



unopar

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
MESTRADO EM EXERCÍCIO FÍSICO NA PROMOÇÃO DA SAÚDE**

ALAN PABLO GRALA

**GUIA PRÁTICO PARA AUXÍLIO NA EXECUÇÃO DE
EXERCÍCIOS COM PESOS EM ACADEMIA**

Londrina - Paraná
2016

Alan Pablo Grala

GUIA PRÁTICO PARA AUXÍLIO NA EXECUÇÃO DE EXERCÍCIOS COM PESOS EM ACADEMIA

Relatório Técnico apresentado à UNOPAR, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Andreo Fernando Aguiar

Londrina - Paraná

2016

Alan Pablo Grala

GUIA PRÁTICO PARA AUXÍLIO NA EXECUÇÃO DE EXERCÍCIOS COM PESOS EM ACADEMIA

Relatório Técnico apresentado à UNOPAR, referente ao Curso de Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre Profissional conferido pela Banca Examinadora:

Prof. Dr. Andreo Fernando Aguiar
Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Juliano Casonatto
Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Helio Serassuelo Junior
(Membro Externo)

Prof. Dr. Dartagnan Pinto Guedes
Coordenador do Curso

Londrina, 16 de fevereiro de 2016.

GRALA, Alan Pablo. **Guia prático para auxílio na execução de exercícios com pesos em academia.** 48f. Relatório Técnico. Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde. Centro de Pesquisa em Ciências da Saúde. Universidade Norte do Paraná, Londrina, 2016.

RESUMO

Este material apresenta uma descrição detalhada das fases de elaboração do guia prático intitulado: Guia prático para auxílio na execução de exercícios com pesos em academia. A elaboração do guia prático foi realizada em 4 etapas: (1) Escolha dos exercícios, (2) Obtenção das imagens, (3) Elaboração do guia prático, e (4) Arte final. Inicialmente, foram selecionados os exercícios de musculação para compor o conteúdo do guia prático. A escolha dos exercícios e procedimentos de auxílio foi realizada mediante um consenso entre o conhecimento prévio dos pesquisadores e profissionais de Educação Física que atuam no âmbito das academias de musculação da cidade de Umuarama-PR e Londrina-PR. Após a escolha dos exercícios, um fotógrafo profissional foi contratado para obtenção das imagens ilustrativas, referentes ao posicionamento e conduta do profissional durante o procedimento de auxílio dos exercícios. As imagens foram obtidas em uma academia de ginástica com auxílio de modelos fotográficos, e tratadas posteriormente com *software* Adobe Photoshop® CC. Após a finalização do conteúdo, um profissional de Design Gráfico foi contratado para concluir os processos de criação, diagramação e arte final do guia prático utilizando o *software* Adobe Illustrator® v.23. Finalmente, o guia prático será submetido à análise de mérito editorial, visando à solicitação do número ISBN e subsequente divulgação do material. Este guia prático foi elaborado visando atender as características peculiares do curso de Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde da presente IES, cujo escopo principal é apresentar um produto técnico para auxiliar na atuação profissional direcionada ao mercado de trabalho.

Palavras-chave: treinamento com pesos, academia, movimento, auxílio, técnica de movimento.

GRALA, Alan Pablo. **Guia prático para auxílio na execução de exercícios com pesos em academia**. 48f Technical Report. Professional Master's in Exercise in Health Promotion. Research Center on Health Sciences. North University of Paraná, Londrina, 2016.

ABSTRACT

This work presents a detailed description of the stages of preparation of the practical guide entitled: Practical guide to assistance in the resistance exercises performance in bodybuilding gym. The elaboration of the Practical Guide was carried out in 4 steps: (1) The choice of bodybuilding's exercises, (2) Obtaining the images, (3) Development of the Practical Guide, and (4) Final Art. Initially the resistance exercises were selected to compose the content of the practical guide. The choice of exercises and assistance procedures was made by a consensus between the prior knowledge of researchers and professionals of Physical Education who work in gymnastic gyms in the city of Umuarama-PR and Londrina-PR. After choosing the exercises, a professional photographer was responsible by obtain the illustrative images regarding position and conduct of professional during the assistance procedure in the exercises performance. The images were obtained in a bodybuilding gym with the help of photographic models, and then processed using the Adobe Photoshop CC software. After completion of the content, a Graphic Designer was responsible by the processes of creation, layout and final art of the practical guide, using the Adobe Illustrator® v.23 software. Finally, the Practical Guide will be submitted to the editorial merit, in order to request the ISBN number and the subsequent disclosure of the material. This practical guide was designed to attend the particular characteristics of the Professional Master's course in physical exercise in Health Promotion of this IES, whose main purpose is to present a technical product to assistance in professional activities directed to the labor market.

Key words: resistance training, gym, movement, assistance, movement technique.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1. Treinamento com pesos no contexto da saúde	9
2.2. Variáveis associadas ao treinamento com pesos	13
3. DESENVOLVIMENTO	21
4. CONCLUSÃO	23
5. REFERÊNCIAS	24
APÊNDICE A – Trabalho Apresentado em Evento Científico	27
APÊNDICE B – Artigo Científico	28

1. INTRODUÇÃO

Um expressivo crescimento tem sido observado no mercado de academias de ginástica nas duas últimas décadas. Segundo informações da *International Health, Racquet & Sportsclub Association*¹ (IHRSA) existem mais de 46 mil academias no mercado Latino-Americano que geram uma receita de US\$ 5,6 bilhões, sendo que o Brasil responde pela maior parcela das academias da América Latina. Atualmente, no Brasil existe um número estimado de 20 mil academias que sustentam 140 mil empregos diretos e agregam 3,4 milhões de usuários, o que corresponde a aproximadamente 2% da população brasileira. Estima-se que essas academias contribuem para a absorção de 60 a 70% dos profissionais de Educação Física que se inserem no mercado de trabalho a cada ano², evidenciando a importância desse campo de atuação no contexto da promoção da saúde.

Esta expressiva demanda pelo mercado de academias implica na necessidade de se estabelecer padrões adequados de conduta e prática nos diversos contextos da prescrição de exercício físico relacionada à promoção da saúde. Dessa forma, o Conselho Nacional de Educação (CNE) tem estabelecido algumas dimensões do conhecimento que regulamentam os cursos de graduação em Educação Física, incluindo a dimensão técnico-instrumental (resolução CNE/CES n.7/2004). Esta dimensão agrupa conhecimentos sobre as bases teóricas e metodológicas aplicadas ao desempenho humano, ao comportamento motor, a psicologia, a dinâmica e relações estabelecidas no ensino e treinamento que irá instrumentalizar o profissional para sua atuação. Neste sentido, torna-se indispensável para os profissionais de Educação Física que atuam no mercado de academias o conhecimento dos aspectos que norteiam a dimensão técnico-instrumental, uma vez que as atividades desenvolvidas nesse ambiente envolvem o planejamento e a execução adequada de movimentos corporais, com o objetivo de maximizar os resultados pré-estabelecidos para cada cliente.

No contexto do treinamento com pesos, existem inúmeras variações de um mesmo exercício que podem envolver diferentes amplitudes de movimento, tempos de contração muscular e ângulos de execução, além disso, um mesmo exercício pode ser realizado com a utilização de pesos livres (halteres) ou máquinas, refletindo em mudanças significativas no trabalho muscular realizado³. Portanto, observa-se que as possibilidades de execução de um mesmo exercício são tão

amplas e diversificadas que se torna extremamente difícil definir um padrão correto e exclusivo de auxílio na execução dos movimentos.

Embora tais variações na execução dos movimentos façam parte da rotina do público engajado em programas de treinamento com pesos, muitas vezes o auxílio incorreto na execução de um determinado exercício pode resultar na inefetividade do programa de treinamento e ainda aumentar a predisposição a lesões articulares e neuromusculares. Todavia, o auxílio adequado na execução de exercícios com pesos pode beneficiar o praticante de diversas maneiras, entre elas: (1) minimizar o risco de lesão devido a melhor estabilização dos seguimentos corporais, (2) facilitar o recrutamento de músculos ou feixes musculares específicos, (3) reduzir a ocorrência de falha muscular durante a realização de exercícios com elevadas cargas, (4) minimizar o desconforto do exercício para iniciantes ou indivíduos em condições especiais, e (5) possibilitar o trabalho de alta intensidade de forma segura e eficiente durante o programa de treinamento^{4,5}.

Neste sentido, o Colégio Americano de Medicina do Esporte (*American College of Sports Medicine* [ACSM])⁵ destaca em suas diretrizes que é responsabilidade do profissional de Educação Física a avaliação da técnica e da posição corporal durante o treinamento resistido⁴. Logo, torna-se evidente que o profissional necessita de ferramentas práticas que possam auxiliá-lo na conduta correta em relação ao auxílio na execução de um determinado movimento corporal, especialmente durante a realização de exercícios com pesos.

No entanto, até o momento existem poucas informações disponíveis na literatura em relação ao modo correto de auxílio para a maioria dos exercícios com pesos, fato que tem motivado os profissionais de Educação Física a adotarem estratégias empíricas no auxílio da execução apropriada dos exercícios nas academias. Tal fato destaca a importância de se buscar ferramentas que possam trazer informações práticas sobre a técnica correta de auxílio na realização dos exercícios com pesos e, assim, contribuir na formação acadêmica e atuação dos profissionais de Educação Física em relação à prescrição e execução dos programas de treinamento com pesos na promoção da saúde. Assim, a proposta do presente estudo foi elaborar um guia prático com informações ilustrativas e descritivas sobre os procedimentos corretos de auxílio na execução de exercícios com pesos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Treinamento com pesos no contexto da saúde

A atividade física é um fenômeno de grande importância na atualidade, principalmente por ser um dos fatores determinantes do estado de saúde e consequentemente do bem-estar e da qualidade de vida de uma população^{3,6}.

O conceito de saúde é um tanto complexo, pois se trata de um estado dinâmico e multifatorial. Segundo Mantovani e Forti⁷, saúde tem sido definida não apenas como a ausência de doenças, mas sim como uma multiplicidade de aspectos do comportamento humano voltados à um estado de completo bem-estar físico, mental e social.

Segundo Marques⁸, é possível afirmar que existe uma relação muito íntima entre a prática constante de atividade física e a condição de saúde, porém, essa associação só se dá de forma positiva se ambas forem compatíveis entre si e com a realização prática do sujeito e seus objetivos, não esquecendo que a saúde é um complexo que engloba inúmeros fatores, dentre eles, a atividade física.

