BioSCIENCE
Artigo de Revisão
DOI: https://doi.org/10.55684/2025.83.S2.e00005

O tecido adiposo bege é induzido pelo exercício físico?

Is beige adipose tissue induced by physical exercise?

Aglatha Maalli Santana[1], Alana Caroline Carvalho Chagas[1], Laura de Andrade Mazia[1], Rebeca Medeiros da Silva[1], Luana de Almeida Chagas da Silva[1], Irlena Monica Wisniewska de Moura[1]

RESUMO

Introdução: O tecido adiposo é dividido em amarelo, marrom e bege. O bege tem função termogênica em recém-nascidos e pesquisas recentes mostram seu potencial na melhoria da saúde metabólica em adultos, sendo sua síntese associada à prática de exercícios físicos e relacionada ao potencial tratamento da obesidade.

Objetivo: Apresentar a histologia do tecido adiposo, suas características gerais, formação, mecanismos bioquímicos e fisiológicos, bem como, a relação entre tecido adiposo bege, exercícios físicos e o tratamento da obesidade.

Método: Revisão bibliográfica narrativa composta por 27 artigos, disponíveis nas bases de dados PubMed e Scielo e livros técnicos científicos. Os descritores utilizados foram "beige adipose tissue", "exercise", e "adipose tissue".

Resultado: O tecido adiposo amarelo está relacionado com o armazenamento de triglicerídeos e manutenção energética; o marrom é primordialmente termogênico, seus adipócitos utilizam a energia contida nos triacilgliceróis para liberar calor; o bege é constituído pela junção dos adipócitos uniloculares e multiloculares, podendo imitar a função metabólica do tecido adiposo marrom quando estimulado. O hormônio irisina, estimulado pelo exercício físico, induz o mRNA da proteína desacopladora 1 que promove o escurecimento do tecido adiposo amarelo formando o bege. A atividade física regular aumenta a biossíntese mitocondrial elevando a capacidade oxidativa e termogênica do tecido adiposo bege; esse efeito pode ser benéfico contra a obesidade.

Conclusão: Exercícios regulares têm grande impacto na modulação do tecido adiposo bege, promovendo a conversão do amarelo em bege; também favorece o gasto energético e a secreção de moléculas de regulação metabólica. Assim, o exercício físico é grande aliado para tratar a obesidade, uma vez que estimula a formação do tecido adiposo bege.

PALAVRAS-CHAVE: Tecido adiposo bege, exercício, tecido adiposo

Mensagem Central

O tecido adiposo bege apresenta relevante função termogênica e metabólica, podendo ser induzido a partir do tecido adiposo amarelo por meio do exercício físico. A ativação de vias hormonais, especialmente mediadas pela irisina e pela proteína desacopladora 1, associa-se ao aumento do gasto energético e à melhora do perfil metabólico, configurando potencial estratégia adjuvante no tratamento da obesidade.

Perspectiva

A evidência de que o exercício físico modula positivamente o tecido adiposo bege reforça sua indicação como intervenção não farmacológica no manejo da obesidade. A aplicação desse conhecimento na prática clínica pode contribuir para abordagens terapêuticas mais eficazes, seguras e sustentáveis no controle das doenças metabólicas.

ABSTRACT

Introduction: Adipose tissue is divided into yellow, brown and beige. Beige has a thermogenic function in newborns and recent research has shown its potential for improving metabolic health in adults; its synthesis is associated with practice of physical exercise and related to the potential treatment of obesity.

Objective: To present the histology of adipose tissue, its general characteristics, formation, biochemical and physiological mechanisms, as well as the relationship between beige adipose tissue, physical exercise, and obesity.

Method: Narrative review, comprising 27 articles, available in PubMed and Scielo databases and technical scientific books. The descriptors used were "beige adipose tissue", "exercise", "adipose tissue".

Result: Yellow adipose tissue is related to the storage of triglycerides and energy maintenance. Brown is primarily thermogenic, its adipocytes using the energy contained in triacylglycerols to release heat. Beige consists of a combination of unilocular and multilocular adipocytes and can imitate the metabolic function of brown adipose tissue when stimulated. The hormone irisin, stimulated by physical exercise, induces the mRNA of uncoupling protein 1 which promotes the darkening of yellow adipose tissue, forming beige adipose tissue. Regular physical activity increases mitochondrial biosynthesis, increasing the oxidative and thermogenic capacity of beige adipose tissue. This effect may be beneficial against obesity.

