



FATORES QUE INFLUENCIAM A QUANTIDADE NECESSÁRIA DE PROTEÍNAS PARA MAXIMIZAR A RESPOSTA ANABÓLICA DA MUSCULATURA APÓS EXERCÍCIO DE FORÇA

Publicado: Outubro de 2017/Autor: **Kevin D. Tipton, PhD**/ Tópicos: Proteínas, Nutrição Esportiva, Saúde do Atleta
Kevin D. Tipton, PhD | Universidade de Stirling | Stirling, Escócia | Reino Unido

- O princípio metabólico para as alterações na massa muscular é o balanço concreto de proteína muscular, por exemplo, o balanço entre a síntese de proteína muscular (SPM) e a quebra de proteína muscular (QPM). As alterações na SPM afetam em uma maior proporção as mudanças no balanço concreto das proteínas do que as mudanças na QPM
- Muitos fatores influenciam a resposta da SPM à ingestão de proteínas após exercícios de força. Contudo, a quantidade de proteína consumida em uma única porção após o exercício é o fator mais importante que determina a magnitude da resposta da SPM.
- O aumento na SPM quando há ingestão de maior quantidade de proteína não é infinito e atinge um platô com certa quantidade ideal de proteína ingerida.
- A quantidade ideal de proteína para se consumir após o exercício varia dependendo de um número de fatores, incluindo as características da sessão de exercício (exemplo, apenas perna em comparação com o corpo inteiro), a idade do indivíduo, tipo de proteína ingerida e possivelmente a quantidade de massa muscular que um indivíduo possui.
- A ingestão de 20-25g de proteína de alta qualidade parece ser suficiente para estimular ao máximo a SPM em jovens saudáveis do sexo masculino após exercício de força de perna apenas. No entanto, está claro que ingerir 20g de proteína não estimula ao máximo a SPM em todas as circunstâncias.
- A quantidade de proteína necessária para estimular a SPM ao máximo aumenta ao se exercitar com maior quantidade de massa muscular, com o aumento da idade e na ingestão de proteínas com composição inferior de aminoácidos.

LEITURA RECOMENDADA

Mai de 2018 SSE #180: Água Gelada e Gelo na Redução da Temperatura Corporal durante Exercícios no Calor

Agosto de 2018 SSE #182: Estratégia de Ingestão de Líquidos para Hidratação Ideal e Performance: Planejamento de Ingestão de Líquidos vs. Ingestão na Sede

Agosto de 2018 SSE #183: Gerenciamento de Peso Agudo em Esportes de Combate: Perda de Peso Prévia a Pesagem, Recuperação Pós Pesagem e Estratégias Nutricionais para Competições

INTRODUÇÃO

O músculo é um tecido importante para aqueles que realizam diariamente atividades físicas, fazem exercícios devido à saúde, por diversão ou treinamentos para competições; desde atletas de elite a atletas recreacionais, adultos mais velhos e pacientes hospitalizados. A importância do tecido muscular está associada na maioria das vezes com a locomoção e força. No entanto, a musculatura também pode ser o tecido mais importante para a saúde metabólica (Wolfe, 2006). Além disso, fatores que aumentam a manutenção e/ou crescimento da massa muscular fazem importantes contribuições para a saúde em geral. Dois fatores relacionados ao estilo de vida com maior influência sobre a massa muscular são a nutrição e o exercício/atividade física.

A regulação metabólica da síntese (SPM) e quebra (QPM) de proteína muscular, por exemplo, o balanço concreto de proteína muscular (BALC), determina as alterações na massa muscular. A massa muscular é adquirida por qualquer determinado período de tempo quando a SPM excede a QPM. O BALC flutua naturalmente entre períodos de BALC positivo (ganho de massa) e BALC negativo (perda de massa) durante o dia em resposta à dieta habitual e atividade física. A ingestão de nutrientes (principalmente a proteína) e o exercício regulam a SPM e a QPM, e portanto, o BALC. Especificamente: Exercícios de força aumentam a SPM no jejum, mas o BALC permanece negativo na ausência de aminoácidos adicionais das fontes de proteína alimentar (Biolo et al., 1995); a proteína alimentar estimula a SPM resultando em um período transitório de BALC positivo. A contribuição da SPM à resposta geral do BALC ao exercício e a nutrição é bem maior que a contribuição da QPM (Biolo et al., 1995, 1997; Phillips et al., 1997). Portanto, alterações na SPM explicam a maior parte das mudanças na massa muscular na

presença de treinamento e suporte nutricional.

Além disso, alterações na SPM em resposta ao exercício e à nutrição têm um papel maior na resposta adaptativa ao exercício através da reestruturação das proteínas musculares. Exercícios, e particularmente exercícios de força, melhoram a resposta da SPM aos aminoácidos derivados das proteínas alimentares (Biolo et al., 1997; Pennings et al., 2011; Witard et al., 2014). Assim, refeições contendo proteínas consumidas pelo menos nas 24 horas após uma sessão de exercícios resultam em depósito de proteínas e, em última instância, em alterações fenotípicas na massa muscular (Burd et al., 2011).