Estudos epidemiológicos mostram que uma parcela significativa da população não atende as recomendações diárias quanto à realização de atividades físicas. Quando se avalia as atividades físicas realizadas apenas nas horas de lazer, encontra-se prevalência de sedentarismo ainda mais elevado^{6,7}. Nahas⁹ relata que a inatividade física tem um impacto negativo na qualidade de vida dos indivíduos, estando relacionada com a incidência de morte prematura, particularmente em países industrializados.

Décadas de pesquisas sintetizadas em posicionamentos e relatórios mostram que a atividade física contribui para a prevenção primária de doenças como: hipertensão arterial, doença coronariana, acidente vascular cerebral, diabetes tipo II, osteoporose, alguns tipos de câncer, obesidade e depressão⁶.

Apesar da grande quantidade de evidências apontando os benefícios das atividades físicas para a saúde, assim como o risco do sedentarismo, somente uma pequena parcela da população brasileira mantém níveis adequados de atividades físicas¹⁰. Como exemplo, no sul do Brasil, Dumith et al.¹¹ relatam que entre uma amostra de 3.136 indivíduos avaliados, somente 1.239 relataram praticar alguma atividade física (40%). Estes mesmo autores destacam que as atividades mais

praticadas foram: caminhada (57%), futebol (14%), bicicleta (13%), musculação (8%) e ginástica (6%). Em outro estudo realizado na cidade de São Paulo, Mello et al.¹² observaram que apenas 31,3% dos entrevistados (de uma amostra de 1000) estão engajados em algum tipo de atividade física, sendo que as 5 atividades mais praticadas foram: caminhada (36,6%), futebol (17,3%), ginástica (16%), natação (8,3%) e levantamento de peso/musculação (7,7%).

É importante observar que entre as opções de atividades físicas ou exercícios físicos mais comuns, o treinamento com pesos vem recebendo grande atenção, figurando entre as atividades mais praticadas pela população. Um exemplo desse interesse pode ser comprovado pelo crescente número de academias de ginástica no Brasil, que ultrapassam o número de 20.000 estabelecimentos com percentual de participação de 3% da população brasileira¹.

O exercício utilizado no desenvolvimento e manutenção da força muscular (capacidade de exercer força), resistência muscular (capacidade de exercer força repetidas vezes) e massa muscular é comumente chamado de treinamento resistido¹³. O treinamento resistido, também conhecido como treinamento de força ou treinamento com pesos, tem se tornado cada vez mais popular no decorrer das últimas duas décadas, sendo considerado atualmente um componente essencial dos programas de treinamento físico para indivíduos interessados em aprimorar sua saúde e aptidão física. Devido ao aumento no número evidências sobre a contribuição do treinamento resistido sobre diversos fatores relacionados a saúde, não é de se surpreender que tanto a ciência do exercício quanto a comunidade médica recomendem que indivíduos de todas as idades e de ambos os gêneros participem de programas de treinamento que englobem o exercício resistido¹⁴.

Os efeitos do treinamento resistido sobre a força, resistência e hipertrofia muscular assim como na reabilitação de lesões musculoesqueléticas são bem conhecidos^{13,15}. Mais recentemente, o treinamento de força ou resistido tem se mostrado efetivo em aprimorar muitos fatores associados a um bom estado de saúde. Esses fatores incluem uma função muscular aprimorada e prevenção de quedas, redução da dor lombar crônica, melhor tolerância à glicose e sensibilidade à insulina, aumento na densidade mineral óssea, aumento do metabolismo basal e melhora na qualidade de vida^{3,16}.

Kraemer et al.¹⁷ relata que os benefícios do treinamento resistido para a saúde e para a performance são muitos. Esse mesmo autor destaca que a

prescrição segura e adequada do treinamento resistido tem demonstrando um efeito positivo na redução da gordura corporal, aumento na taxa metabólica basal, redução da pressão arterial e demandas cardiovasculares no exercício, perfil lipídico aprimorado, melhora na tolerância à glicose e sensibilidade à insulina, minimiza as consequências da sarcopenia, reduz o risco de osteoporose e câncer de cólon, manutenção da independência motora a longo prazo e da capacidade funcional, tendo um impacto positivo também na diminuição das dores lombares. Além disso, o aumento de força, potência, resistência e hipertrofia muscular observada durante o treinamento resistido favorece o aprimoramento da performance motora.

Assim como os indivíduos adultos, as crianças e adolescentes também podem usufruir dos benefícios do treinamento com pesos. A participação nesse tipo de programa possibilita às crianças e adolescentes uma oportunidade de aprimorar sua saúde e qualidade de vida. Evidências científicas indicam que o treinamento resistido não oferece riscos maiores do que qualquer outra atividade ou esporte no qual crianças e adolescentes participam regularmente¹⁸.

Considerando o progressivo aumento dos índices de sobrepeso e obesidade no Brasil, é importante destacar os benefícios do treinamento resistido para essa população, em especial para os jovens. De acordo com dados da última Pesquisa de Orçamentos Familiares, realizado entre 2008 e 2009, a incidência de sobrepeso na faixa etária de 5 a 9 anos é de 34,8% no sexo masculino e de 32% no feminino, já para a obesidade, os valores são de 16,6% no sexo masculino e 11,8% no feminino. Já na faixa etária de 10 a 19 anos, o sobrepeso está presente em 21,7% e 19,4% e a obesidade em 5,9% e 4,0% nos sexos masculinos e femininos respectivamente¹⁹.

Faigenbaum²⁰ destaca que os potenciais benefícios provenientes do treinamento resistido para jovens obesos ou com sobrepeso são: aumento da força e resistência muscular, aprimoramento do controle neuromuscular, aumentos da densidade mineral óssea, aumento da aptidão cardiorrespiratória, melhora do perfil lipídico, melhora da composição corporal, redução dos riscos de lesão provenientes da prática esportiva, aumento do bem estar psicossocial e estímulo a atitudes mais positivas frente a prática de atividades físicas ao longo da vida. Este mesmo autor comenta que o treinamento resistido pode oferecer uma chance de significativa melhora da saúde e aptidão física para jovens que estão obesos ou em risco de obesidade e que devido às modificações favoráveis na composição corporal, nos níveis de força e resistência muscular, esses jovens irão sentir-se bem com relação

ao seu desempenho físico, tornando-se estimulados a manter uma vida mais ativa o que, por sua vez, contribuirá decisivamente para a melhora da qualidade de vida desses indivíduos.

Pollock e Vincent¹⁶ afirmam que incluir o treinamento resistido a um programa regular de atividade físicas reduz significativamente o risco de doenças crônicas, ao mesmo tempo que aprimora a qualidade de vida e a funcionalidade do organismo, permitindo que pessoas de todas as idades melhorem e mantenham sua saúde e estilo de vida independente.

Assim como a população jovem e adulta, a população idosa também pode usufruir dos benefícios do treinamento resistido, visto que, uma quantidade cada vez maior de evidências apontam o treinamento resistido como uma ferramenta fundamental para um envelhecimento saudável e independente^{21,22}. As atuais características sociodemográficas do Brasil revelam um crescimento acelerado da população acima de 60 anos, com projeções de aumento ainda mais significativas para as próximas décadas. Segundo os dados do Censo Demográfico de 2010²³ a população acima de 60 anos representa 10,8% da população total do país, ou seja, 20.590.599 milhões de pessoas, sendo que a estimativa é de que na metade do século XXI, a população acima de 60 anos represente aproximadamente 30% da população²⁴.

É amplamente conhecido que o envelhecimento resulta em diminuição progressiva da força muscular como resultado de um processo degenerativo denominado sarcopenia, fenômeno este que ocorre tanto em função da redução no tamanho da fibra, como no número de fibras presentes no músculo, estando estas alterações relacionadas a inatividade, a lesão mediada por radicais livres, a inflamação e a redução nos hormônios anabólicos, como a testosterona²⁵. A dificuldade em erguer-se da posição sentada, a deambulação precária e o equilíbrio inadequado são incapacidades funcionais comuns em resposta a perda de força muscular, sendo que a implicação a longo prazo desta falta de força é a independência limitada do idoso⁴.

O treinamento resistido para adultos idosos nitidamente aumenta a massa muscular, força e potência, reduz a dificuldade em realizar atividades cotidianas, aumenta o gasto energético e aprimora a composição corporal, assim como estimula a realização da atividade física espontânea²¹. Hess e Woollacott²⁶ afirmam que indivíduos idosos são capazes de realizar com segurança o exercício vigoroso

relacionado ao treinamento resistido, e que essas atividades podem ser utilizadas como uma importante ferramenta para manter e melhorar o equilíbrio nessa população. Esses pesquisadores relatam ainda que o treinamento resistido pode reduzir a incidência de quedas de 5% a 20% em apenas 10 semanas de treinamento.

Perterson e Gordon²² destacam que o treinamento resistido para indivíduos idosos é seguro e recomendável, sendo a maneira mais efetiva para conseguir uma adaptação ótima tanto na capacidade de gerar força quanto na hipertrofia muscular. Estes autores ainda afirmam que a inclusão do treinamento resistido na rotina diária dos idosos é uma estratégia indispensável para auxiliar na manutenção da independência, saúde e qualidade de vida desta população.

2.2. Variáveis associadas ao treinamento com pesos

É bem conhecido que o treinamento resistido é eficiente para melhorar tanto o desempenho físico¹⁷, quanto os aspectos relacionados a saúde¹⁶. Um componente fundamental para um bom programa de treinamento resistido é o desenho do programa, além da motivação e dedicação do praticante em seguir as recomendações. Um programa de treinamento resistido é composto por um grupo de variáveis que interagem entre si para promover adaptações neuromusculares. O desenho do programa enfatiza a manipulação dessas variáveis almejando o alcance de objetivos específicos e minimizando a monotonia que pode acompanhar o treinamento com pouca variação³.

Segundo Kraemer et al.¹⁷, a fim de maximizar os benefícios do treinamento resistido, é necessário respeitar os três princípios básicos do treinamento. Esses princípios são: sobrecarga, especificidade e variação. O princípio da sobrecarga diz respeito ao aumento gradual de estresse aplicado ao corpo durante o treinamento resistido. Na verdade, o treinamento resistido somente será efetivo para aprimorar a saúde e o desempenho físico se o organismo for continuamente exigido em grande magnitude para atender as demandas fisiológicas.

O princípio da especificidade refere-se às adaptações do organismo ao treinamento. As adaptações fisiológicas ao treinamento resistido são específicas de acordo com as ações musculares envolvidas, a velocidade do movimento, a amplitude de movimento, o grupo muscular treinado, os sistemas energéticos

envolvidos e a intensidade e volume do treinamento²⁷. O princípio da variação ou periodização, diz respeito ao processo sistemático de alterar uma ou mais variáveis do programa de treinamento ao longo do tempo para permitir que o estímulo do treino permaneça desafiador e efetivo. Devido ao fato do corpo humano se adaptar rapidamente aos programas de treinamento resistido, é necessário realizar algumas alterações periodicamente para permitir a progressão contínua ao treinamento²⁸.

