

**Artigo original**Alexandre Hideki Okano¹Edilson Serpeloni Cyrino^{2,3,5}Fábio Yuzo Nakamura^{2,3,5}Débora Alves Guariglia^{2,5}Matheus Amarante Nascimento^{2,5}Ademar Avelar^{2,5}Antonio Carlos de Moraes^{2,4}**COMPORTAMENTO DA FORÇA MUSCULAR E DA ÁREA MUSCULAR DO BRAÇO DURANTE 24 SEMANAS DE TREINAMENTO COM PESOS****BEHAVIOR OF THE MUSCLE STRENGTH AND ARM MUSCLE AREA DURING 24 WEEKS OF WEIGHT TRAINING****RESUMO**

O propósito do presente estudo foi analisar o comportamento da força muscular e da área muscular de braço (AMBr) durante 24 semanas de treinamento com pesos (TP) e estabelecer possíveis associações entre essas variáveis. A amostra foi composta por 18 homens, com idade de 18-30 anos. Para o cálculo da AMBr, foram utilizadas as medidas de circunferência de braço relaxado e espessura de dobra cutânea de tríceps. Para a avaliação da força muscular foi utilizado o teste de uma repetição máxima (1-RM) no exercício rosca direta de bíceps. O protocolo de TP teve uma duração de 24 semanas sendo dividido em três fases (F_1 , F_2 e F_3) de oito semanas cada. Vale ressaltar que todas as medidas foram realizadas antes, durante e após o término do período de TP. ANOVA para medidas repetidas, seguida do teste *post hoc* de Tukey ($P < 0,05$), foi utilizada para as comparações entre os indicadores de força e hipertrofia muscular. O coeficiente de correlação de Pearson foi empregado para verificar as possíveis associações entre a força muscular e a AMBr. A força muscular e a AMBr aumentaram de forma contínua durante todo o período com exceção do período inicial (F_1). Sendo assim, conclui-se que durante a fase inicial de treinamento o fator neural parece ter sido o grande responsável pelo aumento da força muscular. Após esse período, o processo hipertrófico parece constituir-se gradativamente como fator essencial para os aumentos da força muscular.

Palavras-chave: Treinamento com Pesos; Força Muscular; Hipertrofia.

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the behavior of muscle strength and arm muscle area (AMA) over 24 weeks of weight training (WT) as well as to establish possible associations between these variables. The sample was composed of 18 men aged between 18 and 30 years. Measurements of relaxed arm circumference and triceps skinfold measurement were used for the calculation. Muscle strength was assessed using the one-repetition maximum test (1-RM) on the arm curl exercise. The WT protocol lasted 24 weeks, divided into 3 stages (F_1 , F_2 , and F_3) of 8 weeks each. It is important to emphasize that every measurement was made before, during and after the end of the WT period. Analysis of variance (ANOVA) for repeated measures followed by the Tukey *post hoc* ($P < 0.05$) was used to compare the indicators of muscle strength and muscle hypertrophy. Pearson's correlation coefficient was used to verify possible association between muscle strength and AMA. Muscle strength and AMA increased continuously throughout the whole period except for the initial period (F_1). Therefore, it is concluded that the initial phase of training, neuromuscular adaptation, seems to have been the turning point for increase in muscle strength. After that, the hypertrophy process appears to gradually become the essential factor for increase in muscle strength.

Key words: Weight training; Muscle strength; Hypertrophy.

1. Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Centro de Educação. Curso de Educação Física. Alagoas, Brasil.

2. Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício. GEPEMENE.

3. Universidade Estadual de Londrina (UEL). Centro de Educação Física e Esporte. Londrina, PR. Brasil.

4. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Educação Física. Campinas, SP. Brasil.

5. Universidade Estadual de Maringá (UEM). Programa de Pós-Graduação Associado em Educação Física. UEM/UEL.

INTRODUÇÃO

A prática regular e sistematizada do treinamento com pesos (TP) tem sido utilizada para a melhoria de importantes componentes da aptidão física em diferentes populações¹⁻³. Nesse sentido, as principais adaptações neuromusculares acarretadas pelo TP são a melhoria da força, resistência e potência muscular.

