltando a importância do exercício na preservação da saúde e função cardiovascular durante o envelhecimento (Cheitlin, 2003). Ao examinar as mudanças fisiológicas no sistema cardiovascular com o envelhecimento,

os pesquisadores podem desenvolver intervenções de exercício direcionadas para mitigar as alterações cardiovasculares relacionadas à idade.

Explorar a modulação fisiológica em indivíduos envelhecidos através do exercício físico oferece valiosos insights sobre como o exercício influencia as mudanças relacionadas à idade na função fisiológica. Ao compreender a inter-relação entre envelhecimento e exercício em vários sistemas fisiológicos, os pesquisadores podem criar intervenções de exercício personalizadas para otimizar os resultados de saúde, promover um envelhecimento saudável e melhorar o bem-estar geral em indivíduos mais velhos. Integrar o exercício como uma estratégia preventiva e terapêutica pode desempenhar um papel fundamental na promoção de um envelhecimento bem-sucedido e na manutenção da integridade fisiológica na população envelhecida

### 2.7. Conclusão

A relação complexa entre a modulação fisiológica em indivíduos envelhecidos e o exercício físico tem sido alvo de extensa investigação, esclarecendo o impacto profundo do exercício nas alterações fisiológicas relacionadas com a idade. Através de uma revisão abrangente da literatura, é evidente que o exercício físico desempenha um papel fundamental na modulação de vários sistemas fisiológicos em indivíduos envelhecidos, oferecendo uma gama de benefícios para a saúde e promovendo o bem-estar geral.

Em conclusão, as evidências apresentadas neste capítulo sublinham o papel significativo do exercício físico na modulação das mudanças fisiológicas relacionadas com a idade e na promoção de um envelhecimento saudável. Ao praticar exercício regular, os indivíduos envelhecidos podem aproveitar os benefícios da atividade física para melhorar a função microvascular, a saúde cardiovascular e o bem-estar fisiológico geral. Investigações futuras devem continuar a explorar os mecanismos subjacentes às adaptações fisiológicas induzidas pelo exercício em indivíduos envelhecidos, de modo a otimizar as prescrições de exercício e promover um envelhecimento bem-sucedido através da atividade física.

## Referências

- Anisimova, A., Alexandrov, A., Makarova, N., Gladyshev, V., & Dmitriev, S. (2018). Protein synthesis and quality control in aging. *Aging*, 10(12), 4269-4288. <https://doi.org/10.18632/aging.101721>
- Beck, J., Horikawa, I., & Harris, C. (2020). Cellular senescence: mechanisms, morphology, and mouse models. *Veterinary Pathology*, 57(6), 747-757. <https://doi.org/10.1177/0300985820943841>
- Bendig, J. (2024). *Aging and Parkinson's disease: a complex interplay of vulnerable neurons, the immune system and the blood-brain barrier. Ageing and Neurodegenerative Diseases*, 4(1), 5. <https://doi.org/10.20517/and.2023.36>
- Benveniste, H., Liu, X., Koundal, S., Sanggaard, S., Lee, H., & Wardlaw, J. (2018). The glymphatic system and waste clearance with brain aging: a review. *Gerontology*, 65(2), 106-119. <https://doi.org/10.1159/000490349>
- Black, M., Green, D., & Cable, N. (2008). Exercise prevents age-related decline in nitric-oxide-mediated vasodilator function in cutaneous microvessels. *The Journal of Physiology*, 586(14), 3511-3524. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.153742>
- Blokland, K., Pouwels, S., Schuliga, M., Knight, D., & Burgess, J. (2020). Regulation of cellular senescence by extracellular matrix during chronic fibrotic diseases. *Clinical Science*, 134(20), 2681-2706. <https://doi.org/10.1042/cs20190893>
- Buchwalter, A. and Hetzer, M. (2017). Nucleolar expansion and elevated protein translation in premature aging. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00322-z>
- Clark, M. (2008). Impaired microvascular perfusion: a consequence of vascular dysfunction and a potential cause of insulin resistance in muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 295(4), 732-750. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.90477.2008>
- Clay, K. J., Yang, Y., Clark, C., & Petrascheck, M. (2023). Proteostasis is differentially modulated by inhibition of translation initiation or elongation. *eLife*, 12, e76465. <https://doi.org/10.7554/eLife.76465>
- Doty, R. and Kamath, V. (2014). The influences of age on olfaction: a review. *Frontiers in Psychology*, 5, 20. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00020>
- Fabiani, M., Rypma, B., & Gratton, G. (2021). *Aging and cerebrovascular health: Structural, functional, cognitive, and methodological implications. Psychophysiology*, 58(7), e13842. <https://doi.org/10.1111/psyp.13842>
- Jensen, M. and Jasper, H. (2014). Mitochondrial proteostasis in the control of aging and longevity. *Cell Metabolism*, 20(2), 214-225. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2014.05.006>

