2.1 Recuperação e adaptação

2.1.1 O que é recuperação?

"Recuperação" é uma palavra usada com muita frequência nos esportes. Todos se convenceram de que a "recuperação" é importante, e a maioria dos times possui "estratégias de recuperação" traçadas. No entanto, é provável que, se você pedir que 10 pessoas definam o que é "recuperação", você obtenha 10 respostas diferentes. Por isso, é importante definir a palavra para evitar erros de interpretação. Além disso, todo mundo parece ter uma opinião sobre os alimentos que auxiliam na recuperação. As proteínas são os primeiros nutrientes em que muitas pessoas pensam... mas será que essa é realmente a parte mais essencial da recuperação?

"Recuperação" é um termo abrangente que se refere à restauração da capacidade de desempenho. Após uma sessão de treino intensa, o jogador está fatigado e a capacidade de desempenho é reduzida. Nas horas e dias após o exercício, o jogador vai se "recuperar" e a capacidade de desempenho voltará ao normal (podendo se tornar ainda melhor). O intervalo de tempo depende de muitos fatores, incluindo a intensidade do treino (intensidade e duração, bem como alguns fatores ambientais como altitude e calor), mas também depende dos métodos de recuperação utilizados, incluindo os nutrientes ingeridos.

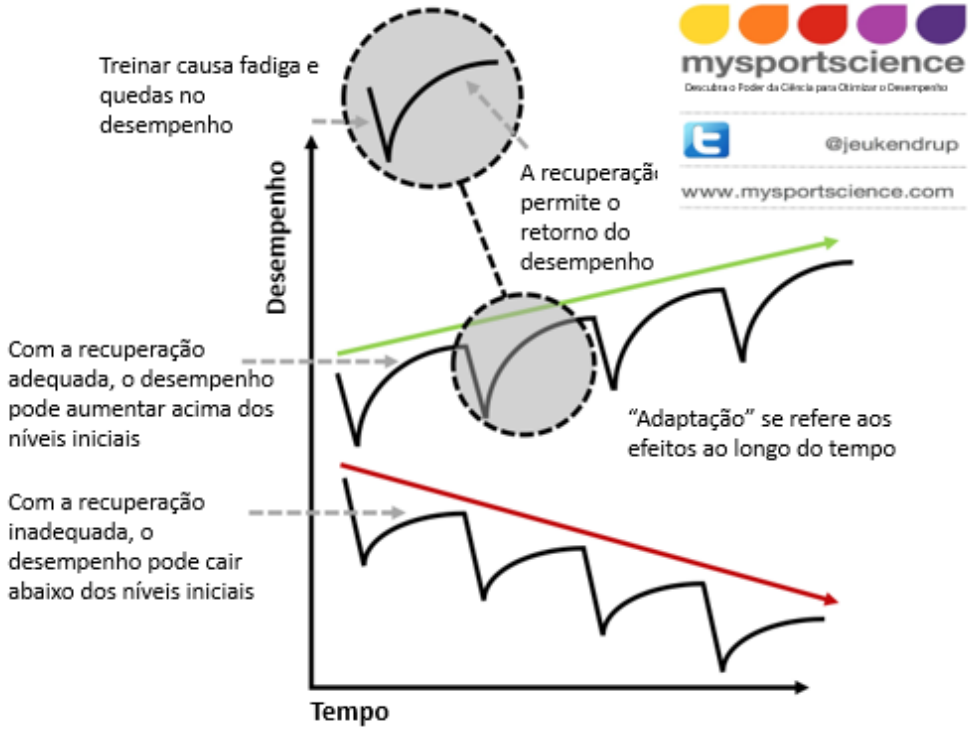
Então, uma definição rápida de recuperação é: a restauração completa da capacidade de rendimento em relação à capacidade antes do exercício. No entanto, é importante distinguir entre recuperação aguda ou rápida e recuperação em longo prazo ou adaptação. "A adaptação de longo prazo se refere às melhorias nos sistemas muscular e cardiovascular que, finalmente, resultam em melhorias no desempenho" (Jeukendrup, 2015, https://bit.ly/2TjKY9m). Frequentemente, o termo "recuperação" é utilizado para se referir tanto aos processos de curto quanto aos de longo prazo. Na maioria das conversas, as recuperações de curto e longo prazo são misturadas e "citadas como *recuperação*. Obviamente, as duas estão conectadas. Mas não são a mesma coisa!" (Jeukendrup, 2015, https://bit.ly/2TjKY9m).