Com relação a força muscular as modificações induzidas pelo TP têm sido atribuídas a pelo menos dois fatores, denominados de adaptações neurais e hipertrofia muscular. As adaptações neurais compreendem os ajustes do sistema nervoso na aquisição de uma determinada habilidade motora e/ou aumento na capacidade de ativação muscular em uma determinada tarefa, que por sua vez está relacionada ao aumento no recrutamento e melhor sincronização na ativação das unidades motoras, além da redução no processo inibitório dos mecanismos protetores reflexos⁴⁻⁶. Por outro lado, a hipertrofia muscular está associada com o aumento na área de secção transversa (AST) de todo o músculo ou das fibras musculares, isoladamente^{7,8}.

Embora existam evidências sobre a relação entre a AST e o potencial de geração de força muscular, alguns estudos têm relatado que os ganhos de força muscular, observados após períodos relativamente curtos de intervenção com programas de TP (até aproximadamente 12 semanas), na maioria das vezes não são acompanhados por modificações morfológicas⁹⁻¹³, o que sugere que adaptações neurais exercem pelo menos nas primeiras semanas de treinamento um maior impacto sobre os ganhos de força muscular do que os processos hipertrofos^{5,6}.

Entretanto, acredita-se que após um período de adaptação de algumas semanas, a hipertrofia muscular possa ser fator determinante para o processo de incremento da força muscular. Considerando que para testar essas hipóteses seria necessário o acompanhamento de indicadores morfológicos e neuromusculares por períodos de tempo mais prolongados, em indivíduos submetidos a programas de TP, o propósito do presente estudo foi analisar as possíveis modificações nos níveis de força muscular e na área muscular de braço, induzidas por 24 semanas de TP com sobrecargas progressivas e estabelecer associações entre o aumento da força muscular e as modificações na área muscular do braço nos diferentes períodos de treinamento.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Amostra

Dezoito indivíduos jovens, universitários, na faixa etária de 18 a 28 anos, do sexo masculino ($22,06 \pm 2,92$ anos; $74,42 \pm 9,80$ kg; $178,47 \pm 5,42$ cm; $23,35 \pm 2,82$ kg/m²), foram selecionados voluntariamente para participar deste estudo. Como critérios iniciais de inclusão, os sujeitos deveriam ser sedentários ou moderadamente ativos (atividade física regular < 2X por

semana) e não ter participado regularmente de nenhum programa de TP ao longo dos últimos seis meses precedentes ao início do experimento. Nenhum dos sujeitos relatou histórico de disfunções metabólicas.

Esse estudo faz parte de um projeto de pesquisa mais amplo, de caráter longitudinal, que tem investigado o impacto do TP com sobrecargas progressivas sobre diferentes variáveis. Todos os sujeitos, após serem convenientemente esclarecidos sobre a proposta do estudo e procedimentos aos quais seriam submetidos, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Londrina (Protocolo 265/06), de acordo com as normas da Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde sobre pesquisa envolvendo seres humanos.

Protocolo de treinamento

O protocolo de TP foi executado em três etapas, cada qual com duração de oito semanas consecutivas, intercaladas por uma semana de intervalo, sem qualquer tipo de treinamento, para que fossem realizadas as reavaliações e reestruturações dos programas de treinamento. Em todas as etapas os protocolos de TP tiveram como finalidade o processo de hipertrofia muscular.

O protocolo de treinamento nas duas primeiras etapas envolveu uma única programação de TP que foi executada em três sessões semanais, em dias alternados (segundas, quartas e sextas-feiras ou terças, quintas e sábados). A diferença entre essas etapas foi determinada pela forma de estruturação dos programas de treinamento (escolha e ordenação dos exercícios), bem como pelo número total de exercícios executados, sendo utilizada uma montagem alternada por segmento, na primeira etapa, e uma montagem localizada por articulação, na segunda. Esse procedimento tende a gerar uma sobrecarga progressiva além de uma quebra da homeostase ao treinamento.