## 2. Envelhecimento fisiológico

---

- Lange, P., Cioffi, F., Silvestri, E., Moreno, M., Goglia, F., & Lanni, A. (2013). (healthy) ageing: focus on iodothyronines. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(7), 13873-13892. <https://doi.org/10.3390/ijms140713873>
- Lubay, L., Makmun, A., Juliantine, T., & Nuryadi, N. (2021). Effect of playing comprehension model on basketball playing skills. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 9(4), 15-19. <https://doi.org/10.13189/saj.2021.091303>
- Hackett, D., He, W., Fleeton, J., Orr, R., & Sanders, R. (2022). Effects of age and sex on aerobic fitness, sprint performance, and change of direction speed in high school athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(5), e325-e331. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004354>
- von der Haar, T., Leadsham, J. E., Sauvadet, A., Tarrant, D., Adam, I. S., Saromi, K., Laun, P., Rinnerthaler, M., Breitenbach-Koller, H., Breitenbach, M., Tuite, M. F., & Gourlay, C. W. (2017). The control of translational accuracy is a determinant of healthy ageing in yeast. *Open biology*, 7(1), 160291. <https://doi.org/10.1098/rsob.160291>
- Herrod, P., Atherton, P., Smith, K., Williams, J., Lund, J., & Piasecki, M. (2021). Six weeks of high-intensity interval training enhances contractile activity induced vascular reactivity and skeletal muscle perfusion in older adults. *Geroscience*, 43(6), 2667-2678. <https://doi.org/10.1007/s11357-021-00463-6>
- Hotta, K., Chen, B., Behnke, B. J., Ghosh, P., Stabley, J. N., Bramey, J. A., Sepulveda, J. L., Delp, M. D., & Muller-Delp, J. M. (2017). Exercise training reverses age-induced diastolic dysfunction and restores coronary microvascular function. *The Journal of Physiology*, 595(12), 3703-3719. <https://doi.org/10.1113/jp274172>
- Martinez-Miguel, V. E., Lujan, C., Espie-Caullet, T., Martinez-Martinez, D., Moore, S., Backes, C., Gonzalez, S., Galimov, E. R., Brown, A. E. X., Halic, M., Tomita, K., Rallis, C., von der Haar, T., Cabreiro, F., & Bjedov, I. (2021). Increased fidelity of protein synthesis extends lifespan. *Cell Metabolism*, 33(11), 2288-2300.e12. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2021.08.017>
- Milholland, B., Suh, Y., & Vijg, J. (2017). Mutation and catastrophe in the aging genome. *Experimental Gerontology*, 94, 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.02.073>
- Osei-Hyiaman, D., Harvey-White, J., Bátkai, S., & Kunos, G. (2006). The role of the endocannabinoid system in the control of energy homeostasis. *International Journal of Obesity*, 30(1), 33-38. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803276>
- Park, L., Friso, S., & Choi, S. (2011). Nutritional influences on epigenetics and age-related disease. *Proceedings of the Nutrition Society*, 71(1), 75-83. <https://doi.org/10.1017/s0029665111003302>