Há muitos fatores que influenciam as respostas da SPM à ingestão de proteína. O momento da ingestão da proteína em relação à sessão de exercícios, outros nutrientes ingeridos em conjunto com as proteínas, as características das proteínas (exemplo, composição de aminoácidos e propriedades digestivas) e a quantidade de proteína ingerida, todos impactam na resposta da SPM (Witard et al., 2016b). O padrão de distribuição da proteína por um período de tempo também parece influenciar a resposta metabólica (Areta et al., 2013). Destes fatores, a quantidade de proteína ingerida de uma única vez parece ter maior influência na resposta da SPM (Schoenfeld et al., 2013). Deste modo, este artigo do Sports Science Exchange (SSE) irá focar na resposta da SPM à quantidade de proteína ingerida em uma única porção. A evidência em relação à quantidade de proteína necessária para otimizar a resposta da SPM em uma única porção após o exercício em diversas circunstâncias e populações humanas serão examinadas. A discussão irá focar na resposta da SPM após exercícios de força, já que a maior parte da informação disponível é limitada a este tipo de exercício.

DOSE-RESPOSTA DA SÍNTESE DE PROTEÍNA MUSCULAR À INGESTÃO DE PROTEÍNAS NO PÓS-EXERCÍCIO EM INDIVÍDUOS JOVENS EM TREINAMENTO

A resposta aguda da SPM às maiores doses de proteína após exercícios de força não parece ser limitada em adultos saudáveis e com boa aptidão física. Moore e colaboradores (2009a) foram os primeiros a mostrar um aumento gradual na SPM quando homens em treinamento de força consumiram quantidades maiores de proteína do ovo após exercícios de força de perna apenas. A SPM aumentou progressivamente com doses maiores até 20g, mas não houve aumento posterior quando 40g foram consumidos. Além disso, a oxidação de aminoácidos aumentou após consumo de dose de 40g de proteína. Portanto, a resposta anabólica máxima após o exercício foi considerada sendo resultante da ingestão de 20g de proteína de alta qualidade e o consumo de mais de 20g foi desnecessário (Witard et al., 2016b). A ingestão de proteínas em quantidades maiores que 20g simplesmente resultou em uma maior utilização não-anabólica dos aminoácidos ingeridos sem aumento posterior da SPM.

O estudo de Moore et al. (2009a) foi o primeiro a examinar a dose-resposta da SPM à proteína ingerida, mas assim como em todos os estudos, permaneceram muitas questões não respondidas e o nosso laboratório empenhou-se em abordar algumas delas. No estudo de Moore et al. (2009a), a resposta controversa da SPM à proteína ingerida após o exercício foi medida após jejum noturno. É possível que a resposta tenha sido diminuída após a refeição anterior ("efeito muscular total"), alterando portanto, a dinâmica da dose-resposta (Atherton et al., 2020). Nós, então examinamos a resposta à ingestão de quantidades crescentes de proteína em homens em treinamento após o café da manhã e 3 horas antes do exercício (Witard et al., 2014). Além disso, a SPM miofibrilar foi medida (em contraste com a SPM de toda a musculatura) para determinar a resposta da fração de proteína muscular que mais contribui com alterações na massa muscular e força. A SPM miofibrilar aumentou com a ingestão de 20g de Whey Protein, mas não houve aumento posterior na resposta a 40g de proteínas após sessão de exercício de força de perna apenas. Desta forma, apesar de muitas diferenças metodológicas, estes resultados apoiaram a noção de que a SPM é máxima com a ingestão de ~20g de proteínas após exercícios de força de perna apenas, em jovens levantadores de peso, em boa forma física. Além disso, consistente com os primeiros resultados, a oxidação de aminoácidos (disposição não-anabólica) foi aumentada dramaticamente com a ingestão de 40g de Whey Protein (Witard et al., 2014). Em conjunto com os resultados de Moore et al. (2009a), foi claro que o aumento na SPM miofibrilar com doses crescentes de proteína, pelo menos após exercícios de força de perna apenas (no estado alimentado ou de jejum), não foi ilimitado. O excesso de aminoácidos não utilizados para a SPM com a ingestão de maiores quantidades de proteína é desviado para vias não-anabólicas, como a oxidação. Portanto, os resultados destes estudos têm sido utilizados para a realização de recomendações para a ingestão de proteínas no pós-exercício de não mais que 20-25g.