O programa de treinamento na primeira etapa foi composto por 10 exercícios (supino em banco horizontal, *leg press* 45°, puxada alta por trás do pescoço, mesa extensora, elevação lateral de ombros, mesa flexora, tríceps no *pulley*, panturrilha no *leg press* horizontal, rosca direta de bíceps e abdominais, respectivamente), ao passo que na segunda etapa foram utilizados 12 exercícios (supino em banco horizontal, crucifixo em banco inclinado, puxada alta por trás do pescoço, remada no puxador baixo, desenvolvimento por trás do pescoço, rosca direta de bíceps, tríceps na testa, mesa extensora, *leg press* 45°, mesa flexora, panturrilha sentado em 90° e abdominais, respectivamente). Portanto, em ambos os programas foram empregados exercícios para os diferentes grupamentos musculares. Cada exercício foi executado em três séries de 8 a 12 repetições máximas (RM) com cargas fixas. Nessas duas programações as únicas exceções foram os exercícios para os grupamentos musculares da panturrilha (15 a 20-RM) e abdômen (30 a 50-RM).

As cargas utilizadas foram compatíveis com o número de repetições máximas estipuladas para cada exercício. Os indivíduos receberam orientação para que as cargas de treinamento fossem reajustadas sempre que o número máximo de repetições preestabelecidas para cada exercício fosse atingido em todas as séries, na tentativa de que a intensidade inicial pudesse ser preservada.

Tanto as cargas iniciais quanto os reajustes periódicos nas cargas utilizadas nos diferentes exercícios foram estabelecidos com base nos resultados obtidos mediante a aplicação de testes de peso por repetições máximas¹⁴. Vale ressaltar que, em ambas as etapas, o intervalo de recuperação estabelecido entre as séries, durante cada exercício, foi de 60 a 90 s, e entre os exercícios de dois a três minutos. Embora a velocidade de execução dos movimentos não tenha sido controlada, os sujeitos foram orientados para tentarem realizar cada movimento na fase concêntrica em um a dois segundos e na fase excêntrica de dois a quatro segundos.

O protocolo de treinamento com pesos durante a terceira etapa do estudo foi dividido em duas programações (A e B). As duas programações foram executadas de forma alternada, em quatro sessões semanais (segundas, terças, quintas e sextas-feira). Todas as quartas-feiras, bem como sábados e domingos, foram utilizadas como períodos de recuperação, visando a otimização dos efeitos do treinamento.

O programa de treinamento A foi composto por nove exercícios para os grupos musculares peitoral (supino em banco horizontal, crucifixo em banco horizontal e *cross over*), ombros (desenvolvimento por trás do pescoço, elevação lateral de ombros e remada em pé), tríceps (tríceps na testa e tríceps no *pulley*) e abdômen (porções infra e supra-umbilical e oblíquos), ao passo que o programa B também envolveu nove exercícios para os grupos musculares costas (puxador alto por trás do pescoço e remada no puxador baixo), bíceps (rosca direta de bíceps e rosca alternada sentado), antebraços (rosca direta de punho), coxas (agachamento, mesa extensora e mesa flexora) e panturrilhas (panturrilha sentado em 90°).

Ambos os programas foram estruturados de acordo com uma montagem localizada por articulação. Cada um dos nove exercícios de cada programação foi executado em quatro séries. O número de repetições utilizadas em cada uma dessas séries foi 12/10/8/6 RM, respectivamente, sendo utilizado o sistema de treinamento com cargas variáveis, também conhecido como meia-pirâmide crescente¹⁴. Nessas duas programações as únicas exceções foram os exercícios para os grupos musculares panturrilha (15 a 20-RM), antebraço (12 a 15-RM) e abdômen (150 a 300-RM).

Tanto a forma de reajuste periódico das cargas de treinamento quanto os intervalos de recuperação entre as séries e os exercícios para um mesmo grupo muscular seguiram a padronização adotada nas duas etapas iniciais, descritas anteriormente.

Os sujeitos foram orientados, ainda, para não executarem nenhum outro tipo de atividade física regular sistematizada durante o período de duração

do estudo, de modo que o impacto do TP pudesse ser avaliado de forma isolada.

Teste de 1-RM

A força muscular foi determinada por meio do teste de uma repetição máxima (1-RM) no exercício rosca direta de bíceps. Esse exercício foi escolhido por ser bastante utilizado em programas de TP realizados por indivíduos com diferentes níveis de treinabilidade.