- Phillips, B. E., Williams, J. P., Greenhaff, P. L., Smith, K., & Atherton, P. J. (2017). Physiological adaptations to resistance exercise as a function of age. *JCI insight*, 2(17), e95581. <https://doi.org/10.1172/jci.insight.95581>
- Ryoo, H., Ryu, S., Kim, D., Jeong, H., Eun, D., & Suh, S. (2022). Importance of weightlifting performance analysis in anti-doping. *Plos One*, 17(2), e0263398. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263398>
- Sames, C. (2020). Age-related physiological changes: an overview. *Western Journal of Medicine*, 38-54. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-60912-8.00003-8>
- Sigmund, P. and Güllich, A. (2021). Individualisation, readjustment and athlete codetermination of high-performance training in athletics and volleyball. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(4), 772-781. <https://doi.org/10.1177/17479541211043183>
- Singh, M. (2002). Exercise comes of age: rationale and recommendations for a geriatric exercise prescription. *Journal of Gerontology Series A*, 57(5), 262-282. <https://doi.org/10.1093/gerona/57.5.m262>
- Sharma R. (2024). Exploring the emerging bidirectional association between inflammation-aging and cellular senescence in organismal aging and disease. *Cell biochemistry and function*, 42(2), e3970. <https://doi.org/10.1002/cbf.3970>
- Sone, H. and Kagawa, Y. (2004). Pancreatic beta cell senescence contributes to the pathogenesis of type 2 diabetes in high-fat diet-induced diabetic mice. *Diabetologia*, 48(1), 58-67. <https://doi.org/10.1007/s00125-004-1605-2>
- Strasser, B. (2012). Physical activity in obesity and metabolic syndrome. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1281(1), 141-159. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06785.x>
- Streese, L., Guerini, C., Bühlmayer, L., Lona, G., Hauser, C., Bade, S., Deiseroth, A., & Hanssen, H. (2020). *Physical activity and exercise improve retinal microvascular health as a biomarker of cardiovascular risk: A systematic review. Atherosclerosis*, 315, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2020.09.017>
- Subramaniam, A., Tiruvoipati, R., Lodge, M., Moran, C., & Srikanth, V. (2020). Frailty in the older person undergoing elective surgery: a trigger for enhanced multidisciplinary management – a narrative review. *Anz Journal of Surgery*, 90(3), 222-229. <https://doi.org/10.1111/ans.15633>
- Tanase, M., Urbanska, A. M., Zolla, V., Clement, C. C., Huang, L., Morozova, K., Follo, C., Goldberg, M., Roda, B., Reschiglian, P., & Santambrogio, L. (2016). Role of Carbonyl Modifications on Aging-Associated Protein Aggregation. *Scientific reports*, 6, 19311. <https://doi.org/10.1038/srep19311>
- Tsoutsoubi, L., Ioannou, L., Tânia, A., Georgios, T., & D, F. (2018). Effects of aging on performance during the marathon des sables: focus on athletes aged 53-80 years.

## 2. Envelhecimento fisiológico

---

*Journal of Geriatric Medicine and Gerontology*, 4[2]. <https://doi.org/10.23937/2469-5858/1510045>

- Vincent, M. A., Clerk, L. H., Lindner, J. R., Price, W. J., Jahn, L. A., Leong-Poi, H., & Barrett, E. J. (2006). Mixed meal and light exercise each recruit muscle capillaries in healthy humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 290(6), 1191-1197. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00497.2005>
- Wang, T. (2024). Early excellence and future performance advantage. *Plos One*, 19(6), e0306134. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306134>
- Wang, C. Y., Kim, H. H., Hiroi, Y., Sawada, N., Salomone, S., Benjamin, L. E., Walsh, K., Moskowitz, M. A., & Liao, J. K. (2009). Obesity increases vascular senescence and susceptibility to ischemic injury through chronic activation of Akt and mTOR. *Science signaling*, 2(62), ra11. <https://doi.org/10.1126/scisignal.2000143>
- Warboys, C. M., de Luca, A., Amini, N., Luong, L., Duckles, H., Hsiao, S., White, A., Biswas, S., Khamis, R., Chong, C. K., Cheung, W. M., Sherwin, S. J., Bennett, M. R., Gil, J., Mason, J. C., Haskard, D. O., & Evans, P. C. (2014). Disturbed flow promotes endothelial senescence via a p53-dependent pathway. *Arteriosclerosis Thrombosis and Vascular Biology*, 34(5), 985-995. <https://doi.org/10.1161/atvbaha.114.303415>
- Wu, J. W., Yaqub, A., Ma, Y., Koudstaal, W., Hofman, A., Ikram, M. A., Ghanbari, M., & Goudsmit, J. (2021). Biological age in healthy elderly predicts aging-related diseases including dementia. *Scientific reports*, 11(1), 15929. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95425-5>
- Zhang, X., Xu, G. B., Zhou, D., & Pan, Y. X. (2018). High-fat diet modifies expression of hepatic cellular senescence gene p16(INK4a) through chromatin modifications in adult male rats. *Genes & Nutrition*, 13, 6. <https://doi.org/10.1186/s12263-018-0595-5>