Um fator considerado importante para otimizar a quantidade

de proteína ingerida após o exercício é a massa muscular total do indivíduo consumindo a proteína (Breen & Phillips, 2011; Churchward-Venne et al., 2012b; Witard et al., 2016b). Está claro que a SPM é aumentada na musculatura em repouso após exercícios em outros músculos (Moore et al., 2009b; Witard et al., 2014) e que o transporte de aminoácidos é aumentado na musculatura tanto em repouso quanto quando exercitada pelos altos níveis de aminoácidos no sangue (Biolo et al., 1997). Este aumento no transporte resulta em maior incorporação destes aminoácidos (incluindo aqueles derivados da proteína ingerida) na proteína muscular (Pennings et al., 2011). Já que estes aumentos na SPM em última instância são limitados pela disponibilidade de aminoácidos para a incorporação à proteína, maior quantidade de massa muscular absorvendo aminoácidos a partir de uma quantidade limitada de proteína ingerida pode limitar a resposta em qualquer músculo; contrátil ou não. Portanto, parece intuitivamente lógico que indivíduos com maior massa muscular podem necessitar da ingestão de maiores quantidades de proteína para manter a disponibilidade dos aminoácidos para todos os músculos e estimular a SPM ao máximo. Portanto, é afirmado com frequência que a SPM pode não ser máxima após a ingestão de 20g de proteínas em indivíduos com maior quantidade de massa muscular (Churchward-Venne et al., 2012b; Witard et al., 2016b). A questão da influência da massa muscular na resposta da SPM para aumentar a ingestão das doses de proteína foi abordada através do recrutamento de levantadores de peso em boa forma física e os dividindo em dois grupos baseados nas suas medidas de massa magra corporal (MMC) (Macnaughton et al., 2016). Levantadores de peso com MMC de ≥ 70 kg foram colocados no grupo de alta MMC e aqueles com MMC ≤ 65 kg foram colocados no grupo de baixa MMC. A SPM foi medida após uma sessão de exercícios de força de corpo inteiro e com a ingestão de 20g ou 40g de Whey Protein. Nós levantamos a hipótese de que não haveria diferença na resposta da SPM ao ingerir 20g ou 40g de proteínas no grupo de baixa MMC, mas a resposta da SPM seria maior para 40g em comparação com 20g de proteínas nos indivíduos maiores. Curiosamente, e para a nossa surpresa, a resposta da SPM não diferiu entre os dois grupos de indivíduos com quantidades diferentes de musculatura. Deve ser enfatizado que uma sessão de exercícios de força de corpo inteiro foi realizada anteriormente à ingestão neste estudo (Macnaughton et al., 2016) em contraste aos estudos anteriores de perna apenas (Moore et al., 2009a; Witard et al., 2014). E ainda, parece que a quantidade de músculos envolvidos ativamente no exercício anteriormente à ingestão de proteínas pode ser mais importante que a quantidade geral de músculos em um determinado indivíduo. Também é importante notar que, até o momento, nenhum estudo comparou diretamente a resposta da SPM em relação às diferentes doses de proteína em exercícios de força de perna apenas em comparação com exercícios de corpo inteiro. Esta comparação precisa ser realizada antes de poder ser concluído com certeza que a diferença entre estes estudos é devido à quantidade de massa muscular envolvida no exercício. Parece provável que uma dose de 40g de proteínas iria resultar em maior SPM em indivíduos maiores após sessão de exercícios de força de perna apenas, mas não nos exercícios de corpo inteiro.

Um resultado surpreendente de um estudo de Macnaughton et al. (2016) foi que quando se combinaram os participantes de ambos os grupos, a resposta da SPM foi maior após a ingestão de 40g em comparação com a ingestão de 20g de proteínas. Desta forma, este estudo foi o primeiro a relatar que a resposta da SPM à dose de 40g foi maior que a resposta à dose de 20g em homens jovens, em boa forma física. A questão óbvia é a razão pela qual estes achados foram diferentes em relação aos estudos anteriores? Uma possibilidade é simplesmente o poder estatístico. Nos primeiros estudos, houve uma diferença média de ~10% entre as doses de 40g e 20g que não alcançaram a significância estatística. Este estudo mais recente avaliou a SPM em 30 participantes em comparação com 12 por grupo (Witard et al., 2014) e um total de seis participantes em um desenho crossover (Moore et al., 2009a).

Então, é concebível que a diferença entre 40g e 20g relatada nos estudos anteriores era real, mas a força estatística foi menor e assim a diferença fisiológica real entre as doses não poderia ser detectada. No entanto, a diferença entre 40g e 20g (~20%) no nosso estudo foi o dobro da diferença dos estudos anteriores. Portanto, uma segunda explicação e possivelmente mais provável para os resultados diferentes é o tipo de exercício utilizado (exemplo, corpo inteiro versus perna apenas). De fato, já que as respostas aos exercícios de força de corpo inteiro e exercícios de perna apenas nunca foram diretamente comparadas, não podemos excluir as possibilidades para explicar as discrepâncias entre os estudos.

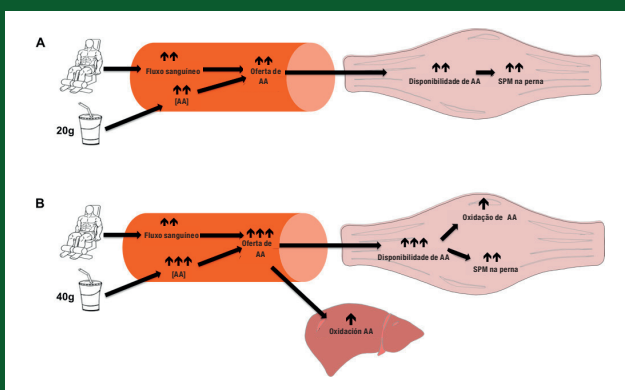


Figura 1. Mecanismos propostos para as diferentes respostas da síntese de proteína muscular (SPM) à ingestão de 20 e 40g de proteínas após exercícios de força de perna apenas.

A) Ingestão de 20g de proteínas após exercícios de força de perna apenas. Exercícios de força aumentam o fluxo sanguíneo para a musculatura contraída. Os aminoácidos (AA) obtidos das proteínas ingeridas aumentam as concentrações sanguíneas de AA. A oferta de aminoácidos (fluxo sanguíneo x [AA]) aumenta, resultando na maior disponibilidade de AA para a SPM. A SPM aumenta na musculatura contrátil, chegando próximo de suas taxas máximas.

B) Ingestão de 40g de proteínas após exercícios de força de perna apenas. Os AA arteriais aumentam ainda mais em comparação com a dose de 20g, então a disponibilidade de AA para a SPM também é maior. No entanto, a SPM é máxima com uma menor disponibilidade de AA, portanto o excesso de AA é desviado para as vias não-anabólicas, em particular a oxidação. [AA] arterial – concentração de aminoácidos na artéria; Oferta de AA – a entrega de aminoácidos para a musculatura = [AA] arterial x o fluxo sanguíneo para a musculatura; Disponibilidade de AA – disponibilidade intracelular de aminoácidos na musculatura; Oxidação de AA – oxidação do excesso de aminoácidos.