Um programa de treinamento resistido é composto por algumas variáveis que incluem: 1) ação muscular, 2) intensidade, 3) volume, 4) estrutura da sessão de exercícios, 5) sequência dos exercícios, 6) tipo de exercícios, 7) intervalo de descanso entre as séries, 8) velocidade das repetições e 9) frequência de treinamento³. As recomendações do ACSM⁵ sobre estas variáveis estão descritas na Tabela 1, e cada uma delas será abordada no conteúdo a seguir.

Tabela 1. Recomendações atuais do ACSM para o treinamento de força muscular em adultos saudáveis.

	Iniciante	Intermediário	Avançado
Intensidade (%1RM)	60 – 70%	60-70%	80 – 100%
Nº de repetições	8 – 12	8 – 12	1 - 12
Nº de séries	1 – 3	3+	3+
Intervalo entre séries e exercícios (min)	2 - 3 (exercícios principais) 1 - 2 exercícios complementares	2 - 3 (exercícios principais) 1 - 2 exercícios complementares	2 - 3 (exercícios principais) 1 - 2 exercícios complementares
Velocidade da ação muscular	Lento - moderado	moderado	Variação de velocidade (não intencional lento - intencional rápido)
Frequência (dias)	2 – 3 ¹	3 - 4 ²	4 - 6 ²

1RM: 1 repetição máxima. ¹ todos os grupos musculares em dias alternados; ² divisão por grupos musculares

Ação muscular

Com relação às ações musculares, a maioria dos programas de treinamento resistido incluem repetições dinâmicas envolvendo contrações concêntricas e excêntricas, com as contrações isométricas desempenhando um papel secundário²⁸. Fisiologicamente, as contrações musculares excêntricas promovem maior produção de força por área muscular, envolvem a ativação de menos unidades motoras por unidade de força, requerem menor gasto energético por nível de tensão, resultando em altos níveis de lesão muscular, sendo mais conducente ao crescimento muscular que as contrações concêntricas ou isométricas³. O papel da modificação das ações musculares durante o treinamento resistido é mínimo com relação a progressão geral, devido a maioria dos programas incluírem ambos os tipos de ações musculares (concêntrica e excêntrica). Entretanto, a adição do exercício isométrico pode ser benéfica em algumas situações, por exemplo, nos programas direcionados ao fortalecimento da região lombar²⁷. Para uma progressão adequada do programa de treinamento resistido, é recomendado tanto para indivíduos iniciantes e intermediários quanto para avançados que as três formas de ações musculares sejam utilizadas⁵.

Intensidade de treino

A intensidade descreve a quantidade de carga levantada durante o treinamento resistido e é dependente da ordem de exercícios, volume, frequência, velocidade das repetições e tempo de intervalo. A intensidade tem sido utilizada como forma de descrever o nível de esforço durante o treinamento resistido³. A modificação da carga de treinamento pode afetar significativamente a resposta hormonal, neural e cardiovascular ao treinamento²⁵. A prescrição da carga de treinamento varia de acordo com o nível de aptidão e dos objetivos. Intensidades variando de 45% -60% de 1 repetição máxima (1RM) ou menos são capazes de aumentar a força em indivíduos destreinados, entretanto, intensidades moderadas a altas, em torno de 80%-85% de 1RM, são necessárias para aumentar a força muscular em indivíduos treinados²⁸.

É importante destacar que existe uma relação inversamente proporcional entre a quantidade de peso levantado e a número de repetições realizadas, sendo necessário avaliar cautelosamente o estado de treinamento e os objetivos do

praticante para decidir sobre o ajuste dessa variável²⁷.

Volume de treino

O volume de treinamento diz respeito à carga total de trabalho e é determinada pela soma do número de séries e repetições realizadas durante uma sessão de treinamento. Outro termo utilizado para descrever o volume de treino é “volume de carga”. O volume de carga é calculado pela multiplicação da carga levantada (Kg) pelo número de séries e repetições³. Diversos sistemas fisiológicos, incluindo o nervoso, metabólico, hormonal e muscular são sensíveis a modificações no volume de treinamento²⁵. As modificações no volume de treinamento geralmente são acompanhadas por alterações no número de exercícios realizados por sessão, no número de repetições realizadas por série ou o número de séries por exercício e na carga levantada (quando se refere ao volume de carga)²⁸.

Existe uma relação inversamente proporcional entre volume e intensidade, na qual o volume deve ser reduzido se maiores intensidades forem prescritas. O treinamento de força é comumente realizado com alta intensidade e baixo volume. Já para o treinamento de hipertrofia e resistência muscular utiliza-se de intensidades moderadas e baixas a, associadas a moderado e alto volume, respectivamente²⁷.

Grupos musculares

Durante a elaboração de um programa de treinamento resistido, o número de grupos musculares treinados por sessão deve ser considerado. Essencialmente três estruturas básicas de treinamento podem ser escolhidas: a) todo o corpo treinado na mesma sessão, b) região superior e inferior do corpo treinado em sessões distintas, c) um ou mais grupos musculares isolados por sessão de treinamento³. As três estruturas são efetivas em aprimorar a força, resistência e hipertrofia muscular, estando à decisão sobre qual estrutura adotar relacionada aos objetivos, tempo disponível e preferências pessoais do praticante ou atleta²⁷.

As maiores diferenças entre essas estruturas de treinamento são: a) diferença do grau de especialização (exemplo: três a quatro exercícios para um grupo muscular específico podem ser realizados em uma estrutura de treino parcelada por grupamentos musculares em comparação a um ou dois exercícios por grupo muscular na estrutura de treino de todo o corpo) e b) quantidade de descanso entre as sessões de treinamento (exemplo: os principais grupos musculares podem ser

treinados de forma isolada 1 ou 2 vezes por semana, de 2 a 3 vezes por semana na divisão em região superior e inferior e 3 vezes ou mais nos treinamentos que envolvem todo o corpo)²⁸.

Ordem dos exercícios

A ordem dos exercícios também é uma variável importante a ser considerada no momento de organizar o programa de treinamento resistido. Segundo Ratamess³ a ordem de execução dos exercícios de um programa de treinamento resistido afeta tanto os níveis força quanto o desempenho geral dos exercícios realizados. É possível trabalhar com cargas mais elevadas e atingir um número maior de repetições nos primeiros exercícios realizados na sessão de treinamento devido a menor presença de fadiga. É importante destacar que o desempenho dos exercícios multiarticulares declina quando estes são realizados no final da sessão²⁵. Assim, considerando que os exercícios multiarticulares têm um papel fundamental no desenvolvimento da força, potência e hipertrofia muscular, estes exercícios devem ser realizados no início da sessão de treinamento quando a fadiga é mínima²⁸.

O ACSM⁵ recomenda para indivíduos iniciantes, intermediários e avançados que, para as três estruturas básicas de treinamento (todos os grupos musculares treinados em uma sessão, parte superior e inferior do corpo treinadas em sessões distintas e sessões de treinamento com grupos musculares isolados), os grupos musculares grandes sejam treinados antes dos pequenos, exercícios multiarticulares sejam realizados antes dos mono e bi-articulares e exercícios de alta intensidade antes dos de baixa intensidade.

Pesos livres vs. aparelhos

Outro aspecto importante a se considerar no desenho do programa de treinamento resistido é a utilização de pesos livres ou aparelhos, pois existem controvérsias acerca de qual é mais eficiente em proporcionar maiores ganhos de força. Power e Howley²⁵ relatam que tanto pesos livres quanto aparelhos são efetivos para aumentar a força, cada um com suas vantagens. Os aparelhos são considerados mais seguros e mais fáceis de utilizar além de permitir a execução de alguns exercícios que seriam impraticáveis com pesos livres, como a extensão de joelho. Além disso, os aparelhos ajudam a estabilizar o corpo e limitam o movimento em articulações específicas, também demonstram menor ativação neural quando

comparados aos pesos livres na mesma intensidade³. Diferente dos aparelhos, uma das maiores vantagens do uso de pesos livres está na possibilidade de reprodução de padrões de movimentos que imitam as necessidades de atividades específicas, tanto na coordenação intra quanto intermuscular²⁷. As recomendações do ACMS⁵ são que, no treinamento de indivíduos iniciantes e intermediários, tanto os pesos livres quanto os aparelhos sejam utilizados. Já para o treinamento resistido direcionado a indivíduos avançados, a ênfase deve recair na utilização de pesos livres, com os aparelhos sendo usados como complemento às necessidades do programa.

Intervalo de descanso

O intervalo de descanso entre as séries e exercícios é outra variável de extrema importância na organização de um programa de treinamento resistido. A definição do intervalo de descanso irá depender da intensidade do treinamento, objetivos, nível de aptidão e sistema energético visado. O intervalo de descanso entre a execução dos exercícios é influenciado pelo grupo muscular treinado, disponibilidade de equipamentos e tempo necessário para mudar ou deslocar as cargas/pesos de um aparelho, banco ou plataforma³. A quantidade de intervalo entre séries e exercícios afeta significativamente as respostas metabólicas, hormonais e cardiovasculares durante a execução de uma série de exercícios, assim como no desempenho das séries subsequentes e nas adaptações gerais ao treinamento²⁸.

Com relação ao tempo de intervalo entre séries e exercícios, Ratamess³ relata que a produção de força e potência é comprometida com intervalos curtos. Quando a recuperação é mínima, esta não permite a ressíntese adequada do ATP-CP, remoção do lactato, tamponamento de íons hidrogênio e pagamento do débito de oxigênio, entretanto esse intervalo curto é benéfico para o desenvolvimento da hipertrofia e resistência muscular.

Velocidade das repetições

A velocidade na qual as repetições de uma série de exercício é realizada pode influenciar na resposta ao treinamento resistido²⁷. Segundo Ratamess³, quando se discute velocidade de repetição, é importante destacar que a velocidade se aplica principalmente a cargas submáximas. Cargas elevadas exigem esforço máximo para serem movimentadas. Para o treinamento resistido “dinâmico e

constante” (chamado também de isotônico), reduções significativas na produção de força são observadas quando intencionalmente trabalha-se em baixa velocidade. Kraemer e Ratamess²⁷ descrevem que existem dois tipos de contrações em baixa velocidade: intencional e não intencional. As baixas velocidades não intencionais são usadas durante repetições de alta-intensidade na qual a carga ou fadiga influencia a velocidade do movimento (a velocidade resultante é lenta apesar do esforço ser máximo). Já as repetições em baixa velocidade intencionais, são usadas com cargas submáximas, onde o indivíduo tem grande controle da velocidade de execução.