Recuperação: restauração completa da capacidade de rendimento em relação à capacidade detida antes do exercício.

Adaptação: as melhorias nos sistemas muscular e cardiovascular, além de outros que, ao longo do tempo, resultarão em melhorias no desempenho.

Na Figura 1, podemos ver a recuperação aguda e a adaptação ao treino em longo prazo. "Recuperação" se refere aos efeitos agudos após um exercício, e adaptação" se refere aos efeitos em longo prazo de atividades repetidas de exercício e recuperação. Com intervenções nutricionais, podemos nos concentrar especificamente na recuperação em curto prazo, ou podemos melhorar os efeitos em longo prazo, que resultarão em adaptações melhoradas. Essas intervenções nutricionais serão discutidas nas seções a seguir.

Figura 1: Visualização de recuperação e adaptação



Fonte: Asker. J., 2018. Extraído de: http://www.mysportscience.com/

"Recuperação" diz respeito ao processo agudo após um único período de treino. "Adaptação" é a mudança que ocorre ao longo do tempo. Quando o tempo de recuperação é insuficiente, a adaptação pode ser afetada de forma negativa. No entanto, otimizar a recuperação também pode prejudicar a adaptação em longo prazo.

Especialmente nos últimos anos, ficou claro que o que pode ser bom para a recuperação aguda pode não necessariamente servir para a adaptação em longo prazo. Aqui há alguns exemplos:

- Estudos sugeriram que os antioxidantes podem reduzir a sensação de dor muscular e auxiliar na recuperação em curto prazo, mas doses altas também já foram associadas a benefícios reduzidos do treino em longo prazo. (Altas doses de antioxidante podem interferir com a

sinalização necessária para estimular a adaptação ao treino).

- Reduzir a inflamação com drogas não-estereoidais anti-inflamatórias (NSAIDs), como o ibuprofeno, pode auxiliar na recuperação em curto prazo bem como na redução da dor. No entanto, isso também pode prejudicar a adaptação em longo prazo.

- Os banhos de gelo podem, pelo menos, auxiliar a percepção de recuperação em curto prazo, mas podem reduzir a adaptação ao treino em longo prazo.

Existem muitos outros exemplos e, no geral, reduzir os sinais de estresse (o que pode ajudar na recuperação em curto prazo) também reduzirá os sinais necessários para a adaptação. Então, ao desenvolver uma estratégia de recuperação, sempre é importante ter em mente a principal meta: ser capaz de atuar horas depois, ou as metas principais vão ainda mais longe? Nas competições com muitas rodadas e apenas poucas horas ou dias entre elas, você vai querer otimizar todas as estratégias de recuperação em curto prazo. Ao se preparar para uma competição no início de uma temporada, a recuperação aguda nem sempre é a maior prioridade e pode ser melhor escolher uma estratégia que melhore a adaptação ao treino (Jeukendrup, 2015, https://bit.ly/2TjKY9m).

(Recuperação) parece ser um termo simples, mas na verdade é um pouco mais complexo. Não podemos apenas listar determinado número de alimentos e métodos para a recuperação que são utilizados em todas as ocasiões. Em vez disso, é necessário definir as metas e desenvolver estratégias condizentes (Jeukendrup, 2015, https://bit.ly/2TjKY9m).

Esta é uma parte da abordagem de nutrição periodizada discutida no módulo de **Nutrição Periodizada**.