Conclusion: Regular physical exercise has a great impact on the modulation of beige adipose tissue, promoting the conversion of yellow adipose tissue into beige, favoring energy expenditure and the secretion of metabolic regulation molecules. Thus, physical exercise is powerful ally in the treatment of obesity, as it stimulates the formation of beige adipose tissue.

KEYWORDS: Beige adipose tissue, exercise, adipose tissue

[1]Faculdade Evangélica Mackenzie do Paraná, Curitiba, PR, Brasil;

Conflito de interesse: Nenhum | Financiamento: Nenhum | Recebido em: 10/08/2025 | Aceito em: 27/10/2025 | Data de publicação: 28/11/2025 | Correspondência: aglathasa@gmail.com | Editor Associado: Thelma Larocca Skare

Como citar:
Santana AM, Chagas ACC, Mazia LA, da Silva RM, da Silva LAC, de Moura IMW. O tecido adiposo bege é induzido pelo exercício físico?. BioSCIENCE. 2025;83(S2):e00005

CC BY

INTRODUÇÃO

O tecido adiposo (TA) participa na formação da massa corporal dos indivíduos e representa 20% a 28% da massa corporal de indivíduo saudável, podendo chegar até 80% em pessoas obesas.[1,2] Primordialmente, o TA é formado por adipócitos, os quais são especializados e responsáveis por acumular triglicerídeos com o objetivo de armazenar energia que será, posteriormente, metabolizada para outras células do organismo.[1] O armazenamento de energia na forma de triglicerídeos, é exercida pelo tecido adiposo amarelo (TAA) e seus principais depósitos estão na derme e no tecido subcutâneo, ou seja no panículo adiposo.[1] Já o tecido adiposo marrom (TAM) é responsável pela dissipação de energia na forma de calor.[1] TA possui diversas funções, como a termogênica, fisiológica e endócrina.[1]

Recentemente foi descoberto o tecido adiposo bege (TAB), o qual é constituído por adipócitos uniloculares e multiloculares, ele é comumente localizado no tecido subcutâneo e sua origem pode estar associada à prática de exercícios físicos.[2]

Assim, o objetivo desta revisão foi apresentar além da histologia do tecido adiposo, suas características gerais, formação, mecanismos bioquímicos e fisiológicos, bem como, a relação entre tecido adiposo bege, exercícios físicos e o tratamento da obesidade.

MÉTODO

Revisão narrativa da literatura composta por artigos disponíveis nas bases de dados PubMed e Google Acadêmico realizada em abril de 2024. Os descritores utilizados foram "beige adipose tissue", "exercise", e "adipose tissue". A amostra final foi composta por 23 artigos.

DISCUSSÃO

O tecido adiposo é formado pelos adipócitos, os quais são responsáveis pelo acúmulo de triacilglicerois (TAGs) em gotículas, que ficam alojadas em seu citoplasma. Os TAGs têm origem em lipídios ingeridos que são absorvidos pelas células epiteliais do intestino delgado, em lipídios originados do fígado e transportados pela circulação sanguínea, em lipídeos sintetizados nas células adiposas, nas células hepáticas, nas musculares e em outras células a partir da glicose.[3] Eles ficam depositados na vacuola lipídica (vacúolo de armazenamento de lipídios), que contém energia suficiente para atender as necessidades energéticas de adulto saudável durante pelo menos 2 meses.[1,2]

Além disso, é tecido vascularizado cuja função é providenciar suporte para os órgãos, regulação energética e de processos fisiológicos, como manter a temperatura corporal, angiogênese, adipogênese e reestruturação da matriz extracelular.[1,2] As células constituem 30% do volume, do tecido, devido ao seu tamanho, e os outros 70% são representados por células endoteliais de capilares sanguíneos, fibroblastos, dentre outras células.[1] Há 3 tipos de tecido adiposo: amarelo, marrom e bege.[2]

Tecido adiposo amarelo

O tecido adiposo amarelo (TAA) ou unilocular é composto por adipócitos uniloculares, os quais são responsáveis por acumular TAGs na forma de gotícula lipídica e possui pouco conteúdo mitocondrial.[4] Histologicamente, a gota lipídica única preenche quase todo o citoplasma, pois são grandes e ausentes de membrana, deslocando o núcleo achatado para a periferia da célula.[2] Quando são utilizados solventes orgânicos durante a preparação das lâminas dos cortes histológicos, eles removem o conteúdo da gota, por esse motivo, o adipócito de forma isolada mostra ao microscópio óptico apenas delgada camada de citoplasma na periferia da célula em torno do espaço deixado pela gotícula lipídica removida.[2]