O início da testagem foi precedido por uma série de aquecimento (6 a 10 repetições) com aproximadamente 50% da carga estimada para a primeira tentativa no teste de 1-RM. Após dois minutos de repouso o teste era iniciado. Os indivíduos foram orientados para tentarem completar duas repetições. Caso as duas repetições fossem completadas na primeira tentativa, ou mesmo se não fosse completada sequer uma única repetição, uma segunda tentativa era realizada, após um intervalo de recuperação de três a cinco minutos, com uma carga superior (primeira possibilidade) ou inferior (segunda possibilidade) àquela empregada na tentativa anterior. Tal procedimento seria repetido novamente em uma terceira e derradeira tentativa caso ainda não se tivesse determinado uma única repetição máxima. A carga registrada como 1-RM foi aquela na qual cada indivíduo conseguiu completar uma única repetição máxima¹⁵.

Previamente ao início do estudo foi empregado um protocolo de familiarização na tentativa de reduzir os efeitos de aprendizagem e estabelecer a reprodutibilidade dos testes no exercício. Todos os sujeitos foram testados, em situação semelhante ao protocolo adotado, em três sessões distintas intervaladas por períodos de 48 h.

Vale ressaltar que a forma e a técnica de execução do exercício utilizado foi padronizada¹⁴ e continuamente monitorada na tentativa de garantir a eficiência do teste.

Indicadores morfológicos

A massa corporal foi mensurada em uma balança digital da marca Urano, modelo PS 180A, com precisão de 0,1 kg e a estatura foi determinada em um estadiômetro de madeira com precisão de 0,1 cm, de acordo com os procedimentos descritos por Gordon et al.¹⁶. Todos os sujeitos foram medidos e pesados descalços, vestindo apenas sunga. Após a realização dessas medidas foi calculado o índice de massa corporal, por meio da razão entre a massa corporal (kg) e o quadrado da estatura (m).

A circunferência de braço relaxado (CBR) foi obtida em duplicata, por um único avaliador, por meio uma fita métrica metálica flexível, com precisão de 0,1 cm, de acordo com as técnicas convencionais descritas por Callaway et al.¹⁷. O valor médio foi utilizado como referência. O coeficiente teste-reteste excedeu 0,98 com o erro de medida de no máximo 5%.

A espessura da dobra cutânea tricipital (DCTR) foi medida por meio de um adipômetro Lange (Cambridge Scientific Instruments, Cambridge, Maryland), com pressão constante de 10 g/mm², e precisão de 1 mm, de acordo com as técnicas descritas por Harrison et al.¹⁸.

Para tanto, três medidas foram coletadas por um único avaliador, do lado direito do corpo, sendo registrado o valor mediano. O coeficiente teste-reteste excedeu 0,97 com erro de medida de no máximo $\pm 0,5$ mm.

A área muscular do braço (AMBr) foi calculada a partir da seguinte equação¹⁹:

$$\text{AMBr (cm}^2\text{)} = \{[\text{CBR (cm)} - \pi \cdot \text{DCTR (cm)}]^2 / 4 \cdot \pi\} - 10$$

Delineamento experimental

O estudo teve uma duração de 28 semanas e foi dividido em três fases, sendo F1 que consistiu nas primeiras oito semanas (semanas 2-9) de TP, F2 que foi formada pelas oito semanas subseqüentes (semanas 11-18) de TP, além da F3, que foi a última fase de TP, tendo também uma duração de oito semanas (semanas 20-27).

Adicionalmente, medidas e avaliações foram realizadas em quatro momentos distintos (figura 1): M0 = antes do início do experimento (Semana 1), M1 = após o término da Fase 1 (semana 10), M2 = após o término da Fase 2 (semana 19), M3 = após o término da Fase 3 (semana 28). Nesses quatro momentos os sujeitos não realizaram nenhum tipo de treinamento.



M0- M3 = Momentos do estudo

F1-F3 = Etapas do treinamento com pesos

S = Semanas de duração do estudo

Figura 1. Delineamento experimental.