2.1.2 Adaptação ao treino

Qualquer tipo de exercício resulta em adaptação que, se repetido com suficiente frequência, leva a melhorias nas funções e no desempenho fisiológico. Os treinos se utilizam desse princípio, planejando e implementando sistematicamente as atividades com o objetivo de otimizar a adaptação. Obviamente, o objetivo principal é melhorar o desempenho. As adaptações ocorrem em todos os níveis e em diferentes órgãos no corpo. Essas adaptações incluem, mas não estão limitadas a: aumento na capilarização, conversão rápido-a-lento do tipo de fibra muscular, aumento no tamanho do coração, aumento na massa mitocondrial e aumento na massa muscular. Há muitos anos, o resultado dos programas de treinamento só podia ser medido através da medição do desempenho (o que só precisava de um cronômetro). Com o desenvolvimento da tecnologia, passaram a ser utilizadas medidas substitutas como frequência cardíaca, VO2máx, e assim por diante. Para entender melhor essas mudanças fisiológicas, os eventos celulares passaram a ser estudados e, finalmente, as técnicas permitiram o estudo de mecanismos moleculares envolvidos nas adaptações ao treino. O processo de adaptação começa em nível molecular. Isso dispara eventos em nível celular, que podem causar mudanças fisiológicas e, finalmente, mudanças no rendimento (Jeukendrup & Gleeson, 2018) (veja a Figura 1). A discussão a seguir é, em parte, baseada em nosso recente livro sobre nutrição esportiva (Jeukendrup & Gleeson, 2018), mas quem quiser mais detalhes pode consultar diversas excelentes fontes publicadas recentemente: Coffey and Hawley (2007); Hawley, Lundby, Cotter, and Burke (2018); Holloszy and Booth (1976); Holloszy and Coyle (1984); Hughes, Ellefsen, and Baar (2018); Perry & Hawley (2018). Os efeitos da nutrição na adaptação também são discutidos em outras análises, como Craig et al. (2015) and Hawley (2013).

As adaptações aos exercícios ou **treinos** são específicas ao que está sendo realizado. Exercícios de alta intensidade (principalmente anaeróbicos) resultam em adaptações diferentes daquelas obtidas através de exercícios de intensidade moderada, mas de maior duração (aeróbicos). Os exercícios de resistência normalmente resultam em um fenótipo diferente dos treinos de tolerância. Com exercícios de resistência, a hipertrofia é uma das principais adaptações, enquanto o treino de tolerância não aumenta a massa muscular e pode, até mesmo, reduzi-la. Por outro lado, o treino de tolerância resulta em uma maior capacidade oxidativa, aumentando a resistência do músculo à fadiga. A Tabela 1 lista diversos tipos de adaptações aos exercícios (sejam eles de resistência ou de tolerância) (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Tabela 1: adaptação típica após treinos de tolerância e de força.

	Treino de tolerância	Treino de força
Densidade capilar	++	
Glicogênio muscular	++	++
Número de mitocôndrias	++	+
Densidade mitocondrial	++	+
ATP durante o repouso	_	+
PCR durante o repouso	_	+
Enzimas glicolíticas	_	+
Fosfofrutoquinase	_	+
Enzimas oxidativas	++	-/+
Succinato desidrogenase	++	+
Citrato sintase	++	+
HAD	++	+
Débito cardíaco máximo	++	+
Absorção máxima de oxigênio (VO_2 máx.).	++	+
Frequência cardíaca máxima	_	_
Volume de plasma	++	
Tamanho da fibra muscular	_	++
Oxidação de gordura	++	+

Fonte: (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

"++" significa que a maior parte dos estudos obteve este resultado, "+" significa que alguns estudos obtiveram este resultado, "-/+" significa que os resultados variam. "Nenhum sinal" significa que o efeito é inexistente ou desconhecido.

Treino de força

Os treinos de força ou de resistência resultam em uma série de adaptações no músculo, incluindo hipertrofia (um aumento na área transversal do músculo) e alterações nos padrões de recrutamento neural (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

"A hipertrofia muscular pode ocorrer através de dois processos: um aumento no número de núcleos dentro de cada fibra muscular ou um aumento no material contrátil suportado por cada núcleo" (Jeukendrup & Gleeson, 2018). Exercícios de resistência são um potente estímulo para a síntese de proteínas musculares. Na verdade, o aumento agudo na síntese de proteínas musculares após o exercício é muito mais expressivo e,

principalmente, muito mais duradouro do que as mudanças observadas após a alimentação.