No entanto, se a explicação mais provável para a diferença nos resultados foi a rotina de exercícios de força utilizada, um mecanismo fisiológico para explicar estes resultados é proposto nas Figuras 1 e 2. Essencialmente, tem base no fato de que a demanda geral por aminoácidos será maior com o envolvimento de mais músculos durante o exercício, além de reduzir a disponibilidade de aminoácidos para qualquer um dos grupos musculares. O fluxo sanguíneo de nutrientes para a musculatura contrátil é aumentado após exercícios de força (Biolo et al., 1995). No entanto, o fluxo sanguíneo é reduzido tanto para a musculatura contraída e não contraída, quando outros músculos também estão envolvidos no exercício (Volianitis & Secher, 2002), e aumentar a musculatura ativa irá diluir a entrega de aminoácidos para cada grupo muscular individualmente. Com este raciocínio, exercícios de força de corpo inteiro levaram a uma dispersão mais ampla do fluxo sanguíneo para a musculatura tal que o fornecimento de aminoácidos para cada músculo individualmente foi limitado quando 20g de proteínas foram ingeridos.

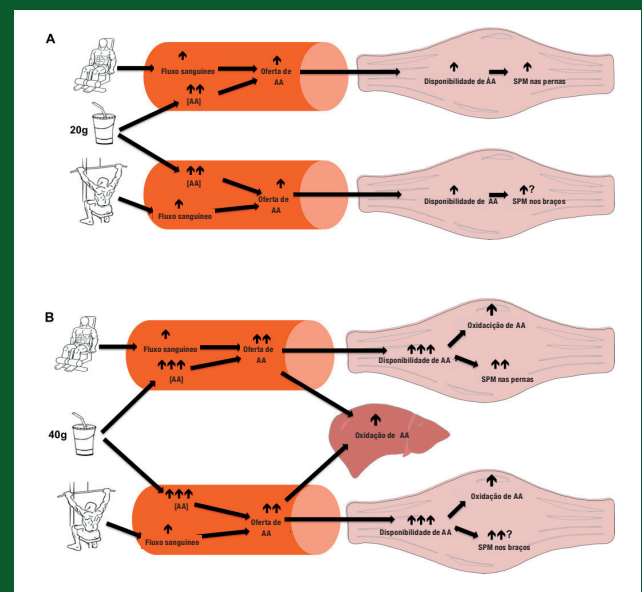


Figura 2. Mecanismos propostos para as diferentes respostas da síntese de proteína muscular (SPM) à ingestão de 20 e 40g de proteínas após exercícios de força de corpo inteiro.

A) Ingestão de 20g de proteínas após exercícios de força de corpo inteiro. O fluxo sanguíneo aumenta tanto para as pernas como parte superior do corpo. Maior distribuição de aminoácidos (AA) derivados das proteínas resulta em menor oferta e disponibilidade de AA para cada grupo muscular individualmente. A SPM na musculatura contrátil da perna é menor (Macnaughton et al., 2016) em comparação com exercícios de perna apenas (Witard et al., 2014).

B) Ingestão de 40g de proteínas após exercícios de força de corpo inteiro. Maior [AA] resulta em maior oferta de AA, desta forma aumentando a disponibilidade de AA em cada grupo muscular. A SPM na musculatura contrátil da perna (e provavelmente na musculatura da parte superior do corpo) é maior em comparação com a ingestão de 20g. [AA] arterial – concentração de aminoácidos na artéria; Oferta de AA – a entrega de aminoácidos para a musculatura = [AA] arterial x o fluxo sanguíneo para a musculatura; Disponibilidade de AA – disponibilidade intracelular de aminoácidos na musculatura; Oxidação de AA – oxidação do excesso de aminoácidos.

No entanto, a ingestão de doses de 40g de proteínas forneceu aminoácidos suficientes para garantir a oferta e disponibilidade suficiente de aminoácidos para o aumento consecutivo na SPM após exercícios de força de corpo inteiro. O fato de que a taxa de SPM miofibrilar por nós observada foi reduzida em nosso recente estudo (Macnaughton et al., 2016) em comparação com o nosso estudo anterior (Witard et al., 2014), apoia o argumento de que os aminoácidos estavam limitados com exercícios de corpo inteiro. A resposta reduzida da SPM ao exercício de corpo inteiro pode ter ofuscado quaisquer diferenças presentes entre levantadores de peso com diferentes quantidades de massa muscular. Contudo, novamente, até que uma comparação entre exercícios de corpo inteiro e apenas perna tenha sido realizada, não podemos concluir com certeza que a resposta da SPM seja diferente nestes dois tipos de exercício de força. Entretanto, ao menos, parece claro que a ingestão de ~20g de proteínas não estimula a SPM ao máximo em todas as circunstâncias e recomendações de uma dose única de proteína após exercícios de força parece ser simples demais.

RESPOSTA DA SPM AO AUMENTO DAS DOSES DE PROTEÍNAS EM INDIVÍDUOS MAIS VELHOS

A perda da musculatura com a idade (exemplo, sarcopenia) é bem documentada e é reconhecida cada vez mais como um problema crítico nas nossas populações em envelhecimento. Claramente, todas as intervenções com exercícios e nutrição que podem ajudar a manter, ou mesmo aumentar a massa muscular, serão importantes para o envelhecimento saudável. Exercícios de força são uma maneira bem estabelecida de aumentar a massa muscular em adultos mais velhos como revisado no posicionamento do Colégio Americano de Medicina Esportiva (Chodzko-Zajko et al., 2009). A ingestão de proteínas em associação com o exercício de força aumenta as respostas da SPM. No entanto, a dose ideal de proteínas para maximizar a resposta da SPM ao exercício de força levando a ganhos de massa muscular não é certa em adultos mais velhos.