O TAA corresponde à maior parte de tecido adiposo nos seres humanos adultos e seu nome corresponde a sua cor, a qual pode variar entre branco e amarelo escuro dependendo da dieta ingerida, sendo que a cor amarelada vem, principalmente, de carotenos dissolvidos na gotícula de gordura que é vascularizado em menor quantidade comparado ao tecido adiposo marrom (TAM).[1,2]

Sua atuação está relacionada com o armazenamento e manutenção energética, também promove o isolamento térmico na pele e no tecido subcutâneo, pois a gordura não é boa condutora de calor.[2] Além disso, o TAA é responsável por absorver choques mecânicos, manter alguns órgãos em suas devidas posições e preencher espaços entre os tecidos.[2] TAA é também glândula endócrina, na qual lança seu conteúdo direto na corrente sanguínea, que sintetiza moléculas como a adiponectina, resistina e a leptina, um hormônio proteico que atua maioritariamente no hipotálamo, diminuindo a ingestão de alimentos e aumentando o gasto de energia.[2]

Tecido adiposo marrom

O tecido adiposo marrom (TAM) ou multilocular é composto por diversas gotículas lipídicas em menor tamanho no seu citoplasma, motivo pelo qual é denominado também de TAM.[4] Sua cor característica é resultado da grande quantidade de citocromos presentes nas mitocôndrias das suas células e de sua abundante vascularização por capilares sanguíneos.[2] Existe em pouca quantidade e com localização limitada no corpo, sendo na espécie humana mais abundante nos recém-nascidos que em adultos, devido à deficiente termorregulação dos recém-natos, ele colabora para manter a temperatura corporal.[2]

TAM é primordialmente termogênico, apresentando papel importante na termorregulação, em que seus adipócitos usam energia contida nos TAGs para liberar calor.[2] Fazem isso por meio de uma proteína denominada termogenina ou UCP1 (do inglês uncoupling protein 1), a qual desacopla a fosforilação oxidativa e a síntese de ATP, de modo que a energia gerada pelo fluxo de prótons nas mitocôndrias é dissipada em forma de calor.[2] Este calor emitido aquece o sangue que é distribuído por todo o corpo, aquecendo-o.[2]

Tecido adiposo bege

O tecido adiposo bege (TAB) é constituído pelos adipócitos uniloculares, do tecido adiposo amarelo (TAA), e multiloculares, do tecido adiposo marrom (TAM);

no entanto, ainda se tem dúvidas se é um terceiro tipo de tecido adiposo. Comumente é localizado no tecido subcutâneo, porém seus adipócitos parecem originar-se de diferentes precursores dos outros 2 tipos de tecido.[2] Seus adipócitos multiloculares são termogênicos, apresentando a proteína desacopladora 1 (UCP 1), assim como o TAM, em suas mitocôndrias, resulta na liberação de calor para os capilares sanguíneos.[2]

A origem de suas células é a partir de células mesenquimais.[2] Contudo, existem divergências sobre os precursores do TAB e alguns autores sugerem que seja provável transformação de adipócitos amarelos em bege.[2] Os bege possuem diversas gotículas lipídicas e são termogênicos e, assim como o TAM, possuem a UCP1, mais conhecida como termogênica, funcionando efetivamente como geradores de calor.[5]

Sua adipogênese

Boychenko et al.[6] apontam que o tecido adiposo bege sofre influência na transcrição por produtos químicos industriais (poluentes), desreguladores ambientais e por outras substâncias do ambiente externo, assim como a atividade de moléculas dietéticas fitoquímicas, impactam no processo de transdiferenciação conectados em elementos de transcrição. Ademais, os "compostos de pequenas moléculas", como os fibroblastos, células endoteliais e mioblastos funcionam como indutores dos adipócitos do TAA em adipócitos bege, bem como a regulação endócrina que influencia no processo de adipogênese, mas que é mais sensível aos xenobióticos.[6]