Treino de tolerância

> Os treinos com exercícios de tolerância são caracterizados pelo desenvolvimento da resistência à fadiga, em parte, por causa do aumento na densidade mitocondrial e, além disso, nas proteínas mitocondriais. Além disso, ocorrem alterações nos padrões de recrutamento neural, no uso de substratos e no equilíbrio ácido-base. As reservas intramusculares de glicogênio, bem como as de triglicerídeos, aumentam após os treinos de tolerância, ainda que as quantidades contidas em ambos dependam do intervalo desde a última sessão de exercícios e da qualidade da nutrição no período pós-exercício. Dependência de carboidratos (glicogênio) conforme o combustível diminui, e aumento da capacidade de oxidar gordura. Essas mudanças fazem com que o glicogênio muscular seja poupado durante o exercício. Os treinos de tolerância não alteram expressivamente a fibra muscular, ainda que alguns estudos tenham observado um aumento de cerca de 20% na área transversal de fibras tipo I. Os treinos de tolerância podem aumentar o teor de proteínas mitocondriais do músculo de 50% a 100% em 6 semanas (Hoppeler & Fluck, 2003; Hoppeler et al., 1985) (esse aumento no tamanho e no número de mitocôndrias geralmente é chamado de biogênese mitocondrial). A densidade mitocondrial e atividade da enzima mitocondrial são ótimos indicadores do desempenho de tolerância. As adaptações ao treino são apenas temporárias. Por exemplo, se não for mantido um estímulo no treino de tolerância, as proteínas mitocondriais serão novamente separadas. Sua meia-vida dura apenas cerca de 1 semana (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

As adaptações só ocorrerão se a taxa de síntese de proteínas exceder a taxa de quebra das proteínas durante um período de tempo. O tipo de proteína sintetizado depende do tipo e da intensidade do treino realizado. Geralmente, o treino de resistência aumenta a massa muscular, mas não aumenta muito a capacidade oxidativa do músculo, ainda que alguns estudos tenham observado melhorias na atividade das enzimas oxidativas" (Jeukendrup & Gleeson, 2018). (citrato sintase; veja a tabela 1).

Foi demonstrado repetidamente que o exercício aumenta a síntese líquida de proteínas após exercícios de resistência e tolerância. Uma exigência é que a ingestão diária de proteína e energia sejam adequadas. Treinar sem

a ingestão adequada de proteína ou treinar com equilíbrio negativo de energia possui pouco ou nenhum efeito sobre as taxas de síntese de proteínas (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

> Ao estudar e interpretar a literatura científica referente a este tópico, é importante perceber que a maioria dos estudos considerou a síntese de proteínas musculares sem analisar especificamente quais proteínas são sintetizadas. É provável que, com os exercícios de resistência, ocorra predominantemente a síntese de actina e miosina, enquanto os exercícios de tolerância resultam principalmente na biogênese mitocondrial com pouca ou nenhuma mudança na síntese de proteínas miofibrilares (Wilkinson et al. 2008, https://bit.ly/2PMR7fS)

O aumento na síntese de proteínas após exercícios de resistência ou tolerância podem durar até de 2 a 4 dias após a última sessão de treino (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Os acionadores

> O complexo processo de adaptação no músculo esquelético induzida por exercícios começa com uma mistura de estresses que acionam eventos moleculares específicos. Esses estresses são diferentes para treinos de resistência e força: com os treinos de força, o estresse é principalmente mecânico, enquanto durante os exercícios de resistência acionam estresses principalmente metabólicos. Em todas as situações, a homeostase celular é perturbada e inicia uma cascata de eventos que, finalmente, resulta em uma adaptação. Essa adaptação certificará que haja menos perturbações homeostáticas da próxima vez que o mesmo exercício for realizado.

Geralmente, existem 4 categorias de estresses:

1. carga mecânica
2. ativação neuronal
3. ajustes hormonais e
4. distúrbios metabólicos.