As alterações metabólicas que levam à perda de massa muscular com a idade não são compreendidas inteiramente. Agora parece claro que a taxa da SPM no estado basal (jejum e repouso) é essencialmente a mesma em adultos mais novos e mais velhos (Volpi et al., 2001; Cuthbertson et al., 2005). Contudo, o principal fator de contribuição para a sarcopenia com o aumento da idade é a resistência da musculatura à estimulação anabólica, ou resistência "anabólica". Há uma resistência particular ao estímulo anabólico do consumo de proteínas (Witard et al., 2016a). Exercícios de força e a nutrição com proteínas são intervenções bem aceitas para combater a perda muscular relacionada à idade. Contudo, a combinação ideal de nutrição com proteínas e exercícios para reduzir a perda muscular e/ou otimizar os ganhos de musculatura tem ainda que ser definitivamente determinada nesta população. É importante entender a relação da dose-resposta entre a SPM e a ingestão de proteínas em adultos mais velhos para ajudar a formular recomendações apropriadas para o exercício e nutrição para combater a sarcopenia e a dinapenia (decréscimo na força). O trabalho do laboratório do falecido Professor Mike Rennie mostrou que a estimulação da SPM miofibrilar foi menor em adultos mais velhos em relação aos adultos jovens com a ingestão de aminoácidos essenciais com doses de até de 20g; equivalente a aproximadamente 40g de proteínas intactas (Cuthbertson et

al., 2005). Nós posteriormente compilamos os dados de diversos estudos para reunir informações sobre a resposta à uma ingestão de dose única relativa ao total da musculatura e quantidade de massa magra em adultos jovens e mais velhos em condições de repouso (Moore et al., 2015). Os achados foram consistentes com o conceito da resistência anabólica e as diferenças entre adultos jovens e mais velhos foram acentuadas quando examinadas em relação à massa magra. O ponto onde os aumentos na SPM não mais ocorreram foi quando a ingesta de proteína chegou a 0,60g e 0,25g de proteína/kg de massa magra corporal em adultos mais velhos e jovens, respectivamente. Quando considerada em termos de massa corporal total, a resposta da SPM obteve um platô em ~0,40g de proteína/kg de massa corporal total em homens mais velhos e 0,24g de proteína/kg de massa corporal magra em homens jovens. É interessante notar que consumir 0,40g de proteínas em cada uma das três refeições em um dia iria resultar em uma ingestão total de 1,2g de proteína/kg durante um dia. Esta é a mesma quantidade que foi associada com maior retenção de massa magra corporal em homens mais velhos (Houston et al., 2008). No entanto, estes resultados foram medidos em condições de repouso. Já que o exercício, particularmente exercícios de força, tem uma profunda influência na resposta da SPM à ingestão de proteínas em até 24 horas após o exercício (Burd et al., 2011), é importante examinar a relação referente à dose de proteínas em uma única refeição e a SPM após o exercício.

A resistência da musculatura à estimulação anabólica parece impactar a relação entre a dose de proteína e a resposta da SPM em adultos mais velhos. Yang et al. (2012a) examinou a SPM miofibrilar em repouso e após exercícios de força de perna apenas, em homens mais velhos com a ingestão de 0, 10, 20 e 40g de Whey Protein. Eles relataram que a ingestão de 20g foi efetiva para o máximo estímulo da SPM em repouso nestes participantes mais velhos, já que não houve mais aumentos com a ingestão de 40g de Whey Protein. No entanto, Pennings et al. (2011) relatou que a SPM foi aumentada em sua maior extensão em repouso com 35g em comparação com 20g de Whey Protein. Não há explicação óbvia para a discrepância entre estes dois estudos.

Apesar disto, o exercício de força melhorou a habilidade da musculatura em utilizar aminoácidos derivados das proteínas ingeridas para a SPM em homens mais velhos (Pennings et al., 2011). A SPM também foi maior em cada dose de proteína ingerida em adultos mais velhos no estudo de Yang et al. (2012a). Por outro lado, diferente dos estudos anteriores, para adultos jovens realizando exercícios de força de perna apenas, a resposta miofibrilar da SPM à ingestão de 40g de proteínas foi maior do que a resposta à ingestão de 20g e não houve platô claro na resposta da SPM (Yang et al., 2012a). Então, é desconhecido se a ingestão de doses ainda maiores de proteína após o exercício irá estimular ainda mais a SPM em homens mais velhos. Deve ser notado que a ingestão > 40g de proteínas em uma única refeição provavelmente não irá ser bem tolerada pela maior parte dos adultos mais velhos. Desta forma, parece claro que a relação da dose-resposta entre a ingestão de proteínas e a SPM após exercícios de força se altera em adultos mais velhos, pelo menos em exercícios de perna apenas.