Tratamento estatístico

Inicialmente, o teste de Shapiro-Wilk foi empregado para confirmar a normalidade dos dados. A partir daí, Análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas foi empregada para as comparações entre os indicadores de força e hipertrofia muscular nos diferentes momentos do estudo. O teste post hoc de Tukey, foi utilizado para a localização das diferenças indicadas pela ANOVA. O coeficiente de correlação de Pearson foi empregado para verificar as possíveis associações entre o incremento dos índices de força e índices de hipertrofia muscular nos diferentes momentos do estudo. Em todas as análises o nível de significância estabelecido foi de $P < 0,05$.

RESULTADOS

Na tabela 1 são apresentados os valores médios (\pm DP) dos indicadores de força e hipertrofia muscular nos diferentes momentos do estudo. A força muscular aumentou continuamente de forma significativa em todas as fases do treinamento ($P < 0,05$), ao passo que a AMBr, também, aumentou significativamente em todas as fases do treinamento ($P < 0,05$), exceto de M0 a M1.

O percentual de incremento nos indicadores de força e hipertrofia muscular durante as 24 semanas de TP encontra-se na figura 2. A AMBr e a força no

teste de 1-RM aumentaram cerca de 3 e 6% na Fase 1 (M0-M1), 5,5 e 6% na Fase 2 (M1-M2) e 6 e 6% na Fase 3 (M2-M3), respectivamente.

Tabela 1. Valores de 1-RM no exercício rosca direta de bíceps (1-RM RD) e da área muscular de braço (AMBr), nos diferentes momentos do estudo (n = 18).

	M0	M1	M2	M3
1-RM RD (kg)	40,6 \pm 9,7	43,1 \pm 7,8 ^a	45,7 \pm 7,5 ^{a,b}	48,4 \pm 7,9 ^{a,b,c}
AMBr (cm ²)	44,3 \pm 6,6	45,6 \pm 10,1	48,1 \pm 8,8 ^{a,b}	51,1 \pm 10,1 ^{a,b,c}

^a $P < 0,05$ vs. M1; ^b $P < 0,05$ vs. M2; ^c $P < 0,05$ vs. M3.

Nota. M0 = antes do início do experimento (Semana 1), M1 = após o término da Fase 1 (semana 10), M2 = após o término da Fase 2 (semana 19), M3 = após o término da Fase 3 (semana 28).

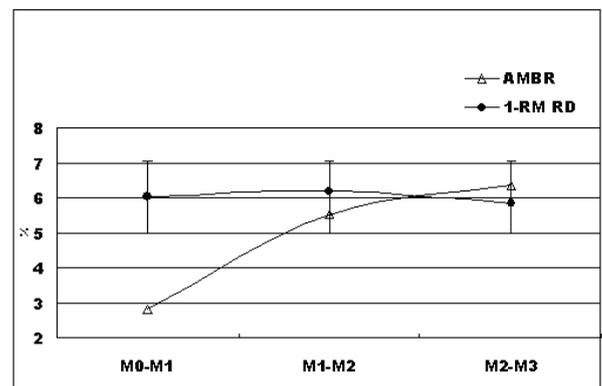


Figura 2. Percentual de aumento dos indicadores de força e hipertrofia muscular induzido pelo treinamento com pesos em diferentes períodos do treinamento.

A matriz dos coeficientes de correlação simples incluindo as informações relacionadas às modificações ($\Delta\%$) dos indicadores de força e hipertrofia muscular durante diferentes fases do treinamento são apresentadas nas figuras 3, 4 e 5. A correlação encontrada na Fase 1 foi moderada ($r = 0,48$; $P < 0,04$), seguida de incrementos significantes nas fases subseqüentes (Fase 2, $r = 0,85$, $P < 0,01$ e Fase 3, $r = 0,91$; $P < 0,01$).

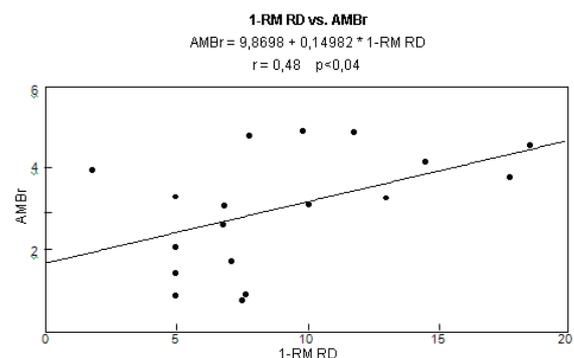


Figura 3. Associação entre aumento ($\Delta\%$) dos indicadores de força e hipertrofia muscular na fase M₀-M₁.