> Uma combinação desses estresses aciona eventos moleculares específicos que, por sua vez, começam um aumento na síntese de proteínas. Alguns mecanismos de

sinalização são ativados pelo estresse do exercício, e esses mecanismos iniciam a replicação das sequências genéticas (genes) do ácido desoxirribonucléico (DNA), o que permite uma subsequente tradução do código genético em uma série de aminoácidos que sintetizam novas proteínas. Finalmente, o acúmulo dessas proteínas específicas resulta em adaptações aos treinos. Existem diferentes mecanismos de sinalização para diferentes tipos de treino. Esses eventos sinalizadores e os resultantes aumentos no ácido ribonucléico mensageiro (mRNA), bem como a síntese de proteínas específicas, dependem do tipo, intensidade e duração do exercício realizado, mas também da ingestão de determinados nutrientes. Abaixo, primeiro exploraremos os eventos de sinalização molecular envolvidos nas adaptações ao treino e os efeitos que diferentes formas de exercício e nutrição podem ter sobre esses eventos, bem como sobre seu resultado (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

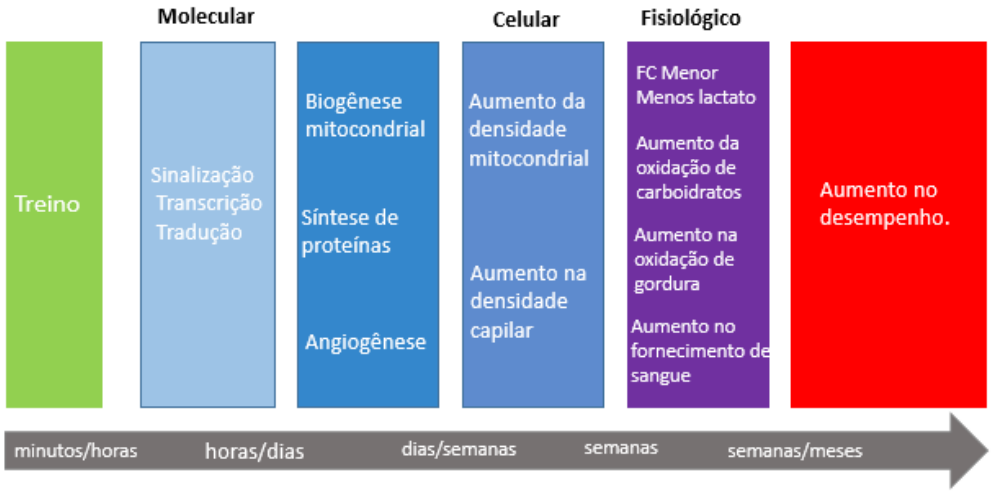
Na sessão acima, nós usamos o termo síntese líquida de proteína significando que a síntese das proteínas excede a sua quebra. No entanto, a quebra das proteínas também pode ser importante: proteínas velhas e danificadas devem ser removidas para que novas proteínas possam ser construídas. Assim sendo, a rotatividade de proteínas é o que realmente importa. A rotatividade de proteínas se refere ao aumento na taxa de síntese de proteínas e na quebra dentro do músculo. Aumentar a rotatividade de proteínas é essencial para restaurar as fibras musculares danificadas durante o exercício (treino ou competição).

“As proteínas são quebradas para substituir as fibras danificadas e fornecer um estímulo para a reparação muscular. Como resultado, a quebra de proteínas é proporcional à sua síntese” (Phillips, Tipton, Aarsland, Wolf, & Wolfe, 1997, https://bit.ly/2DF7eoC), “e atletas treinados podem reciclar os aminoácidos que são liberados pela quebra do músculo danificado” (Phillips et al., 1997, https://bit.ly/2DF7eoC), “resultando em músculos maiores e mais fortes quando a rotatividade é alta” (Baar & Heaton, 2015, https://bit.ly/2QuMLq1).

Os treinos podem ter efeitos profundos na rotatividade de proteínas, bem como na morfologia e no funcionamento muscular. Conforme discutido acima, diferentes tipos de treino têm efeitos distintos. Por exemplo, treinos de força resultam em hipertrofia muscular, aumento de massa muscular e na manutenção ou pequeno aumento da massa mitocondrial (Tang, Perco, Moore, Wilkinson, & Phillips, 2008). Treinos com exercícios, especialmente em esportes coletivos, na maioria das vezes consistem em

uma combinação de força e tolerância, e as melhorias em ambas dependem da intensidade relativa e da força necessária para concluir as sessões de treino. Independentemente da adaptação, a rotatividade de proteínas e a síntese líquida de proteínas são necessárias, e devem ocorrer na fase de recuperação entre as sessões de treino (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Figura 2: Diversos eventos moleculares e celulares precedem as adaptações fisiológicas e as mudanças que sustentam o desempenho.