Seu potencial terapêutico em obesidade e doenças metabólicas

A ativação ou o aumento da quantidade de tecido adiposo bege em um indivíduo pode melhorar os níveis de glicose, colesterol, triglicerídeos, inflamação, ganho e perda de peso, sensibilidade à insulina e tolerância à glicose.[7] Essa teoria foi justificada por Gonzalez et al.[7] que mostraram que fragmentos microvasculares de humanos possuem potencial uso para gerar microtecidos adiposos que se assemelham às características genéticas e funcionais do TAB; com isso, o transplante desse tecido mostrou melhorias no metabolismo da glicose e na sensibilidade à insulina, bem como reduções na massa corporal e diminuição da adiposidade. Notou-se que a função metabólica dos tecidos adiposos bege foi essencial para obter resultados terapêuticos potenciais no tratamento da diabete e obesidade. Portanto, esse impacto fisiológico indica que os tecidos adiposos bege são opção terapêutica com potencial para o tratamento da obesidade e doenças metabólicas, apesar da compreensão do desenvolvimento do tecido adiposo bege em humanos ainda ser limitada.[7]

Produção hormonal

O tecido adiposo é considerado a maior glândula endócrina do corpo por manter o equilíbrio metabólico, através das secreções hormonais das adipocitocinas (interleucina 6, angiotensinogênio, adipocinas, leptina, adiponectina), peptídios e proteínas bioativas.[2]

A leptina e a adiponectina são os principais hormônios secretados por esse tecido.[8] A primeira é secretada de acordo com o tamanho dos adipócitos e quantidade de tecido adiposo.[8] Ela atua no sistema nervoso central diminuindo a ingestão de alimentos, aumentando o gasto energético, além de interferir em outros tecidos como o músculo esquelético, fígado e pâncreas.[8,9] Também existe o hormônio grelina, secretado pelo estômago e estimulado durante o jejum, que, juntamente com a leptina, está associado ao peso corporal, o tônus do sistema nervoso simpático e às respostas neuroendócrinas para, assim, coordenarem a homeostase.[10]

A adipocitocina influência no metabolismo ao promover a oxidação de ácidos graxos e redução da lipogênese, além de diminuir a deposição anormal de gordura no fígado e músculo.[8] Ela também estimula a captação de glicose pelo músculo e aumenta a oxidação de ácidos graxos tanto no músculo quanto no fígado, o que provoca maior sensibilidade à insulina.[8] A prática de exercícios físicos aumenta a produção desse hormônio, promovendo a regulação de seus receptores no músculo esquelético.[8]

Essa função endócrina do tecido varia de acordo com a sua localização, uma vez que adipócitos subcutâneos têm pouca capacidade de produzir adipocinas; já adipócitos que se localizam ao redor das vísceras secretam adipocinas em grande quantidade.[2]

Histogênese

As células adiposas são derivadas de células mesenquimais indiferenciadas. Para a formação de adipócitos formadores de tecido adiposo as células mesenquimais sofrem redução de seus prolongamentos citoplasmáticos, com isso começa a armazenar gotas de lipídios dentro do citoplasma, formando lipoblastos ou pré-adipócitos, células jovens, que quando amadurecerem formam adipócitos.[11] No decorrer da formação dos adipócitos do TAA, de início as gotículas lipídicas são pequenas e isoladas.[11] Posteriormente se juntam formando a gotícula única – caracterizando a célula adiposa unilocular.[1,12] Já nos adipócitos multiloculares do TAM suas gotículas lipídicas se mantêm separadas e, além da morfologia diferente, elas se diferenciam por receberem estímulos que diferenciam também suas funções.[11]

Muito se discute sobre os precursores do tecido adiposo bege (TAB) e pesquisas mostram que seja possível a transformação de adipócitos brancos em bege, que é constituído da combinação de adipócitos uniloculares do TAA e de adipócitos multiloculares do TAM – por isso a denominação TAB.[1] Destaca-se que, tal tecido, se localiza principalmente no tecido subcutâneo e se presume que suas células multiloculares originam-se de precursores distintos do TAA e TAM.[1]

Pesquisas apontam que a célula bege é um tipo de adipócito induzível pelo frio, rico em mitocôndrias e aparece no TAA. A atividade do TAM está significativamente relacionada com o desafio ao frio, o índice de massa corporal e a idade, que na verdade são adipócitos beges.[3] Durante a transição bege para amarelo, as mitocôndrias são degradadas no tecido adiposo pela ativação da autofagia.[3]