Kraemer e Ratamess²⁸ relatam que existem indícios de que a ativação de unidades motoras pode ser limitada quando intencionalmente se realiza as repetições em baixa velocidade. Entretanto, realizar as repetições lentamente pode ser benéfico para aprimorar a resistência muscular localizada e a hipertrofia, mas não proporciona um estímulo adequado para melhorar a força máxima.

Frequência de treino

O número de sessões de treinamento realizadas durante um período específico de tempo pode influenciar nas adaptações ao treinamento resistido. A frequência de treinamento diz respeito ao número de vezes que certos exercícios ou grupos musculares são treinados por semana e é dependente de vários fatores como o volume e intensidade, escolha dos exercícios, nível de condicionamento, habilidade de recuperação, ingestão alimentar e objetivos com o treinamento³. Kraemer; Ratamess²⁸ destacam que o treino com cargas elevadas necessita de um período de tempo maior de recuperação antes das sessões subsequentes, especialmente para exercícios multiarticulares envolvendo grupos musculares similares.

Aparentemente a progressão do estado não treinado para intermediário não necessita de alterações na frequência de treinamento, sendo mais comum nessa transição às alterações em outras variáveis como a seleção de exercícios, volume e intensidade. É importante destacar que o aumento na frequência de treinamento possibilita uma maior especialização (exemplo: maior quantidade de exercícios por grupo muscular de acordo com os objetivos do programa)²⁷.

O ACSM ⁵ recomenda que iniciantes em programas de treinamento resistido treinem o corpo todo de 2 a 3 vezes por semana. Para indivíduos em estado

intermediário de treinamento, uma frequência de 3 a 4 vezes por semana é o indicado (3 dias se o treino for para todo o corpo e 4 dias se estiver usando uma rotina parcelada de grupos musculares). Já para indivíduos avançados, é recomendado de 4 a 6 sessões de treinamento por semana, sendo que levantadores de peso de elite ou “bodybuilders” podem ser beneficiados por frequências de treinamento ainda mais intensas, como 2 sessões de treinamento por dia.

Finalmente, o ACSM⁵ destaca em suas diretrizes que é responsabilidade crítica do profissional de Educação Física a avaliação da técnica e da posição corporal durante o treinamento resistido (ACSM, 2006). A utilização de cargas elevadas para realização de alguns exercícios só é possível com auxílio adequado de um profissional de Educação Física. Este auxílio é fundamental para minimizar os riscos de lesões neuromusculares e evitar a ocorrência de “travamento” (falha muscular precoce) durante a fase concêntrica de movimento. Logo, torna-se evidente que o profissional necessita de ferramentas que possam lhe auxiliar na conduta correta em relação ao auxílio na execução de um determinado movimento corporal, especialmente durante a realização de exercícios com pesos.

No entanto, até o momento existem poucas informações disponíveis na literatura em relação ao modo correto de auxílio para a maioria dos exercícios, fato que tem motivado os profissionais de Educação Física a adotarem estratégias empíricas no auxílio da execução apropriada dos exercícios nas academias. Assim, a proposta do presente estudo será elaborar um guia prático com informações ilustrativas sobre os procedimentos de auxílio na execução correta dos exercícios com pesos.

3. DESENVOLVIMENTO

O presente guia prático (ver material anexo) foi elaborado de acordo com as seguintes etapas:

Etapa 1: Escolha dos exercícios

A escolha dos exercícios que compõem o guia e do procedimento de auxílio referente aos mesmos foi realizada mediante um consenso entre o conhecimento prévio dos pesquisadores e de profissionais de Educação Física que atuam no âmbito das academias de musculação da cidade de Umuarama-PR e Londrina-PR. Os exercícios abordados no guia, com seus devidos processos de auxílio foram: agachamento, avanço, barra fixa, crucifixo, desenvolvimento com barra, desenvolvimento com halteres, puxada alta pela frente, rosca direta com barra, rosca *scott*, supino com halteres, supino inclinado, supino reto, tríceps testa e abdução dos braços.

Etapa 2: Obtenção das imagens

Após a escolha dos exercícios, um fotógrafo profissional foi contratado para obtenção das imagens dos exercícios realizados, bem como do posicionamento correto no auxílio da execução de cada exercício selecionado. As imagens foram obtidas em uma academia de ginástica com auxílio de modelos fotográficos, sendo tratadas posteriormente com *software* Adobe Photoshop® CC.

Etapa 3: Elaboração do guia prático

O guia prático foi composto de informações ilustrativas e descritivas sobre a técnica correta de auxílio na execução dos exercícios de musculação. Para tanto, cada exercício apresenta imagens acompanhadas de uma breve descrição com informações específicas sobre a conduta correta do profissional no auxílio da execução do exercício.

Etapa 4: Arte final do guia prático

Após a escolha das fotos referente a cada exercício e a descrição do conteúdo, um profissional de Design Gráfico foi contratado para concluir os processos de criação, diagramação e arte final do guia prático. Para tanto, foi utilizado o *software* Adobe Illustrator® v.23 considerando as dimensões do guia de 21,0 x 29,7cm.

Etapa 5: Solicitação do International Standard Book Number (ISBN)

O guia prático será posteriormente submetido à análise de mérito editorial, visando à solicitação do número ISBN e subsequente divulgação do material.

4. CONCLUSÃO

Esperamos que este guia prático possa atuar como uma ferramenta facilitadora no processo de ensino-aprendizagem dos procedimentos de auxílio na execução dos exercícios com pesos em diferentes contextos da saúde (ex: praticantes recreacionais de academia) e esporte (ex: fisiculturistas e levantadores de peso), além de contribuir com profissionais de Educação Física na compreensão, sistematização e aplicação da conduta adequada de supervisão e auxílio na execução dos exercícios durante as sessões de treino resistido, a fim de alcançar os objetivos propostos com maior efetividade e segurança.

5. REFERÊNCIAS

1. *International Health, Racquet & Sportsclub Association (IHRSA). Relatório do Mercado Latino-Americano de Academias. IHRSA, 2012.*
2. *Bertevello G. Academias de Ginástica e condicionamento físico: Sindicato e Associações In: Da Costa, L. (ORG). Atlas do esporte no Brasil. Rio de Janeiro: CONFEF, 2006. Disponível em: <http://www.atlasesportebrasil.org.br/home.php>*
3. *Ratamess NA. ACSM foundations of strength training and conditioning. American College of Sports Medicine, 2012.*
4. *American College of Sports Medicine (ACSM). Recursos do ACSM para o Personal Trainer. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.*
5. *American College of Sports Medicine (ACSM). Progression Model in Resistance Training for Healthy Adults (Position Stand). Med Sci Sport Exerc 41 (3):687-708, 2009.*
6. *Florindo AA, Hallal P. Epidemiologia da atividade física. São Paulo: Editora Atheneu, 2011.*
7. *Mantovani EP, Forti VAM. Epidemiologia, Atividade Física e Saúde In: Vilarta R. (ORG). Saúde coletiva & Atividade Física: Conceitos e aplicações dirigidos à graduação em educação física. Campinas: IPES Editorial, 2007.*
8. *Marques RFR. Qualidade física, atividade física e saúde: relações na busca de uma vida melhor. In: Vilarta R, Gutierrez GL. (ORG). Qualidade de vida no ambiente corporativo. Campinas: IPES editorial, 2008.*
9. *Nahas MV. Atividade Física, Saúde e Qualidade de Vida. 3ed. Londrina: Midiograf, 2003.*
10. *Brasil. Ministério Da Saúde. Vigitel Brasil 2014: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico. Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos não Transmissíveis e Promoção da Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2015.*
11. *Dumith SC, Domingues MR, Gigante DP. Epidemiologia das atividades físicas praticadas no tempo de lazer por adultos do Sul do Brasil. Rev. Bras. Epidemiol 12(4):646-658, 2009.*

12. Mello MT, Fernandez AC, Tufik S. Levantamento epidemiológico da prática de atividade física na cidade de São Paulo. *Rev Bras Med Esporte* 6(4):119-124, 2000.
13. Graves JE, Franklin BA. *Resistance training for health and rehabilitation*. United States: Human Kinetics, 2001.
14. Feigenbaum MS. Rationale and Review of current guidelines. In: Graves JE, Franklin BA. *Resistance training for health and rehabilitation*. United States: Human Kinetics 13-32, 2001.
15. Feigenbaum MS, Pollock ML. Prescription of resistance training for health and disease. *Med Sci Sport Exerc* 31(1): 38-45, 1999.
16. Pollock ML, Vincent KR. *Resistance Training for Health*. PCPFS Research Digest 2(8), 1996.
17. Kraemer WJ, Ratames NA, French DN. *Resistance Training for Health and Performance*. *Curr Sports Med Rep*. 1(3): 165-171, 2002.
18. Faigenbaum AD. *Youth Resistance Training*. PCPFS Research Digest 4(3), 2003.
19. Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Antropometria e Estado Nutricional de Crianças, Adolescentes e Adultos no Brasil*. Ministério da Saúde: Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009_analise_consumo/pofanalise_2008_2009.pdf> Acesso em: 09/09/2015.
20. Faigenbaum AD. *Resistance training for obese children and adolescents*. PCPFS Research Digest 8(3), 2007.
21. Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. *Effects of resistance training on older adults*. *Sports Med* 34(5): 329-348, 2004.
22. Peterson MD, Gordon PM. *Resistance exercise for the aging adult: clinical implications and prescription guidelines*. *Am J Med* 124(3): 194-198, 2011.

23. Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Demográfico 2010: Características da população e dos domicílios*. Rio de Janeiro, 2011.
24. Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Brasil em números*. Centro de Documentação e Disseminação de Informações: Rio de Janeiro, 2013.
25. Powers SK, Howley ET. *Fisiologia do Exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho*. 8ªed. Barueri: Manole, 2014.
26. Hess JA, Woollacott M. *Effect of high-intensity strength-training on functional measures of balance ability in balance-impaired older adults*. *J Manipulative Physiol Ther* 28(8): 582-590, 2005.
27. Kraemer WJ, Ratamess NA. *Progression and Resistance Training*. *PCPFS Research Digest* 6(3), 2005.
28. Kraemer WJ, Ratamess NA. *Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription*. *Med Sci Sport Exerc* 36(4): 674-688, 2004.

EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO SOBRE A FREQUÊNCIA CARDÍACA E A PERDA HÍDRICA EM JOGADORES DE VOLEIBOL

Alan Pablo Grala¹ (UNIPAR), Mário Carlos Welin Balvedi² (UNOPAR), Douglas Kratki da Silva² (UNOPAR), Walquíria Batista de Andrade² (UNOPAR), Guilherme Atsushi Muraoka² (UNOPAR), Andreo Fernando Aguiar² (UNOPAR). ¹Departamento de Educação Física, UNIPAR, Umuarama, Paraná, Brasil. alanpablo@unipar.br

Introdução: A prática de exercícios físicos em ambientes com temperaturas elevadas pode gerar sobrecarga nos sistemas fisiológicos e, potencialmente, resultar em um estado de desidratação e redução do desempenho físico. No entanto, nenhum estudo foi conduzido até o momento, para determinar se a realização do treinamento físico em ambientes com elevado estresse térmico poderia afetar o estado de hidratação e frequência cardíaca (FC) em atletas jovens de voleibol.

Objetivo: Investigar os efeitos de diferentes condições de estresse térmico (normal ou elevado) sobre o estado de hidratação e frequência cardíaca em atletas jovens de voleibol. **Metodologia:** Participaram do estudo 09 indivíduos do gênero masculino (idade: $16,5 \pm 0,9$ anos) integrantes da equipe juvenil de voleibol do município de Umuarama. A FC e estado de hidratação foram avaliados após duas sessões de treino com similar volume (duração 85 min.) e intensidade, porém com diferentes condições de estresse térmico ambiental (Normal: $22,62^{\circ}\text{C}$ e Elevado: $26,55^{\circ}\text{C}$). O estresse térmico (WBTG) no ambiente de treino (ginásio) foi mensurado por meio de um termômetro de globo modelo ITWTG2000 (INSTRUTEMP[®]) devidamente calibrado. A FC foi mensurada por meio do equipamento Suunto Team Pod (SUUNTO[®]) e o estado de hidratação foi calculado pela diferença entre o peso corporal no início e final das sessões de treinamento. Para análise dos dados foi utilizado o teste T pareado (amostras dependentes). O índice de significância adotado foi de $P > 0,05$. **Resultados:** Houve similar ($P > 0,05$) índice de perda hídrica (WBTG; Normal: $0,6 \pm 0,2$ vs. Elevada: $0,4 \pm 0,38$ Kg) e taxa de FC (Normal: $135,5 \pm 16,3$ vs. Elevada: $141,5 \pm 21,5$ bpm), para ambas as condições de estresse térmico (normal e elevado). **Conclusão:** Os resultados indicam que uma pequena variação no estresse térmico ambiental pode não resultar em marcantes efeitos sobre a perda hídrica e FC, indicando que as condições ambientais podem não refletir a sobrecarga fisiológica interna.

Palavras-Chave: estresse térmico; voleibol; FC.

Grala AP, Balvedi MCW, Silva DK, Andrade WB, Muraoka GA, Aguiar AF. Efeito do estresse térmico sobre a frequência cardíaca e a perda hídrica em jogadores de voleibol. VI Congresso Internacional de pedagogia do Esporte (VI CIPE). Maringá, Paraná, Brasil, 2015. p.21.

APÊNDICE B – **Artigo Científico**

Free leucine supplementation does not increase muscle mass and strength during resistance training in untrained young subjects

Andreo Fernando Aguiar¹, Alan Pablo Grala¹, et al.

¹ Center of Research in Health Sciences, North University of Paraná (UNOPAR), Londrina, Paraná, Brazil

Este artigo será submetido para publicação no *European Journal of Nutrition* (Qualis A1)

Corresponding author: Andreo Fernando Aguiar (✉)

✉ Center of Research in Health Sciences, North University of Paraná (UNOPAR), Avenue Paris, 675, Jardim Piza, CEP: 86041-120, Londrina, PR, Brazil. Tel: +55 4399523813, Fax: +55 4333717725, email: afaguiarunesp@gmail.com

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study was to examine the effects of free leucine supplementation on the skeletal muscle mass and strength during a resistance training (RT) program in previously untrained young subjects. *Methods:* In a double-blind, randomized, placebo-controlled study, 20 healthy young (age of 22 ± 2 y) subjects assigned in a double-blind manner to either a placebo-supplemented (PLA, $N = 10$) or leucine-supplemented (LEU, $N = 10$) group. Both groups underwent an 8-wk hypertrophic RT program (2 days \cdot wk $^{-1}$), consuming an equivalent amount of either leucine (3.0 g \cdot day $^{-1}$ in a single dose post-training) or placebo (cornstarch). Quadriceps muscle strength (training load) and hypertrophy (cross-sectional area [CSA]) of the vastus lateralis (VL) and rectus femoral (RF) muscles were assessed before and after the 8-wk intervention period. *Results:* There was a similar improvement in the muscle strength (Leg press, LEU: +33% vs. PLA: +37%; $P > 0.05$, and knee extension, LEU: +31% vs. PLA: 34%; $P > 0.05$) and hypertrophy (VL, LEU: 8.9% vs. PLA: 9.6%; $P > 0.05$, and RF, LEU: +21.6% vs. PLA: + 16.4%; $P > 0.05$) in the both groups from pre- to post-test. Additionally, no significant ($P > 0.05$) differences in the daily dietary intakes were observed between the LEU and PLA groups before and after the intervention period. *Conclusion:* We conclude that free leucine supplementation (3.0 g \cdot d $^{-1}$ post-training) does not increase muscle strength and mass during RT in healthy young subjects with adequate dietary protein intake.

Keywords: leucine, resistance training, nutrition, supplementation, protein, amino acids

INTRODUCTION

Muscle mass gain is mainly attributed to an increase in muscle protein synthesis (MPS) rates through a process regulated by mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling pathway (Wang, 2006). This process is dependent on proper intake of essential amino acid (EAAs), of which are part the members of the branched-chain amino acid (BCAAs) that include leucine, isoleucine and valine (Blomstrand et al. 2006).

Particularly, the Leucine (Leu) supplementation has been shown to increase the acute MPS rates in several conditions (Anthony et al. 2000; Koopman et al. 2006; Dreyer et al. 2008). For example, Anthony et al. (2000) showed that Leu administration (1.35 g/kg body weight) promoted greater increase in MPS rates and stimulation of mTOR signaling pathway in skeletal muscle of food-deprived rats. Additionally, Dreyer et al. (2008) reported a greater MPS rates at 2h postexercise in the young men that consumed a beverage containing Leu-enriched EAAs compared to control group (no beverage). This additional effect of Leu supplementation on MPS rate was also observed in young (20 ± 1 yr) and elderly (75 ± 1 yr) men that consumed a beverage containing CHO plus protein and free Leu (CHO + Pro + Leu) compared with the ingestion of CHO only, after performing 30 min of standardized activities of daily living (Koopman et al. 2006). Collectively, the results of those studies and several others (Churchward-Venne et al. 2012, 2014; Luiking et al. 2014) suggest that Leu supplementation may be favorable to augment protein synthesis.

However, previous studies that investigated the chronic effects of Leu supplementation on direct gain of muscle mass (e.g., increased cross-sectional area [CSA] of skeletal muscle) have shown contradictory results (Coburn et al. 2006; Verhoeven et al. 2009; Leenders 2011). Cobrun et al. (2006) founded a greater increase in the muscle strength but not hypertrophy (quadriceps muscle CSA) in young men supplemented with whey protein (20 g) plus Leu (6.2 g/d), compared to placebo group (26.2 g of maltodextrin), after 8 wk of

resistance training. This lack of effect of Leu supplementation on muscle mass was also observed in healthy elderly men (Verhoeven et al. 2009) and elderly men with type 2 diabetes (Lenders et al. 2011) after 12 wk and 24 wk of nutritional intervention (7.5 g/d), respectively. Additionally, it has been shown in previous chronic studies (4–10 weeks) that Leu supplementation combined with EAAs, creatine, whey protein, and/or CHO do not promote greater increase in muscle strength than training alone (Antonio et al. 2000; Williams et al. 2001; Ratamess et al. 2003; Chromiak et al. 2004). Therefore, it is still controversial whether the increased MPS rates induced by Leu supplementation are, in fact, translated into real gains in muscle mass and strength, principally during long-term resistance training programs.

The present study was conducted to expand on the above observations by examining the effects of free Leu supplementation combined with resistance training (RT) on skeletal muscle performance in previously untrained young subjects. Given that Leu may increase acute MPS rates following exercise, we hypothesized that free Leu supplementation would further increase the muscle mass and strength compared to RT alone (placebo intake). This is the first study, to our knowledge, that investigated the effects of free Leu supplementation combined with RT on skeletal muscle adaptations in untrained young subjects – a population with elevated use of nutritional supplements.

METHODS

Experimental design

A two-group, randomized, double-blind, placebo-controlled design with repeated measures was performed to examine the effects of free Leucine supplementation on muscle mass and strength during a 8-wk RT program in previously untrained young subjects (Fig. 1). For this purpose, all subjects were monitored for the strength gains (training load), nutrient intake (see *nutrient intake*), and performed Doppler ultrasound examination (see *muscle hypertrophy measurement*) on 2 separate occasions [before (M1) and after (M2) an 8-wk high-intensity RT program] following a 1-week familiarization period (see *familiarization protocol*) (Fig. 1). After baseline testing (M1), the subjects were matched according to sexes and strength values and then randomly assigned in a double-blind fashion to a leucine (LEU, $N = 10$) or placebo group (PLA, $N = 10$). Two days after the 8-week RT program, the subjects performed again the Doppler ultrasound (M2) to examine possible group-by-time interactions (Fig. 1).