Fonte: Jeukendrup & Gleeson, 2018.

Apenas a repetição de estímulos de treino durante longos períodos resultará nas mudanças fisiológicas necessárias.

2.1.3 O início da adaptação

“A síntese de proteínas é regulada pelas vias de transdução de sinais. Os sinais locais e sistêmicos são sentidos e computados, e regulam diversas funções celulares” (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

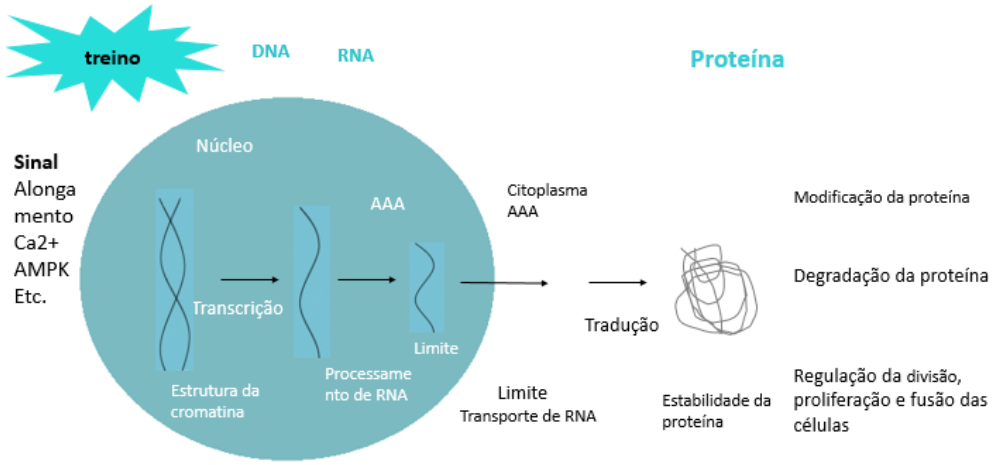
Vamos usar uma fábrica como analogia. Esses sinais são os pedidos que entram na fábrica. Existe uma demanda por certos produtos que devem ser produzidos. Os pedidos podem chegar por e-mail, telefone ou fax (diferentes sinais). Um funcionário será responsável por esses sinais e os passará à pessoa encarregada da produção. Essa mensagem entre o receptor dos pedidos e a pessoa que vai produzi-los é um exemplo de “mecanismo de sinalização”. No músculo, “os principais mecanismos de sinalização são a fosforilação de resíduos de serina, treonina e tirosina pelas quinases, e sua desfosforilação pelas fosfatases”. (Jeukendrup & Gleeson, 2018, https://bit.ly/2Q1cbP1).

Esses processos de fosforilação são iniciados por sinais como disponibilidade de nutrientes, pH, pressão parcial de oxigênios, espécies reativas de oxigênio (ROS) e estímulos mecânicos (os pedidos recebidos). Os sistemas endócrino e nervoso ainda oferecem outras contribuições. Nas células, esta mistura de sinais que muda constantemente é detectada através de proteínas sensoras específicas. Podemos citar receptores da membrana celular e aminoácidos, cálcio ou proteínas sensoras de AMP como exemplos. Posteriormente, a ativação da proteína sensora dispara uma cascata de reações. Essas cascatas de reações formam a conexão entre os sinais e a mudança na função celular. Então, na analogia com a fábrica: os pedidos chegam de formas diferentes e são processados pelos trabalhadores que, depois, repassam as informações para a equipe relacionada pela produção.