FONTES DE PROTEÍNAS

Outro fator importante que influencia a resposta da SPM à ingestão de proteínas após o exercício é a fonte da proteína ingerida. A composição de aminoácidos e as propriedades digestivas da proteína são consideradas fatores importantes que impactam a SPM (Witard et al., 2016b). O conteúdo de leucina da proteína é considerado o fator mais importante para maximizar a SPM. Na verdade, a hipótese do “limiar de leucina” foi proposto para explicar as diferenças na resposta da SPM para diferentes fontes de proteínas (Breen & Phillips, 2011). Nesta teoria, as proteínas com maior conteúdo de leucina seriam previstas em estimular uma maior SPM pós-prandial. Outra consideração para determinar a SPM pós-prandial são as propriedades digestivas da proteína. Há evidências de que, com todo o resto sendo igual, a proteína que produz o aumento mais rápido na concentração sanguínea de leucina estimula a SPM em seu maior grau (West et al., 2011). O aumento mais rápido da leucina sanguínea explica o porquê de a Whey Protein resultar em maior SPM após exercícios de força em relação à caseína micelar (Tang et al., 2009). Estas características distintas entre diferentes proteínas vão impactar a relação da dose ingerida em uma única refeição em relação à resposta da SPM após o exercício.

Há relativamente pouca informação disponível sobre a resposta da SPM à várias doses de proteína ao invés do consumo do Whey Protein. Dada a importância da composição da leucina em relação à resposta da SPM, acredita-se que as proteínas que contêm menos leucina, como as proteínas de origem vegetal, (van Vliet et al., 2015), irão produzir uma resposta anabólica menor. Yang et al. (2012b) investigou a resposta da SPM à ingestão da proteína de soja após exercícios de força em adultos mais velhos. Em repouso, a resposta da SPM após ingestão de 20 ou 40g de proteína de soja não foi maior que a ingestão de nenhuma proteína. Contudo, após exercícios de força, a SPM foi maior com a ingestão de 40g, mas não de 20g da proteína de soja (Yang et al., 2012b). Além disso, a resposta da SPM em relação à ingestão da proteína de soja foi menor em comparação com a ingestão de Whey Protein em todas as doses de proteína no repouso e após o exercício. E ainda, estes dados são consistentes com o conceito de limiar de leucina sugerindo que a ingestão de maiores quantidades de fontes de proteína chamadas inferiores (aquelas com menor composição de leucina), é necessária para estimular a SPM ao máximo. Infelizmente, este é o único estudo até o momento que investigou sistematicamente a resposta da SPM em relação a doses crescentes de proteínas de origem vegetal em humanos e não há dados disponíveis em indivíduos mais jovens. De toda forma, já que as proteínas de origem vegetal tipicamente contêm menor quantidade de leucina do que as proteínas animais (van Vliet et al., 2015), seria esperado que uma dose maior de proteínas seria necessária para produzir taxas de SPM similares àquelas atingidas com a ingestão de Whey Protein. E ainda, seria interessante determinar as curvas de dose-resposta para diversas proteínas de origem vegetal, particularmente fontes com maior composição de leucina, como leguminosas ou quinoa (van Vliet et al., 2015).

A importância da composição de leucina nas fontes de proteína para a estimulação da SPM levou a sugestão de que a adição de leucina em uma proteína “inferior” poderia aumentar a resposta da SPM (Witard et al., 2016a). Houve um número limitado de tentativas de investigar a resposta da SPM às diversas misturas de proteínas e aminoácidos livres designadas para manipular a proporção de leucina (Atherton et al., 2017; Churchward-Venne et al., 2012a, 2014; Reidy et al., 2013). No entanto, nenhuma investigação sistemática da relação dose-resposta de misturas de

proteínas ingeridas com a SPM no pós-exercício foi realizada. De toda forma, esta informação será importante para entender estas variáveis para que recomendações apropriadas para a ingestão de proteínas após o exercício possam ser realizadas.

Já que as propriedades digestivas da proteína influenciam a resposta anabólica em relação à sua ingesta (Breen & Phillips, 2011; Witard et al., 2016a, 2016b), a forma na qual a proteína é ingerida também pode ter um impacto importante na dose-resposta. A maioria dos estudos examinando a resposta da SPM à ingestão de proteínas utiliza suplementos de proteínas. Contudo, há alguns estudos que examinaram estas respostas à ingestão de proteínas na forma de alimentos. Symons et al. (2009) comparou a resposta à ingestão, em repouso, de diferentes quantidades de carne de vaca e relatou que a SPM foi aumentada, mas não houve diferenças após a ingestão de carne de vaca contendo 30 em comparação com 90g de proteínas em adultos mais jovens ou mais velhos (Symons et al., 2009). Consequentemente, Robinson et al. (2013) relatou que a SPM não foi aumentada pela ingestão de carne de vaca contendo 12 ou 24g de proteínas, em repouso ou após exercícios de força. No entanto, a ingestão de 36g de proteínas da carne de vaca resultou em um aumento significativo da SPM em ambas as situações (Robinson et al., 2013). Até o momento, estes estudos fornecem a única informação disponível sobre a resposta da SPM às diversas doses de fontes alimentares de proteínas.

RESUMO E APLICAÇÕES PRÁTICAS

Em resumo, a quantidade ideal de proteína a ser consumida após o exercício não deve ser considerada como a proposta de uma mesma porção generalizada para todas as pessoas. Nós estamos apenas começando a delinear os muitos fatores que podem influenciar a quantidade ideal de proteína a ser ingerida para estimular a resposta máxima da SPM. As recomendações dos primeiros estudos eram de uma ingestão de 20-25g de proteína de alta qualidade após o exercício para adultos jovens. No entanto, nós sabemos agora que esta quantidade pode não ser suficiente para estimular a resposta máxima da SPM em todas as circunstâncias e para todos os tipos de proteína. Ainda há uma grande quantidade de informações necessárias para se fazer recomendações definitivas relacionadas à dose ideal de proteína para a estimulação máxima da SPM em todas as situações e para todas as pessoas.