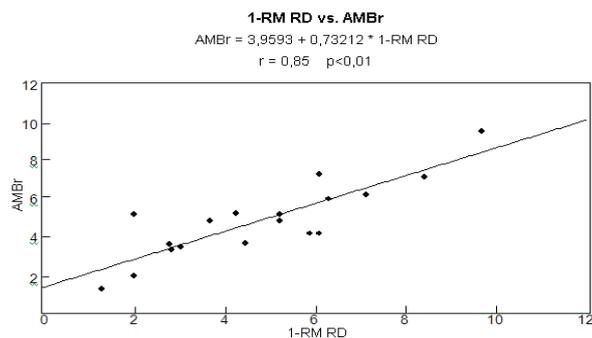


Figura 4. Associação entre aumento ($\Delta\%$) dos indicadores de força e hipertrofia muscular na fase M_1 - M_2 .

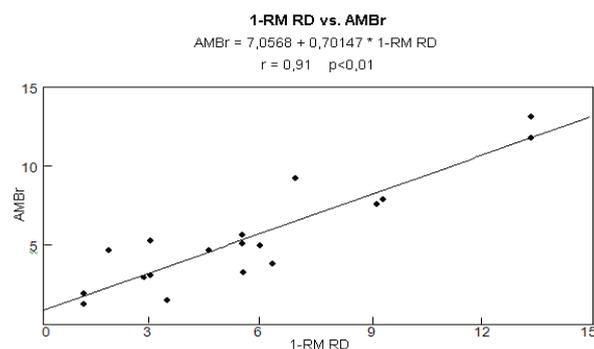


Figura 5. Associação entre aumento ($\Delta\%$) dos indicadores de força e hipertrofia muscular na fase M_2 - M_3 .

DISCUSSÃO

A sobrecarga progressiva gerada em programas de TP para hipertrofia muscular pode ser utilizada tanto para aumentar a força muscular quanto para melhorar a massa muscular, em humanos e em modelos animais. Portanto, este estudo teve como objetivo analisar as modificações na força muscular e AMBr induzidas por 24 semanas de TP, estabelecendo possíveis associações entre o ($\Delta\%$) incremento da força e na AMBr, em diferentes fases do treinamento.

Os resultados indicaram aumento significativo apenas na força muscular, sem alterações estatisticamente significantes na AMBr, após as primeiras oito semanas de TP. Considerando que a AMBr pode ser considerada um indicador hipertrófico interessante, parece que os ganhos de força muscular nas primeiras semanas de TP ocorrem de forma independente da contribuição hipertrófica. Assim, no final da primeira fase de treinamento (oito primeiras semanas) as modificações observadas na força muscular podem ter sido produto da melhoria do ajuste neural, tanto intra, como intermuscular durante a execução do movimento²⁰. Acredita-se que tais adaptações estejam atreladas ao aumento do recrutamento de unidades motoras de alto limiar, a melhoria da coordenação dos grupos musculares antagonistas, ao aumento da frequência de estimulação,

bem como a melhoria na sincronização das unidades motoras estimuladas^{21,22}. Entretanto, tais hipóteses não puderam ser confirmadas na presente investigação pela ausência de medidas diretas.

Além disso, vale ressaltar que pelo fato do presente estudo ter utilizado somente os escores de testes de 1-RM no exercício de rosca direta de bíceps como indicador de força muscular e a AMBr como indicador morfológico, deve-se ter cautela ao tentar generalizar esses achados a outros grupos musculares, visto que a hipertrofia muscular não tende a ocorrer de forma uniforme nos diferentes grupos musculares ou em regiões corporais distintas²³.

Adicionalmente, por mais que a literatura apresente evidências sugerindo que a AMBr possa ser adotada como um bom indicador morfológico, não se pode desprezar as limitações das informações geradas por essa medida quando comparada a métodos mais sofisticados que possibilitam análises mais consistentes, tais como biópsia muscular, ressonância magnética e tomografia computadorizada.