As proteínas quinases tipicamente fazem parte da cascata de reações que geralmente seguem a sequência de eventos ilustrados na figura X. Este modelo é simplificado demais, porque muitos sinais convergem ou derivam de outros. Essas vias de transdução de sinais podem influenciar diversos eventos celulares e, finalmente, resultam na alteração da função. A descrição geral anterior das vias de sinalização provavelmente se aplica à maior parte das células, na maioria das situações. Os detalhes dessas cascatas de sinalização, os acionadores, as proteínas e quinases envolvidas são diferentes em diferentes tecidos e situações. As vias de sinalização no músculo foram estudadas mais detalhadamente para entender as

adaptações nas células musculares em resposta aos exercícios (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Figura 3: Adaptações ao treino como resultado do aumento na síntese de proteínas em resposta a sessões repetidas de exercício



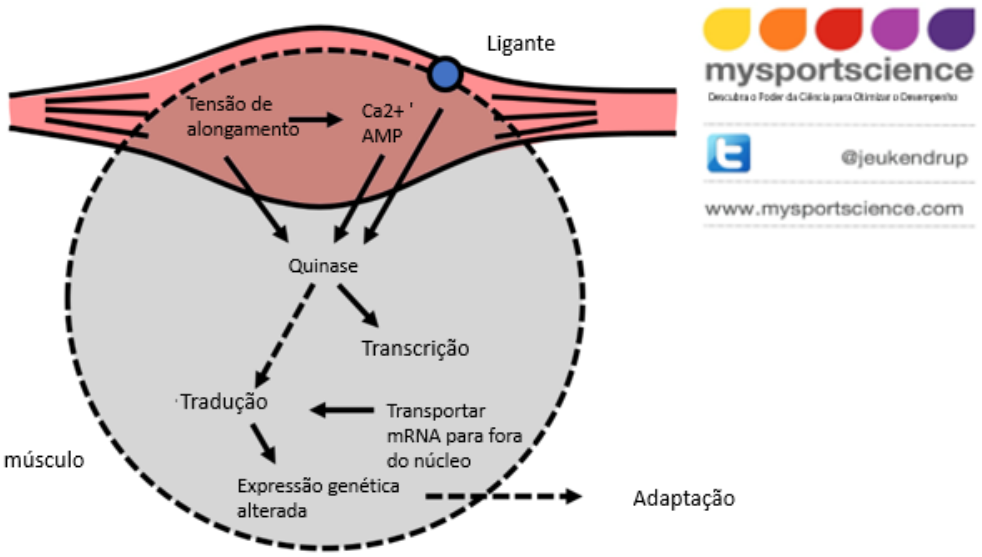
Fonte: Jeukendrup & Gleeson, 2018.

Acredita-se que uma sessão de exercícios faça com que um sinal transcreva DNA no núcleo em RNA, que então é transportado para fora do núcleo e traduzido em proteína. O sinal causado pelo estímulo do exercício determina quais proteínas são sintetizadas. A quantidade de proteínas é determinada não apenas pelo sinal, a transcrição e tradução, mas também pelo processamento de RNA e a estabilidade das proteínas.

"Os exercícios resultam em alongamento ou tensão muscular, mudanças nas concentrações de íons de cálcio intracelular (Ca^{2+}), mudanças na carga energética da célula e mudanças no potencial redox" (Jeukendrup & Gleeson, 2018) (Figura 3).

Certos hormônios e outros ligantes que podem se vincular aos receptores na superfície da célula podem alterar esses sinais. Esses mensageiros primários podem, então, acionar uma série de eventos moleculares secundários que aumentam ou diminuem a transcrição ou tradução, conforme descrito nas Figuras 3 e 4. O processo de síntese de proteínas foi iniciado. A sessão seguinte analisa detalhadamente os sinais primários.

Figura 4: O modelo simplificado da transdução de sinal em relação ao exercício.



Fonte: Jeukendrup & Gleeson, 2018.

A contração muscular pode resultar em perturbações homeostáticas. O estresse mecânico (alongamento, tensão), Ca^{2+}, e o acúmulo de AMP ou metabólitos são sinais primários que afetam o estado de fosforilação de várias quinases. Essas quinases podem influenciar o processo de transcrição, o transporte de mRNA para fora da célula e a tradução. Os hormônios e outros ligantes podem influenciar esses sinais. As alterações na expressão genética podem resultar em diferentes adaptações.