- A melhor recomendação sobre a quantidade de proteínas a ser ingerida para estimular ao máximo a SPM após o exercício de perna apenas (ou outras partes do corpo isoladas) para homens jovens e saudáveis é de 20-25g ou 0,25g/kg de proteína de alta qualidade, como o Whey Protein ou a proteína do ovo. Quantidades maiores não estimulam uma maior SPM, mas estimulam a oxidação de aminoácidos.
- Jovens do sexo masculino participando em exercícios de força de corpo inteiro deveriam consumir até 40g de proteína de alta qualidade para estimular ao máximo a SPM.
- Adultos mais velhos deveriam consumir mais que 20g, e até pelo menos 40g de proteína de alta qualidade após exercícios de perna apenas. No entanto, considerando que o exercício de corpo inteiro aumenta consecutivamente a demanda por aminoácidos derivados das proteínas ingeridas, ainda mais proteínas podem ser necessárias para estimular a SPM ao máximo.
- Mais proteínas são necessárias caso a composição de aminoácidos da proteína esteja abaixo da ideal, por exemplo, com menor quantidade de leucina e talvez outros aminoácidos essenciais, como na maioria das proteínas de origem vegetal.
- Há atualmente informações insuficientes sobre a resposta da

SPM à ingestão de outras formas de proteína que não suplementos de proteínas isoladas para a realização de recomendações sólidas, já que é desconhecida a quantidade ideal de proteínas em uma matriz sólida ou consumidas em uma refeição em conjunto com outros nutrientes. Até o momento, a melhor linha prática é a de simplesmente exceder os resultados dos estudos com proteínas isoladas e ter como meta a quantidade de proteínas necessária para estimular ao máximo a SPM, quando consumidas na forma de suplementos.