Relação do tecido adiposo bege com exercício físico

A atividade física traz muitos efeitos benéficos à saúde das pessoas, como prevenir ou retardar o aparecimento da diabete tipo 2, obesidade e doenças metabólicas.[13,14] Diversos estudos sugerem que tanto o exercício físico quanto a exposição a ambientes específicos podem estimular o tecido bege no tecido adiposo amarelo (TAA), pela capacidade das células beges de descartar o excesso de ingestão calóricas em calor, esse efeito pode ser benéfico contra a obesidade e síndrome metabólica, além de ser estimulado pelo exercício físico.[15] Os adipócitos beges são vistos intercalados no TAA, principalmente na parte subcutânea dele, e possuem morfologia semelhante aos adipócitos marrons.[14,16] Além disso, os beges expressam os marcadores distintos da superfície celular Tmem26 e Cd137, que quando estimulados apresentam capacidade aumentada de oxidação de combustíveis e termogênese.[14,16,17] Recentemente, os estudos começaram a analisar as adaptações introduzidas pelo exercício físico no tecido adiposo.[14]

O exercício físico pode induzir o desenvolvimento de tecido adiposo bege (TAB) no TAA, aumentando a biossíntese mitocondrial, o que contribui para a melhora da capacidade oxidativa e termogênica.[18,19] A irisina, um hormônio peptídico, estimula essa transformação. Primeiro, ela é secretada pelo músculo esquelético e pelos adipócitos, e ativada devido ao exercício do coativador-1α (PGC-1α), no qual promove a secreção do domínio da fibronectina tipo 3 contendo 5 (FNDC5) no músculo esquelético; em seguida, ele é clivado e, posteriormente, é produzida a irisina madura.[19]

O TAB após o término do exercício consegue manter a metabolização de combustíveis, contribuindo assim para o aumento do gasto energético.[5] Estudos em camundongos demonstraram que a irisina em níveis elevados após o exercício físico induz mRNA de UCP1, promovendo assim o escurecimento do tecido adiposo amarelo.[19,20]

A termogênese adaptativa, processo no qual o corpo regula a produção de calor em resposta às mudanças, como temperatura e ingestão calórica, é mediada principalmente pela UCP1.[15] O TAM é o único que contém UCP1 em condições normais, permitindo que a energia seja dissipada na forma de calor em vez de ser armazenada como ATP.[15] Foram investigadas várias modalidades e durações de exercícios (corrida voluntária em roda, corrida forçada em esteira e natação), em um estudo com roedores, nos quais identificaram aumento significativo de TAA subcutâneo no início, medido pelo aumento de marcadores de adipócitos marrons e beges (UCP1, Prdm16, Cidea, Elovl3, Dio2, Ppary, Pgc1α, Cox8b e otopetrin), além do aumento da imunofluorescência da UCP1 e a presença de células multiloculares.[18,20-22] Esses estudos indicam que a duração do exercício influencia a alteração na expressão da UCP1.[14]

O TAA é induzido a se transformar em TAB através da prática de exercícios, processo que envolve o mecanismo de crosstalk – mecanismo que controla o aparato contrátil, a pressão sanguínea e o volume circulante – entre o músculo esquelético e o tecido adiposo.[18] Portanto, a atividade física regular aumenta a biossíntese mitocondrial, a qual contribui para a melhora da capacidade oxidativa e o aumento do número de adipócitos bege no TAA, e também, essas células apresentam a capacidade de descartar o excesso de ingestão calóricas em calor; esse efeito pode ser benéfico contra a obesidade e síndrome metabólica.[18,19] O TAB, também possui UCP1 e pode imitar a função metabólica do TAM quando estimulado.[15] É relatado que o hormônio irisina, miocina estimulada pelo exercício físico, age transformando o tecido adiposo amarelo em bege.[15]

Tecidos adiposos bege e marrom e sua relação ao metabolismo oxidativo

O exercício aumenta a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS). Enquanto os exercícios agudos provocam aumento de estresse oxidativo nos músculos esqueléticos, os exercícios crônicos tendem a diminuir esse estresse.[18] Espécies reativas de oxigênio aumentam em indivíduos com obesidade e envelhecimento. Níveis excessivos de ROS levam à defesa oxidativa inadequada, causando estresse oxidativo, o que está relacionado às doenças como obesidade, diabete, cardiovasculares e neurodegenerativas.[18]