As vias de transdução de sinal controlam os seguintes processos:

1. Transcrição dos genes (sequências específicas de DNA) para mRNA
2. Tradução do mRNA em proteína
3. Modificação da proteína alterando a atividade catalítica
4. Regulação degradação da proteína
5. Regulação da divisão, proliferação e fusão das células

(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

2.1.4 Sinais em mais detalhes

"A base para a adaptação a qualquer treino é uma perturbação da homeostase. As alterações metabólicas ou mecânicas no músculo iniciam uma cascata de sinalização que resulta na quebra e sintetização de proteínas relevantes". (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Alongamento e tensão do músculo

Os efeitos mecânicos da contração muscular causam a ativação de diversas vias de sinalização (Figura 4). Especificamente, o alongamento muscular ou a tensão alterada podem induzir a ativação de e, mitógenos ativados por proteína quinase (MAPK), e cascatas de sinalização de fatores de crescimento semelhantes à insulina (IGF)". (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Ca^{2+}

A ativação neural do músculo esquelético gera uma ação em potencial que resulta na liberação de Ca^{2+} dos túbulos T da retícula sarcoplasmática. Quando o exercício é interrompido, o Ca^{2+} retorna do citoplasma à retícula sarcoplasmática. As flutuações na concentração de Ca^{2+} ou na liberação e reabsorção de Ca^{2+} na retícula sarcoplasmática são diferentes para diferentes tipos de atividades, o que pode, pelo menos em parte, explicar as diferenças na resposta de adaptação ao exercício. Exercícios de tolerância, por exemplo, resultam em concentrações mais prolongadas e moderadamente elevadas, enquanto exercícios de alta intensidade causam períodos mais curtos com concentrações muito altas de Ca^{2+}. As elevações na concentração de Ca^{2+} no citoplasma muscular ativam a calmodulina quinase (CaMK) e a calcineurina (CaN) (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Alterações no status de energia celular

Durante a contração muscular, o ATP é quebrado para fornecer energia. Neste processo, são formados ADP e Pi. Então, o ADP é ressintetizado como ADP pela glicólise ou pela fosforilação oxidativa. Alguns ADP ainda são quebrados e transformados em AMP. A taxa de metabólitos ADP, AMP e Pi referentes à do ADP são frequentemente chamadas de carga de energia. Se houver presença de muito ATP e poucos

metabólitos, a carga de energia será alta. Se a concentração de metabólitos aumentar, a carga de energia será baixa. Esses metabólitos são importantes reguladores do metabolismo, mas eles também servem como moléculas sinalizadoras. A AMP, especificamente, pode acionar a proteína quinase ativada por adenosina monofosfato (AMPK) de 5 minutos, um poderoso mensageiro secundário. A AMPK parece desempenhar um papel na regulação de diversos processos, incluindo a ingestão de glicose, a oxidação de ácidos graxos, hipertrofia e expressão genética. O potencial redox é outro indicador do status de energia da célula. Se a razão entre a forma oxidada da coenzima dinucleótido de nicotinamina e adenina (NAD+) e a sua forma reduzida (NADH) for alta, isso indica um baixo status de energia. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Radicais livres

A manutenção do potencial redox também produz moléculas de oxigênio de radicais livres voláteis (espécies reativas de oxigênio, ou ROS). Também se acredita que essas ROS desempenhem um papel na sinalização induzida por exercício, que finalmente, será responsável pelas adaptações ao treino. Esta sinalização pode funcionar pela ação da ROS sobre fatores de transcrição, como o fator nuclear kappa B (NFKB) e a proteína ativadora 1 (AP1). Embora os radicais livres sejam frequentemente discutidos quanto à sua relação com o envelhecimento e as doenças, eles também podem ser importantes para permitir adaptações ao treino. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Hormônios

Os hormônios também podem afetar a ativação das quinases. Um hormônio ou outros ligantes se vinculam a um receptor que, então, altera o status de fosforilação de uma quinase (Figura 4). Por exemplo, quando o hormônio da tireoide (triiodotironina, ou T3) se vincula ao seu receptor, o processo induz a fosforilação de AMPK no músculo esquelético.

Os mensageiros primários ativam uma série de mensageiros secundários. Muitas vezes, esses mensageiros secundários são quinases e fosfatases, que são ativadas para repassar o sinal induzido pelo exercício. Frequentemente, os mensageiros secundários envolvem uma complexa série de reações (cascatas), que são altamente reguladas. A seguir, discutiremos alguns dos mensageiros mais estudados.