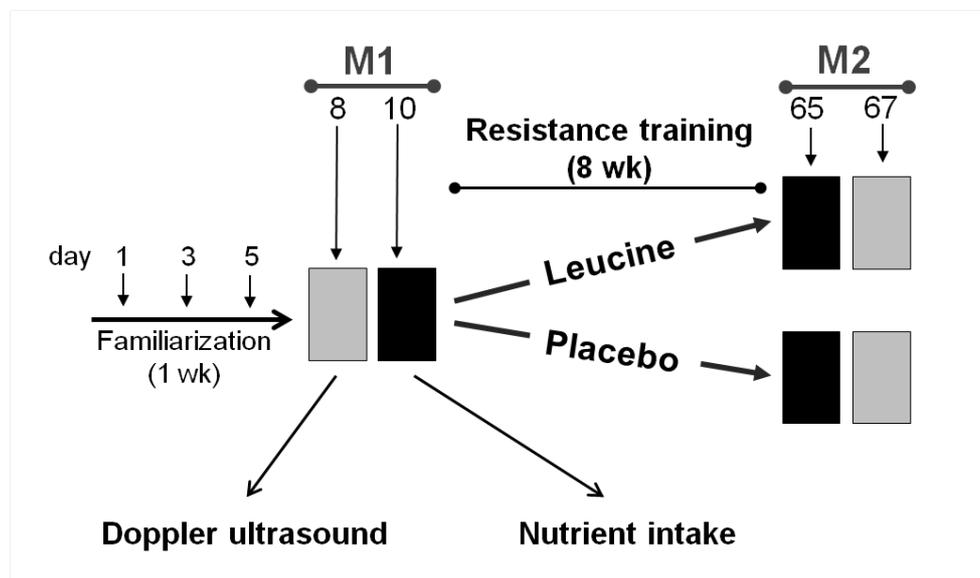


Figure 1. Experimental design

Subjects

Healthy young subjects aged 18 to 30 years were recruited via advertisements posted on the University campus to participate in the study. On the basis of a statistical power ($1 - \beta$) of 0.80, a moderately large effect size (0.5), and an overall level of significance of 0.05, 10 subjects were required in each group. Inclusion criteria included: (1) not be vegetarian, (2) have not ingested any ergogenic supplement or anabolic steroids for the 6 months prior to the start of study, (3) have not ingested any medication that could affect muscle growth or the ability to train intensely during the study, (4) had not participated in a RT program for at least 6 months prior to the start of study, (5) have a detailed description of their lifestyle and daily food intake, and (6) have medical approval for the practice of physical exercise. Twenty subjects (10 man and 10 women) who met these criteria volunteered to participate in the study. The physical characteristics of the LEU and PLA groups at baseline are presented in Table 1. All subjects were carefully informed of the purpose, procedures, benefits, risks and discomfort of the investigation and signed an informed consent document approved by the Institutional Review Board of the North University of Paraná (protocol no: 44487715.6.0000.0108). All procedures were performed according to the principles outlined in the 1964 Declaration of Helsinki.

Table 1. Baseline characteristics of the placebo (PLA) and Leucine (LEU) groups

	PLA ($N = 10$)	LEU ($N = 10$)
Age (years)	22.2 ± 2.3	22.0 ± 2.2
Body mass (kg)	67.3 ± 7.4	66.1 ± 9.6
Height (cm)	172.6 ± 6.4	171.7 ± 8.4
BMI (kg/m^2)	22.6 ± 1.3	22.3 ± 2.2

Values are mean \pm SD. *BMI* body mass index

There were no differences between the groups

Nutrient intake

To control any influence of diet, each participant completed a 3-day dietary intake record (including 1 weekend day) before (M1) and after (M2) the 8-wt RT program; standard portions were used to assess the amount of food consumed. The macronutrient amounts were calculated using software for nutritional assessment (Avanutri, version 3.1.4, Rio de Janeiro-RJ, Brazil). The participants were instructed to maintain their habitual daily diet throughout study and the water intake was *ad libitum*. The participants were also instructed to report any adverse events from the supplements on their health status during study period. The participants did not report any adverse events.

Familiarization protocol

All subjects completed a 1-week orientation program (three non-consecutive days) before randomization (LEU or PLA) for familiarization with the proper techniques of the exercises (bilateral knee extension and leg press). The protocol consisted of 3 sets of 8–12 repetitions, with 1 min rest between the sets and exercises. Qualified personnel individually supervised each participant during the familiarization period. Maximal effort in each exercise was requested during the last two sessions to reduce any learning effects during training period. All familiarization sessions and physical tests were performed at the same location, between 6 and 9 p.m.

Resistance training

Both the LEU and PLA groups trained under the same training regime (2 days·wk⁻¹; 3 sets of 8–12 repetitions, with 1 min rest between sets and exercises) during an 8-week RT program designed to promote muscle hypertrophy (American College of Sports Medicine 2009). The training program focused on quadriceps muscles (e.g., rectus femoral [RF] and vastus lateralis [VL]) using two commercial exercise machines (Nakagym equipment, São Paulo, Brazil) on the following order: (1) bilateral leg press and (2) knee extension exercises. For both

exercises the cadence of repetitions was 30 repetitions per minute (1 s concentric: 1 s eccentric), which was controlled with a metronome. Each training session began with general (moderate walking on treadmill for 10 min) and specific (1 set of 12 repetitions with a self-selected load) warm-up exercises for quadriceps muscle. Qualified personnel supervised individually each participant during every workout. Each subject received a training logbook, in which the researchers recorded the weekly training load used for each exercise. The training load was adjusted every 15 days according to number of repetitions performed at the end of the third set of each exercise. Specifically, 2 kg-loads was added every one repetition that exceeded the 12 repetitions of third set of each exercise. At the end of each session, the muscles exercised were stretched for approximately 5 min. The total time of one training session for each participant was approximately 30 min. The sessions were performed between 6 and 9 pm.

Supplementation

The LEU group was given 3 g/day (single dose after the training session) of orally administered, encapsulated leucine (Probiótica®) dissolved in water (200 ml), whereas the PLA group ingested an identical looking and equivalent amount of the placebo (as cornstarch) in a double-blind and randomized manner. The leucine and placebo were analyzed for purity and validated prior to the study. To ensure the double-blind design, an individual who was not involved in the study was responsible for placing the supplements into bags and labeling the capsules with the subjects' names according to the randomization list. We chose to provide 3 g of leucine because such a dose would be safe and well tolerated when consumed orally (Verhoeven et al. 2009) and similar doses (e.g., 3.4 - 5g) have been reported to increase the MPS rate in young subjects (Stark et al. 2012; Wilkinson et al. 2013; Churchward-Venne et al. 2014).

Muscle hypertrophy measurement

A B-mode ultrasound Doppler (model MEDISON® X8; Goiânia, Goiás, Brazil) equipped with a 7.5-MHz linear-array probe was used to assess the cross-sectional area (CSA) of the VL and RF muscles, according to a previously validated procedure (Lixandrão et al. 2014) (Fig. 2). Briefly, axial images of the VL and RF muscles were obtained with the probe placed perpendicular to the tissue interface, without depressing the skin, under a thick layer of water-soluble transmission gel. Measures were taken on the dominant leg with the participants placed in the supine position on a stretcher, maintaining their muscle relaxed. The upper border of the lower third of distance between trochanter major and epicondylus lateralis of the femur was considered as the point of reference. To avoid any influence of the muscle swelling on measures, images were obtained 48 hours before starting the training program, and after the last training session. The captured images were reconstructed with the PowerPoint program (Microsoft, Seattle, USA) and then transferred to an image analysis software (ImageJ®, model 1.48v) for measuring the CSA of the VL and RF muscles. The muscles CSA were outlined manually 3 times by same rater blinded in respect to treatments and time point, and the CSA was determined as the average of the 3 measures. To establish measurement reliability, the same experienced rater performed all measurements. Ultrasound has been validated in previous studies (Schoenfeld et al. 2015, 2015) as a reliable measure to hypertrophic changes. Previous analysis revealed a strong and significant intra-rater reliability (test-retest) for the RF (ICC: 0.98) and VL (ICC: 0.99) CSA measurements

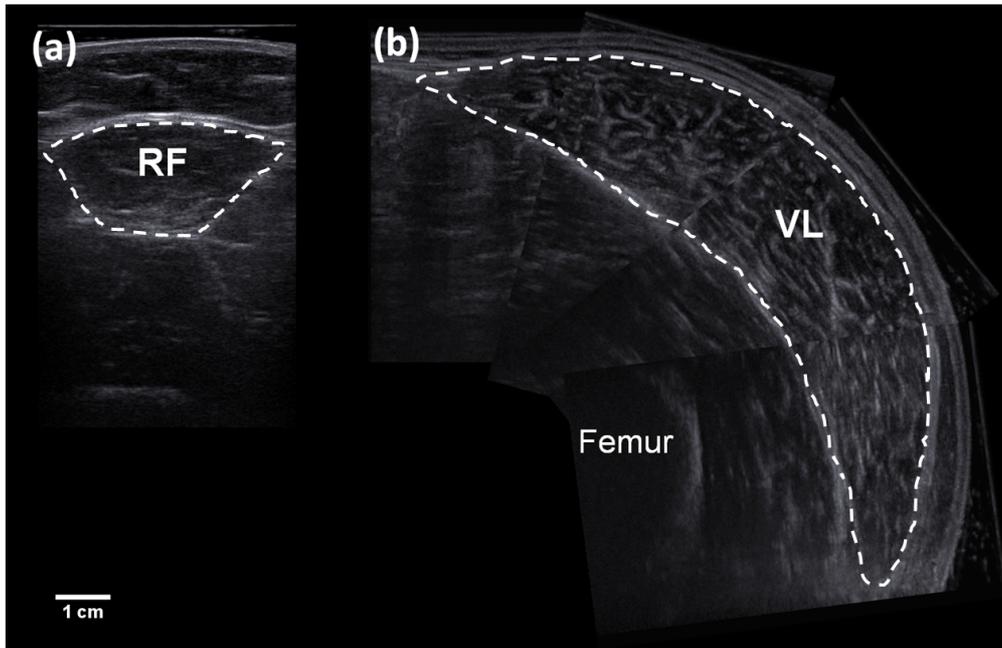


Figure 2. Ultrasonography images of rectus femoris (A) and vastus lateralis (B) muscles taken from a representative placebo subject showing the cross-sectional area measurement.

Statistical analyses

Data are expressed as means \pm SD. The normality and homogeneity for outcome measures were tested using the Shapiro–Wilk’s and Levene’s tests, respectively. Baseline characteristics between groups were compared using an unpaired student’s *t* test. A 2 (group: PLA vs. LEU) \times 3 (time: basal, 4, and 8 weeks) ANOVA with repeated measures was used to evaluate the data across time and between groups for the muscle strength (training load). A 2 (group: PLA vs. LEU) \times 2 (time: pre- and post-test) ANOVA with repeated measures was used to evaluate the data across time and between groups for the muscle CSA and nutritional intake (dependent variables). All analyses were done on the raw data. When significant differences were confirmed with ANOVA, multiple comparisons testing was performed using Bonferroni post hoc analysis to identify these differences. The level of significance was set at $P \leq 0.05$. Statistical analyses were performed using SPSS statistical analysis software (SPSS version 20.0; Chicago, IL, USA).

RESULTS

Participant characteristics

All participants (PLA, $N = 10$; LEU, $N = 10$) who began the 8-week RT program completed the study. The baseline characteristics of the subjects are presented in Table 1. All groups had similar ($P > 0.05$) baseline physical characteristics.