Por outro lado, na tentativa de assegurar a qualidade das informações produzidas pelo teste de 1-RM no exercício de rosca direta de bíceps, todos os indivíduos foram familiarizados previamente ao início do estudo. A importância da adoção de um processo de familiarização para execução de testes de 1-RM e as implicações associadas a não aplicação desse procedimento na análise, sobretudo, de dados longitudinais foi demonstrada recentemente²⁴.

No que diz respeito aos ganhos iniciais de força, Moritani & Devries⁹ foram os primeiros a sugerirem que esses aumentos são mediados por fatores neurais. Em oito semanas de intervenção utilizando o TP, os autores verificaram que o incremento da força nas semanas iniciais resultavam sobretudo, de adaptações neurais. No entanto, a partir da terceira semana, ambos os fatores contribuíram para o ganho de força, sendo o processo hipertrófico, o fator predominante nas semanas subseqüentes. Posteriormente, outros estudos relataram um comportamento relativamente semelhante nas fases iniciais de treinamento^{12,25-27}.

Vale destacar que em exercícios com menor número de articulações envolvidas, como o exercício rosca direta de bíceps, a contribuição das adaptações neurais aparentemente cessa mais precocemente²⁴, exigindo assim uma maior contribuição dos processos hipertróficos para ganhos adicionais de força muscular²⁸.

No presente estudo, o coeficiente de correlação entre o incremento da força muscular e da AMBr obtido na Fase 1 foi 0,48 (figura 3). Mediante o coeficiente de explicação ($r^2 \times 100$) verificou-se que apenas 23% da variação encontrada nos resultados aparentemente poderia ser explicada pelo processo hipertrófico (AMBr).

Com relação a Fase 2, após 16 semanas de treinamento, foram verificados aumentos significativos tanto da força muscular quanto da AMBr (tabela 1). Em relação ao momento inicial (M_0), o aumento da força muscular e AMBr observado em M_2 foi de

aproximadamente 13 e 9%, respectivamente. Em um delineamento semelhante, após 16 semanas de TP, outros pesquisadores²⁹ encontraram incremento de força muscular superior a este estudo no movimento de flexão de cotovelos (36%) e semelhante na AMBr (9%), o que pode ser explicado, pelo menos em parte, pelas diferenças na composição das amostras e nos protocolos de treinamento entre os estudos e, possivelmente, pela falta de familiarização prévia dos sujeitos com a tarefa motora testada, naquele estudo.

O coeficiente de correlação entre o incremento da força muscular e na AMBr obtido na Fase 2 foi 0,85 (figura 4). Nesta fase, 72% do incremento da força muscular, aparentemente, poderia ser explicado pelo aumento na AMBr, indicando que após as oito semanas iniciais o mecanismo neural tem sua participação reduzida com aumento concomitante da participação do processo hipertrófico para aquisição de força.

Por fim, na Fase 3 verificou-se aumentos significantes na força muscular e na AMBr (tabela 1). Os incrementos na força muscular e na AMBr após 24 semanas (M0-M3) foram na ordem de 19 e 15%, respectivamente. A correlação encontrada entre o incremento na força muscular e na AMBr na Fase 3 foi 0,91 (figura 5), indicando que 83% do aumento da força máxima nesta fase ocorreu, aparentemente, em virtude do aumento da AMBr.

Ao se analisar o comportamento da contribuição do processo hipertrófico sobre o aumento da força muscular nas diferentes fases do treinamento deste estudo (F1 = 23%; F2 = 72%; F3 = 83%), fica evidente a participação progressiva da hipertrofia muscular para o aumento da força muscular³⁰.

Embora exista uma tendência em se associar indiscriminadamente o desenvolvimento da força muscular com o aumento da área de secção transversal, os resultados do presente estudo indicaram que essa hipótese nem sempre é verdadeira, uma vez que os ganhos iniciais de força podem ser superiores a hipertrofia muscular observada no mesmo período. Nesse sentido, o delineamento experimental da presente investigação possibilitou uma discriminação das modificações observadas ao longo do tempo, sugerindo que a participação dos processos hipertróficos passou a ser o principal determinante para o aumento da força muscular após 19-20 semanas de intervenção (figura 2).