Radicais livres, incluindo ROS, são as principais causas do envelhecimento e produzidos principalmente pelas mitocôndrias. No entanto, o exercício físico aumenta a produção de tecido adiposo bege (TAB) e melhora a função do tecido adiposo marrom, o que pode proteger o corpo do estresse oxidativo.[18] O exercício induz o aparecimento de TAB no tecido adiposo amarelo (TAA), mediado por miocinas, proteínas secretadas pelos músculos contraídos que transmitem informações do músculo esquelético.[18]

Segundo estudos, o transplante de TAA submetido a exercício físico em camundongos sedentários resultou em melhora na captação de glicose nos músculos esqueléticos e no metabolismo do corpo como um todo. Isso provavelmente ocorre devido ao perfil alterado de adipocinas – incluindo adiponectina, leptina, interleucina 6 e fator de necrose tumoral alfa, entre outros – no tecido adiposo branco após o exercício físico.[23] Também é relatado que a expressão de receptores de adiponectina no tecido adiposo branco aumenta significativamente em humanos após 4 a 12 semanas de treinamento físico, assim como a expressão de UCP1.[23]

Outras miocinas induzidas por exercícios, como o fator de crescimento de fibroblastos 21 (FGF21), o fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF), o fator de crescimento endotelial vascular (VEGF), adiponectina, leptina, ácido β-aminoisobutírico, folistatina, meteorina-like, interleucina-6, lactato e succinato, têm efeito estimulante na expressão gênica termogênica nas células do TAA, induzindo o aparecimento de TAB ou promovendo a função do tecido adiposo marrom (TAM).[18] As miocinas, dessa forma, podem desempenhar papel central como mediadoras dos efeitos do exercício físico sobre os tecidos adiposos termogênicos.[18]

Desacoplamento na respiração mitocondrial protege contra o estresse oxidativo, pois as UCPs (proteínas desacopladoras) estão envolvidas no controle da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) nas

mitocôndrias.[18] Dessa forma, pode-se afirmar que os tecidos adiposos se adaptam ao exercício físico de muitas maneiras, como liberando adipocinas, produzindo gordura bege, promovendo a função da gordura marrom e, dependendo da intensidade e duração do exercício, elevação do ROS.[18] O efeito antioxidante do exercício físico se deve às enzimas antioxidantes que são induzidas pelo estresse oxidativo pós-treino.[18]

CONCLUSÃO

O tecido adiposo desempenha papéis importantes na fisiologia humana, sendo essencial para a regulação energética e termogênese. O tecido adiposo amarelo é responsável pelo armazenamento de energia e isolamento térmico, porém também atua na regulação do metabolismo. Por outro lado, o tecido adiposo marrom é fundamental na termogênese, principalmente em recém-nascidos, e na manutenção da temperatura corporal. Ademais, o tecido adiposo bege possui características intermediárias, entre os 2 tecidos anteriores, destaque no seu potencial terapêutico na obesidade e em doenças metabólicas. Além disso, a prática de exercícios regulares tem grande impacto na modulação do tecido adiposo, promovendo a conversão de tecido adiposo amarelo em bege. Os exercícios físicos aumentam a produção de miocinas, que induzem a formação do tecido adiposo bege, contribuindo para a melhora da saúde metabólica e proteção contra doenças associadas ao estresse oxidativo. Dessa forma, a compreensão das características e funções dos tecidos adiposos, bem como dos mecanismos de regulação, é essencial para o desenvolvimento de estratégias terapêuticas eficazes para o tratamento da obesidade e outras doenças metabólicas.

Contribuição dos autores:
Aglatha Maalli Santana – Conceituação
Alana Caroline Carvalho Chagas – Investigação
Laura de Andrade Mazia – Metodologia
Luana de Almeida Chagas da Silva – Análise formal
Rebeca Medeiros da Silva – Writing – Conceituação
Irlena Monica Wisniewska de Moura – Supervisão, administração do projeto