Nutrient intake

The nutrient intake for each group is presented in Table 2. No significant ($P > 0.05$) differences in the daily dietary intakes were observed between the LEU and PLA groups before and after the 8-week intervention period (Table 2). Additionally, both groups had an adequate intake of CHO and proteins at pre- and post-training, according to the recommendations proposed in the: Dietary reference intakes (DRI): the essential guide to nutrient requirements (2006)

Table 2. Macronutrients intake (percentage of grams)

	PLA ($N = 10$)	LEU ($N = 10$)
Carbohydrate (%)		
Pre	61.1 \pm 2.6	60.6 \pm 3.6
Post	62.2 \pm 1.7	61.3 \pm 4.3
Protein (%)		
Pre	23.5 \pm 2.4	23.9 \pm 2.1
Post	23.8 \pm 2.8	24.2 \pm 3.2
Fat (%)		
Pre	15.4 \pm 2.5	15.5 \pm 2.6
Post	14.0 \pm 2.8	14.5 \pm 3.3

Values are mean \pm SD. There were no differences between groups

Muscle strength

The muscle strength (training load) for each group is presented in Fig. 3. A significant ($P < 0.05$) time effect demonstrated a similar improvement in the muscle strength for the leg press (LEU: +33% vs. PLA: +37%; $P > 0.05$) and knee extension (LEU: +31% vs. PLA: 34%; $P > 0.05$) exercises in the both groups from pre- to post-test.

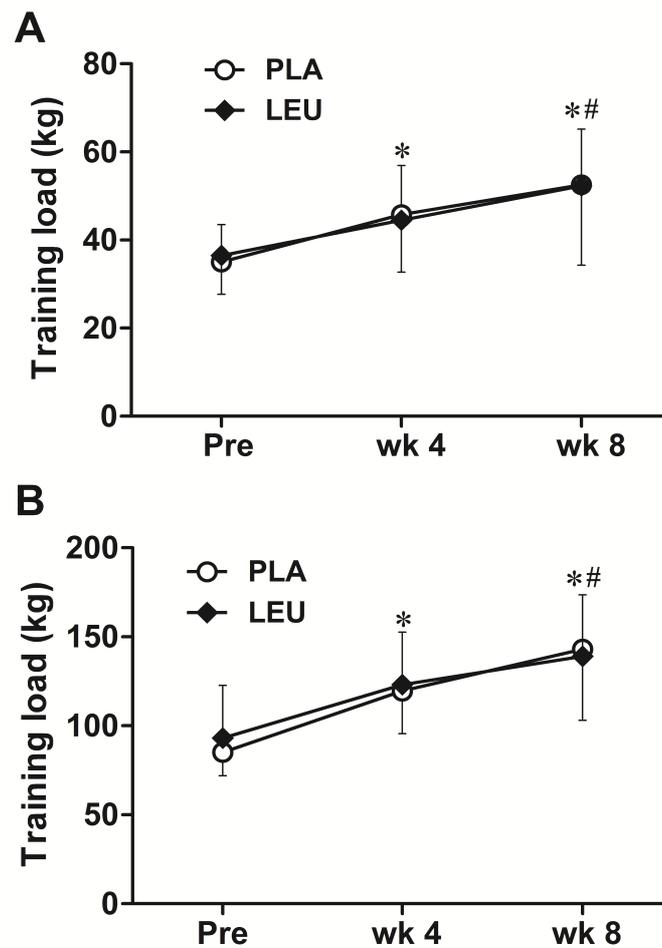


Figure 3. Training load for knee extension (A) and leg press (B) exercises in the leucine (LEU, N = 10) and placebo (PLA, N=10) groups throughout 8-wk training program.

Muscle hypertrophy

A representative RF and VL muscles axial image used to hypertrophic measurement is shown in Fig. 2, and the corresponding data are presented in Fig. 4. A significant ($P < 0.05$) time effect demonstrated a similar increase in the VL (LEU: 8.9% vs. PLA: 9.6%; $P > 0.05$) and RF (LEU: +21.6% vs. PLA: + 16.4%; $P > 0.05$) muscles CSA in the both groups from pre- to post-test.

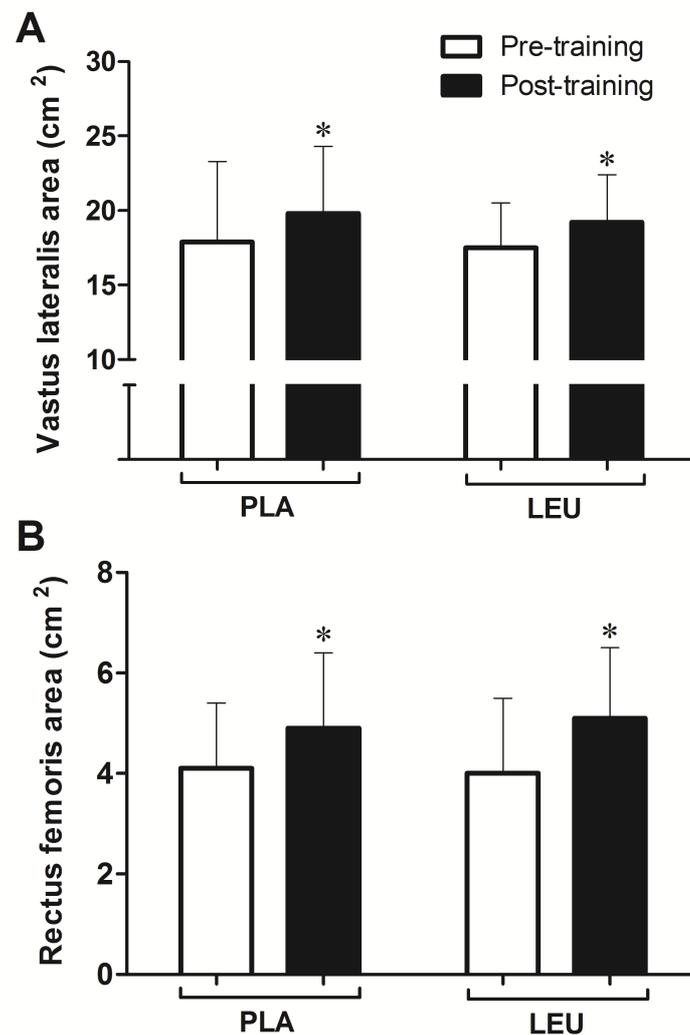


Figure 4. Cross-sectional area of the vastus lateralis (A) and rectus femoris (B) in the leucine (LEU, N = 10) and placebo (PLA, N=10) groups before and after the 8-wk training program.

DISCUSSION

To the best of our knowledge, this is the first study to examine the effects of free Leu supplementation combined with RT on the muscle mass and strength in previously untrained young subjects. Given that Leu supplementation may increase acute MPS rates following exercise (Churchward-Venne et al. 2012, 2014; Luiking et al. 2014), we hypothesized that free Leu supplementation would further increase the muscle mass and strength compared to RT alone (placebo intake). The major findings of this study were that free Leu supplementation does not improve muscle mass and strength during RT in previously untrained young subjects with adequate protein intake.

To control any influence of diet on muscle strength and mass gains, we evaluated the macronutrients intake before and after the 8-wk RT program. Both PLA and LEU groups had a sufficient protein (~ 23%) and CHO (~ 60%) intake throughout intervention period, indicating that any additional effect of free Leu supplementation was not influenced by macronutrients intake. With this controlled variable our results indicated that free Leu supplementation (LEU group) does not promoted any additional effect on muscle strength and mass compared to training alone (PLA group). The lack of effect of Leu supplementation on muscle strength is perhaps not surprisingly considering previously published data on Leu supplementation plus other nutrients (e.g., amino acids and CHO) during resistance training in humans (Antonio et al. 2000; Williams et al. 2001; Ratamess et al. 2003; Chromiak et al. 2004). Antonio et al. (1) showed no additional effect on muscle strength in EAA-supplemented group (average daily dose of 18.3 g of EAAs in pill form with 1.83 g of leucine per 10 g of EAA) compared to placebo group (cellulose) after 6 weeks of resistance and aerobic training ($3x \cdot wk^{-1}$) in previously untrained young women. Likewise, Ratamess et al. (30) found a similar increase in 1RM squat and bench press strength between amino acids-supplemented group ($0.4 \text{ g} \cdot \text{kg body weight}^{-1}$, with 27.2 g of leucine per 100 g of amino acids)

and placebo (powdered cellulose) after a 4-wk RT program in resistance-trained men. Williams et al. (38) also found no difference in isometric, isokinetic, or 1RM strength gains between amino acid/glucose-supplemented group (containing 11% leucine) and a placebo (0.5 g dried milk powder, artificial sweetener, water, lemon flavoring, and coloring) after a 10-wk RT program. The results of these studies and others (Chromiak et al. 8) indicate that Leu supplementation combined with others amino acids and CHO does not result in greater muscle strength gains than RT alone. However, it is important to note in the above mentioned studies that the Leu was consumed in combination with other amino acids and/or CHO compared to placebo (without the same mix of nutrients). Although these studies have reported no beneficial effects of Leu on muscle strength, their methodological designs do not allow analyzing the isolated effects of Leu supplementation on muscular adaptations. Here, we are showing for the first time that Leu supplementation ($3.0 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$) alone does not promote any additional effect on muscle strength during RT in previously untrained young subjects with adequate protein intake. In agree with our observations, previous studies using a higher dose of free Leu ($7.5 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$) have also shown no additional effect on muscle strength in healthy elderly men (Verhoeven et al. 2009) and elderly men with type 2 diabetes (Leenders et al. 2011) after 12 wk and 24 wk of nutritional intervention (without any exercise stimulus), respectively. Thus, the lack of additional effects of free Leu supplementation on muscle strength observed in our study and others (Verhoeven et al. 2009; Lenders et al. 201) may not be attributed to a dose-dependent effect and/or different training regimes (e.g., volume, intensity, and exercise type), confirming in fact that may be premature to recommend the use of free Leu supplementation to increase muscle strength.

Additionally, there was no additional effect of Leu supplementation (LEU group) on muscle mass gains compared with the RT alone (PLA group). This result is contradictory with the findings of previous animal (Anthony et al. 2000) and human (Koopman et al. 2006;

Dreyer et al. 2008; Luiking et al. 2014) studies that investigated the effects of Leu supplementation on MPS rates. Considering that Leu intake has been described to increase MPS, it is unclear why Leu supplementation did not promote additional gain in muscle mass in the current study. There are two possibilities that might explain this paradox. First, the human studies (Koopman et al. 2006; Dreyer et al. 2008; Luiking et al. 2014) that found an increase in MPS rate following Leu supplementation used a combination of nutrients (e.g., EAAs, whey protein, and/or CHO), and the placebo group was not equivalent to the amount and type of nutrients. For example, Dreyer et al. (2008) investigated the effects of a beverage containing Leu-enriched EAAs compared to control group (no beverage) after a single bout of RT. Koopman et al. (2006) conducted a study with young (20 ± 1 yr) and elderly (75 ± 1 yr) men that consumed a beverage containing CHO plus protein and free Leu (CHO + Pro + Leu) compared with the ingestion of CHO only, after performing 30 min of standardized activities of daily living. Additionally, Luiking et al. (2014) examined the effects of a high whey protein, leucine-enriched supplement (20g whey protein, 3g total Leu) compared to an isocaloric milk protein control (6g milk protein), immediately after a unilateral resistance exercise. With the experimental design of these studies it is not possible to discriminate the isolated effects of Leu supplementation, thereby suggesting that other nutrients (e.g., amino acids, proteins, and/or CHO) might have contributed to the increase in MPS. This hypothesis is consistent with previous studies that showed a further increase in MPS or muscle mass after consumption of a nutrients mixture (e.g., amino acids and/or proteins) containing Leucine (et al. 2006; Dreyer et al. 2008; Churchward-Venne et al. 2012; Luiking et al. 2014) but not leucine alone (Verhoeven et al. 2009; Lenders et al. 2011), suggesting that the efficacy of Leu may depend on the presence of other amino acids. This could explain, at least partially, the lack of additional effects of free Leu supplementation on muscle mass observed in our study.