REFERÊNCIAS

- Areta, J.L., L.M. Burke, M.L. Ross, D.M. Camera, D.W. West, E.M. Broad, N.A. Jeacocke, D.R. Moore, T. Stellingwerf, S.M. Phillips, J.A. Hawley, and V.G. Coffey (2013). Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *J. Physiol.* 591:2319-2331.
- Atherton, P.J., T. Etheridge, P.W. Watt, D. Wilkinson, A. Selby, D. Rankin, K. Smith, and M.J. Rennie (2010). Muscle full effect after oral protein: time-dependent concordance and discordance between human muscle protein synthesis and mTORC1 signaling. *Am. J. Clin. Nutr.* 92:1080-1088.
- Atherton, P.J., V. Kumar, A.L. Selby, D. Rankin, W. Hildebrandt, B.E. Phillips, J.P. Williams, N. Hiscock, and K. Smith (2017). Enriching a protein drink with leucine augments muscle protein synthesis after resistance exercise in young and older men. *Clin. Nutr.* 36:888-895.
- Biolo, G., S.P. Maggi, B.D. Williams, K.D. Tipton and R.R. Wolfe (1995). Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *Am. J. Physiol.* 268:E514-520.
- Biolo, G., K.D. Tipton, S. Klein, and R.R. Wolfe (1997). An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am. J. Physiol.* 273:E122-129.
- Breen, L., and S.M. Phillips (2011). Skeletal muscle protein metabolism in the elderly: Interventions to counteract the 'anabolic resistance' of ageing. *Nutr. Metab.* 8:68.
- Burd, N.A., D.W. West, D.R. Moore, P.J. Atherton, A.W. Staples, T. Prior, J.E. Tang, M.J. Rennie, S.K. Baker, and S.M. Phillips (2011). Enhanced amino acid sensitivity of myofibrillar protein synthesis persists for up to 24 h after resistance exercise in young men. *J. Nutr.* 141:568-573.
- Chodzko-Zajko, W.J., D.N. Proctor, M.A. Fiatarone-Singh, C.T. Minson, C.R. Nigg, G.J. Salem, and J.S. Skinner (2009). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41:1510-1530.
- Churchward-Venne, T.A., N.A. Burd, C.J. Mitchell, D.W. West, A. Philp, G.R. Marcotte, S.K. Baker, K. Baar, and S.M. Phillips (2012a). Supplementation of a suboptimal protein dose with leucine or essential amino acids: effects on myofibrillar protein synthesis at rest and following resistance exercise in men. *J. Physiol.* 590:2751-2765.
- Churchward-Venne, T.A., N.A. Burd, and S.M. Phillips (2012b). Nutritional regulation of muscle protein synthesis with resistance exercise: strategies to enhance anabolism. *Nutr. Metab.* 9:40.
- Churchward-Venne, T.A., L. Breen, D.M. Di Donato, A.J. Hector, C.J. Mitchell, D.R. Moore, T. Stellingwerf, D. Breuille, E.A. Offord, S.K. Baker, and S.M. Phillips (2014). Leucine supplementation of a low-protein mixed macronutrient beverage enhances myofibrillar protein synthesis in young men: a double-blind, randomized trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 99:276-286.
- Cuthbertson, D., K. Smith, J. Babraj, G. Leese, T. Waddell, P. Atherton, H. Wackerhage, P.M. Taylor, and M.J. Rennie (2005). Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting, aging muscle. *FASEB J* 19:422-424.
- Houston, D.K., B.J. Nicklas, J. Ding, T.B. Harris, F.A. Tylavsky, A.B. Newman, J.S. Lee JS, N.R. Sahyoun, M. Visser, S.B. Kritchevsky, and Health ABC Study (2008). Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults: the Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. *Am. J. Clin. Nutr.* 87:150-155.
- Macnaughton, L.S., S.L. Wardle, O.C. Witard, C. McGlory, D.L. Hamilton, S. Jeromson, C.E. Lawrence, G.A. Wallis, and K.D. Tipton (2016). The response of muscle protein synthesis following whole-body resistance exercise is greater following 40 g than 20 g of ingested whey protein. *Physiol. Rep.* 4:e12893.
- Moore, D.R., M.J. Robinson, J.L. Fry, J.E. Tang, E.I. Glover, S.B. Wilkinson, T. Prior T, M.A. Tamopolsky, and S.M. Phillips (2009a). Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *Am. J. Clin. Nutr.* 89:161-168.
- Moore, D.R., J.E. Tang, N.A. Burd, T. Rerечich, M.A. Tamopolsky, and S.M. Phillips (2009b). Differential stimulation of myofibrillar and sarcoplasmic protein synthesis with protein ingestion at rest and after resistance exercise. *J. Physiol.* 587:897-904.
- Moore, D.R., T.A. Churchward-Venne, O. Witard, L. Breen, N.A. Burd, K.D. Tipton, and S.M. Phillips (2015). Protein ingestion to stimulate myofibrillar protein synthesis requires greater relative protein intakes in healthy older versus younger men. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 70:57-62.
- Penning, B., R. Koopman, M. Beelen, J.M. Senden, W.H. Saris, and L.J. van Loon (2011). Exercising before protein intake allows for greater use of dietary protein-derived amino acids for de novo muscle protein synthesis in both young and elderly men. *Am. J. Clin. Nutr.* 93:322-331.
- Phillips, S.M., K.D. Tipton, A. Aarsland, S.E. Wolf, and R.R. Wolfe (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am. J. Physiol.* 273:E99-107.
- Reidy, P.T., D.K. Walker, J.M. Dickinson, D.M. Gundermann, M.J. Drummond, K.L. Timmerman, C.S. Fry, M.S. Borack, M.B. Cope, R. Mukherjee, K. Jennings, E. Volpi, and B.B. Rasmussen (2013). Protein blend ingestion following resistance exercise promotes human muscle protein synthesis. *J. Nutr.* 143:410-416.
- Robinson, M.J., N.A. Burd, L. Breen, T. Rerечich, Y. Yang, A.J. Hector, S.K. Baker, and S.M. Phillips (2013). Dose-dependent responses of myofibrillar protein synthesis with beef ingestion are enhanced with resistance exercise in middle-aged men. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 38:120-125.
- Schoenfeld, B.J., A.A. Aragon, and J.W. Krieger (2013). The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: a meta-analysis. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 10:53.
- Symons, T.B., M. Sheffield-Moore, R.R. Wolfe, and D. Paddon-Jones (2009). A moderate serving of high-quality protein maximally stimulates skeletal muscle protein synthesis in young and elderly subjects. *J. Am. Diet. Assoc.* 109:1582-1586.
- Tang, J.E., D.R. Moore, G.W. Kujbida, M.A. Tamopolsky, and S.M. Phillips (2009). Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. *J. Appl. Physiol.* 107:987-992.
- van Vliet, S., N.A. Burd, and L.J. van Loon (2015). The skeletal muscle anabolic response to plant-versus animal-based protein consumption. *J. Nutr.* 145:1981-1991.
- Volianitis, S., and N.H. Secher (2002). Arm blood flow and metabolism during arm and combined arm and leg exercise in humans. *J. Physiol.* 544:977-984.
- Volpi, E., M. Sheffield-Moore, B.B. Rasmussen, and R.R. Wolfe (2001). Basal muscle amino acid kinetics and protein synthesis in healthy young and older men. *J. Am. Med. Assoc.* 286:1206-1212.
- West, D.W., N.A. Burd, V.G. Coffey, S.K. Baker, L.M. Burke, J.A. Hawley, D.R. Moore, T. Stellingwerf, and S.M. Phillips (2011). Rapid aminoacidemia enhances myofibrillar protein synthesis and anabolic intramuscular signaling responses after resistance exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 94:795-803.
- Witard, O.C., S.R. Jackman, L. Breen, K. Smith, A. Selby, and K.D. Tipton (2014). Myofibrillar muscle protein synthesis rates subsequent to a meal in response to increasing doses of whey protein at rest and after resistance exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 99:86-95.
- Witard, O.C., C. McGlory, D.L. Hamilton, and S.M. Phillips (2016a). Growing older with health and vitality: a nexus of physical activity, exercise and nutrition. *Biogerontology* 17:529-546.
- Witard, O.C., S.L. Wardle, L.S. Macnaughton, A.B. Hodgson, and K.D. Tipton (2016b). Protein considerations for optimising skeletal muscle mass in healthy young and older adults. *Nutrients* 8:181.
- Wolfe, R.R. (2006). The underappreciated role of muscle in health and disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 84, 475-482.
- Yang, Y., L. Breen, N.A. Burd, A.J. Hector, T.A. Churchward-Venne, A.R. Josse, M.A. Tamopolsky, and S.M. Phillips (2012a). Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men. *Br. J. Nutr.* 108:1780-1788.
- Yang, Y., T.A. Churchward-Venne, N.A. Burd, L. Breen, M.A. Tamopolsky, and S.M. Phillips (2012b). Myofibrillar protein synthesis following ingestion of soy protein