REFERÊNCIAS

1. Frigolet ME, Gutiérrez-Aguilar R. The colors of adipose tissue. Los colores del tejido adiposo. Gac Med Mex. 2020;156(2):142-49. https://doi.org/10.24875/gmm.m20000356
2. Junqueira LCU, Carneiro J. Histologia Básica: Texto e Atlas. (14th edição). Grupo GEN; 2023.
3. Lu X. Maintaining mitochondria in beige adipose tissue. Adipocyte. 2019;8(1):77-82. https://doi.org/10.1080/21623945.2019.1574194
4. Sponton CH, Kajimura S. Multifaceted Roles of Beige Fat in Energy Homeostasis Beyond UCP1. Endocrinology. 2018;159(7):2545-53. https://doi.org/10.1210/en.2018-00371
5. Nelson DL, Cox MM. Princípios de bioquímica de Lehninger. 7 Porto Alegre: Artmed, 2019, 853 p.
6. Boychenko S, Egorova VS, Brovin A, Egorov AD. White-to-Beige and Back: Adipocyte Conversion and Transcriptional Reprogramming. Pharmaceuticals (Basel). 2024;17(6):790. https://doi.org/10.3390/ph17060790
7. Gonzalez-Porras MA, Stojkova K, Acosta FM, Rathbone CR, Brey EM. Engineering Human Beige Adipose Tissue. Front Bioeng Biotechnol. 2022;10:906395. https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.906395
8. Baynes JW, Dominiczak MH. Bioquímica Médica. (5th edição).Grupo GEN; 2019.
9. Romero CEM, Zanesco A. O papel dos hormônios leptina e grelina na gênese da obesidade. Rev Nutr. 2006;19(1):85–91. https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000100009
10. Cui H, López M, Rahmouni K. The cellular and molecular bases of leptin and ghrelin resistance in obesity. Nat Rev Endocrinol. 2017;13(6):338-51. https://doi.org/10.1038/nrendo.2016.222
11. Aarestrup BJ. Histologia Essencial. Grupo GEN; 2012.
12. Gartner, Leslie P. Tratado de Histologia. Disponível em: Minha Biblioteca, (5th edição). Grupo GEN, 2022.
13. Crandall JP, Knowler WC, Kahn SE, Marrero D, Florez JC, Bray GA, et al. The prevention of type 2 diabetes. Nat Rev Endocrinol. 2008;4(7):382-93. https://doi.org/10.1038/ncpendmet0843
14. Dewal RS, Stanford KI. Effects of exercise on brown and beige adipocytes. Biochim Biophys Acta Mol Cell Biol Lipids. 2019;1864(1):71-8. https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2018.04.013
15. Phillips KJ. Beige Fat, Adaptive Thermogenesis, and Its Regulation by Exercise and Thyroid Hormone. Biology (Basel). 2019;8(3):57. https://doi.org/10.3390/biology8030057
16. Wu J, Boström P, Sparks LM, Ye L, Choi JH, Giang AH, et al. Beige adipocytes are a distinct type of thermogenic fat cell in mouse and human. Cell. 2012;150(2):366-76. https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.05.016
17. Seale P, Bjork B, Yang W, Kajimura S, Chin S, Kuang S, et al. PRDM16 controls a brown fat/skeletal muscle switch. Nature. 2008;454(7207):961-7. https://doi.org/10.1038/nature07182
18. Pan R, Chen Y. Management of Oxidative Stress: Crosstalk Between Brown/Beige Adipose Tissues and Skeletal Muscles. Front Physiol. 2021;12:712372. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.712372
19. Scheel AK, Espelage L, Chadt A. Many Ways to Rome: Exercise, Cold Exposure and Diet-Do They All Affect BAT Activation and WAT Browning in the Same Manner? Int J Mol Sci. 2022;23(9):4759. https://doi.org/10.3390/ijms23094759
20. Boström P, Wu J, Jedrychowski MP, Korde A, Ye L, Lo JC, et al. A PGC1-α-dependent myokine that drives brown-fat-like development of white fat and thermogenesis. Nature. 2012;481(7382):463-8. https://doi.org/10.1038/nature10777
21. Stanford KI, Middelbeek RJW, Townsend KL, Lee MY, Takahashi H, So K, et al. A Novel Role for Subcutaneous Adipose Tissue in Exercise-Induced Improvements in Glucose Homeostasis. Diabetes. 2015;64(6):2002–14. https://doi.org/10.2337/db14-0704
22. Trevellin E, Scorzeto M, Olivieri M, Granzotto M, Valerio A, Tedesco L, et al. Exercise training induces mitochondrial biogenesis and glucose uptake in subcutaneous adipose tissue through eNOS-dependent mechanisms. Diabetes. 2014;63(8):2800-11. https://doi.org/10.2337/db13-1234
23. Stanford KI, Middelbeek RJ, Goodyear LJ. Exercise Effects on White Adipose Tissue: Beiging and Metabolic Adaptations. Diabetes. 2015;64(7):2361-8. https://doi.org/10.2337/db15-0227