Second, the lack of effects of Leu supplementation on muscle mass may be due to our sample of healthy young subjects - with adequate protein intake and capacity of protein synthesis. Previous animal and human studies that found an additional effect of Leu supplementation on MPS have recruited subjects with dietary restriction (e.g., food-deprived rats) (Anthony et al. 2000) or reduced capacity of MPS synthesis (e.g. aging or cancer cachexia) (Katsanos et al. 2006; Dardevet et al. 2002; Peters et al. 2011). For example, Anthony et al. (2000) showed that free Leu administration (1.35 g/kg body weight) promoted greater increase in MPS rate and stimulation of mTOR signaling pathway in skeletal muscle of food-deprived rats. Additionally, it has been shown that acute Leu supplementation may restore the postprandial stimulation of MPS in old rats (Dardevet et al. 2002) and attenuate muscle wasting in cancer cachexia mice with higher skeletal muscle-protein breakdown (Peters et al. 2011). Taken together, the results of these above mentioned studies suggest that Leu intake may be a favorable strategy to increase MPS in conditions in which there is severe protein deficit (e.g., food restriction) or reduced MPS rate (e.g. aging or cancer). However, it seems that Leu supplementation does not promote additional effects on MPS rate in subjects with adequate capacity of protein synthesis; Katsanos et al. 2006 showed that increase of MPS rate after ingestion of small amounts of EAAs (26% Leu) was maximized by ingestion of Leu-enriched EAAs (41% Leu) in elderly subjects, but not young, suggesting that additional effects of Leu supplementation on muscle anabolism may be dependent of capacity of prior protein synthesis - given that elderly present a blunted MPS response to food intake (Rennie, 2005; Cuthbertson et al. 2005). Additionally, previous studies have been shown no anabolic effect of Leu supplementation on skeletal muscle when a sufficient protein amount was ingested (Koopman et al. 2009; Verhoeven et al. 2009; Leenders et al. 2011). Therefore, the lack of a significant effect of free Leu supplementation on muscle mass in our health young subjects may be due to adequate protein intake and preserved capacity of protein

synthesis, indicating that Leu supplementation may be necessary for only individuals with inadequate protein intake and reduced capacity of protein synthesis.

In conclusion, our data indicate that Leu supplementation alone does not increase skeletal muscle mass and strength during resistance training in untrained healthy young subjects with adequate dietary protein intake, and that the anabolic effects of Leu on skeletal muscle may be dependent on the presence of other amino acids. Further studies are required to determine whether Leu supplementation alone is capable of stimulating the mTOR signaling pathway in human skeletal muscle during long-term resistance training.

REFERENCES

1. American College of Sports Medicine (2009) American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41:687–708
2. Anthony JC, Yoshizawa F, Anthony TG, Vary TC, Jefferson LS, Kimball SR (2000) Leucine stimulates translation initiation in skeletal muscle of postabsorptive rats via a rapamycin-sensitive pathway. *J Nutr* 130(10):2413-9
3. Antonio J, Sanders MS, Ehler LA, Juellmen J, Raether JB, Stout JR (2000) Effects of exercise training and amino-acid supplementation on body composition and physical performance in untrained women. *Nutrition* 16:1043–1046
4. Blomstrand E, Eliasson J, Karlsson HK, Köhnke R (2006) Branched-chain amino acids activate key enzymes in protein synthesis after physical exercise. *J Nutr* 136(1):269S-73S
5. Chromiak JA, Smedley B, Carpenter W, Brown R, Koh YS, Lamberth JG, Joe LA, Abadie BR, Altorfer G. (2004) Effect of a 10-week strength training program and recovery drink on body composition, muscular strength and endurance, and anaerobic power and capacity. *Nutrition* 20(5):420-7
6. Churchward-Venne TA, Burd NA, Mitchell CJ, West DW, Philp A, Marcotte GR, Baker SK, Baar K, Phillips SM (2012) 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* 590:2751–65
7. Churchward-Venne TA, Breen L, Di Donato DM, Hector AJ, Mitchell CJ, Moore D. R. (2014) Leucine supplementation of a low-protein mixed macronutrient beverage enhances myofibrillar protein synthesis in young men: double-blind, randomized trial 1-3. *Am J Clin Nutr* 99:276–286
8. Coburn JW, Housh DJ, Housh TJ, Malek MH, Beck TW, Cramer JT, Johnson GO, Donlin PE (2006) Effects of leucine and whey protein supplementation during eight weeks of unilateral resistance training. *J Strength Res* 20(2):284-291

9. Chromiak JA, Smedley B, Carpenter W, Brown R, Koh YS, Lamberth JG, Joe LA, Abadie BR, Altorfer G. (2004) Effect of a 10-week strength training program and recovery drink on body composition, muscular strength and endurance, and anaerobic power and capacity. *Nutrition* 20(5):420-7
10. Cuthbertson D, Smith K, Babraj J, Leese G, Waddell T, Atherton P, Wackerhage H, Taylor PM, Rennie MJ (2005) Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting, aging muscle. *FASEB J* 19:422-4
11. Dardevet D, Sornet C, Bayle G, Prugnaud J, Pouyet C, Grizard J (2002) Postprandial stimulation of muscle protein synthesis in old rats can be restored by a leucine-supplemented meal. *J Nutr* 132:95-100
12. Dietary reference intakes (DRI): the essential guide to nutrient requirements (2006) Otten, Jennifer J; Hellwig, Jennifer P; Meyers, Linda D. Washington, D.C.: National Academies Press.
13. Dreyer HC, Drummond MJ, Pennings B, Fujita S, Glynn EL, Chinkes DL, Dhanani S, Volpi E, Rasmussen BB (2008) Leucine-enriched essential amino acid and carbohydrate ingestion following resistance exercise enhances mTOR signaling and protein synthesis in human muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 294(2):E392-400
14. Katsanos CS, Kobayashi H, Sheffield-Moore M, Aarsland A, Wolfe RR (2006) A high proportion of leucine is required for optimal stimulation of the rate of muscle protein synthesis by essential amino acids in the elderly. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 291:E381-387
15. Koopman R, Verdijk L, Manders RJ, Gijsen AP, Gorselink M, Pijpers E, Wagenmakers AJ, van Loon LJ (2006) Co-ingestion of protein and leucine stimulates muscle protein synthesis rates to the same extent in young and elderly lean men. *Am J Clin Nutr* 84(3):623-32
16. Leenders M, Verdijk LB, van der Hoeven L, van Kranenburg J, Hartgens F, Wodzig HKWH, Saris WHM, and van Loon LJC (2011) Prolonged Leucine Supplementation Does Not Augment Muscle Mass or Affect Glycemic Control in Elderly Type 2 Diabetic Men 1-3. *J Nutr* 141: 1070-1076

17. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Bottaro M, Chacon-Mikahil MP, Cavaglieri CR, Min LL, de Souza EO, Laurentino GC, Libardi CA (2014) Vastus lateralis muscle cross-sectional area ultrasonography validity for image fitting in humans. *J Strength Cond Res* 28(11):3293-7
18. Luiking YC, Deutz NE, Memelink RG, Verlaan S, Wolfe RR (2014) Postprandial muscle protein synthesis is higher after a high whey protein, leucine-enriched supplement than after a dairy-like product in healthy older people: a randomized controlled trial. *Nutr J* 13:9
19. Peters SJ, van Helvoort A, Kegler D, Argiles JM, Luiking YC, Laviano A, van Bergenhenegouwen J, Deutz NE, Haagsman HP, Gorselink M, van Norren K (2011) Dose-dependent effects of leucine supplementation on preservation of muscle mass in cancer cachectic mice. *Oncol Rep* 26:247-254
20. Ratamess NA, Kraemer WJ, Volek JS, Rubin MR, Gómez AL, French DN, Sharman MJ, McGuigan MM, Scheett T, Häkkinen K, Newton RU, Dioguardi F (2003) The effects of amino acid supplementation on muscular performance during resistance training overreaching. *J Strength Cond Res* 17(2):250-258
21. Rennie MJ (2005) A role for leucine in rejuvenating the anabolic effects of food in old rats. *J Physiol* 569:357
22. Schoenfeld BJ, Peterson MD, Ogborn D, Contreras B, Sonmez GT (2015) Effects of Low- Versus High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res* 29(1):2954-2963
23. Schoenfeld BJ, Ratamess NA, Peterson MD, Contreras B, Tiriyaki-Sonmez G (2015) Influence of Resistance Training Frequency on Muscular Adaptations in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res* 29(7):1821-1829
24. Stark M, Lukaszuk J, Prawitz A, Salacinski A (2012) Protein timing and its effects on muscular hypertrophy and strength in individuals engaged in weight-training. *J Int Soc Sports Nutr* 9(1):54
25. Verhoeven S, Vanschoonbeek K, Verdijk LB, Koopman R, Wodzig WK, Dendale P, van Loon LJ (2009) Long-term leucine supplementation does not increase muscle mass or strength in healthy elderly men. *Am J Clin Nutr* 89(5):1468-1475

26. Wang X and Proud CG (2006) The mTOR pathway in the control of protein synthesis. *Physiology (Bethesda)* 21:362-9
27. Wilkinson DJ, Hossain T, Hill DS, Phillips BE, Crossland H, Williams J, Loughna P, Churchward-Venne TA, Breen L, Phillips SM, Etheridge T, Rathmacher JA, Smith K, Szewczyk NJ, Atherton PJ (2013) Effects of leucine and its metabolite b-hydroxy-b-methylbutyrate on human skeletal muscle protein metabolism. *J Physiol* 591:2911e23
28. Williams AG, Van Den Oord M, Sharma A, Jones DA (2001) Is glucose/amino acid supplementation after exercise an aid to strength training? *Br J Sports Med* 35:109–113