Entretanto, o desenvolvimento de estudos longitudinais empregando técnicas mais sofisticadas e envolvendo outros grupos musculares, indubitavelmente contribuirá para o entendimento dos mecanismos envolvidos nos processos de desenvolvimento da força muscular.

CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo sugerem que ao longo das primeiras oito semanas de TP, os fatores neurais parecem ser os grandes responsáveis pelo aumento nos níveis de força muscular. Após a oitava

semana, o processo hipertrófico passa a contribuir de maneira mais efetiva, passando a ser o principal fator determinante para o aumento da força muscular, sobretudo, a partir de 19-20 semanas de TP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American College of Sports Medicine. Position Stand: Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(2):364-80
2. Bernhardt DT, Gomez J, Johnson MD, Martin TJ, Rowland TW, Small E, et al. Strength training by children and adolescents. *Pediatrics*. 2001;107(6):1470-2.
3. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamental of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(1):674-88.
4. Jones DA, Rutherford OM, Parker DF. Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Q J Exp Physiol* 1989;74(3):233-56.
5. Moritani T. Time course of adaptations during strength and power training. In: Komi PV, editor. *The encyclopedia of sports medicine: strength and power in sport*. London: Blackwell Scientific; 1992. p.266-78.
6. Sale T. Neural adaptation to strength training. In: Komi PV. *The encyclopedia of sports medicine: strength and power in sport*. London: Blackwell Scientific; 1992. p.249-65.
7. Goldspink G. Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In: Komi PV, editor. *The encyclopedia of sports medicine: strength and power in sport*. London: Blackwell Scientific; 1992. p.211-29.
8. MacDougall JD. Hypertrophy or hyperplasia. In: Komi PV, editor. *The encyclopedia of sports medicine: strength and power in sport*. London: Blackwell Scientific; 1992. p.230-8.
9. Moritani T, DeVries HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 1979;58(3):115-30.
10. Ploutz LL, Tesch PA, Biro RL, Dudley GA. Effect of resistance training on muscle use during exercise. *J Appl Physiol* 1994;76(4):1675-81.
11. Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Gordon SE, Falkel JE, et al. Skeletal muscle adaptation during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 1994;76(3):1247-55.
12. McGinley C, Jensen RL, Byrne CA, Shafat A. Early-phase strength gains during traditional resistance training compared with an upper-body air-resistance training device. *J Strength Cond Res* 2007;21(2):621-7.
13. Newton RU, Häkkinen K, Häkkinen A, McCormick M, Volek J, Kraemer WJ. Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(8):1367-75.
14. Rodrigues CEC, Rocha PECP. *Musculação: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Sprint, 1985.
15. Clarke DH. Adaptations in strength and muscular endurance resulting from exercise. In: Wilmore JH, editor. *Exercise and Sports Sciences Reviews*. New York: Academic Press; 1973. p.73-102.
16. Gordon CC, Chumlea WC, Roche AF. Stature, recumbent length, weight. In: Lohman TG, Roche AF, Martorell R., editors. *Anthropometric standardizing reference manual*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books; 1988. p.3-8.
17. Callaway CW, Chumlea WC, Bouchard C, Himes JH, Lohman TG, et al. Circumferences. In: Lohman TG, Roche AF, Martorell R., editors. *Anthropometric*

- standardizing reference manual. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books, 1988;39-54.
18. Harrison GG, Buskirk ER, Lindsay Carter JE, Johnston FE, Lohman TG, Pollock ML, et al. Skinfold thicknesses and measurements technique. In: Lohman TG, Roche AF, Martorell R., editors. Anthropometric standardizing reference manual. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books; 1988. p.55-80.
 19. Frisancho AR. New standards of weight and body composition by frame size and height for assessment of nutritional status of adults and the elderly. *Am J Clin Nutr* 1984;40(4):808-19.
 20. Dias RMR, Cyrino ES, Salvador EP, Nakamura FY, Pina FLC, Oliveira AR. Impacto de oito semanas de treinamento com pesos sobre a força muscular de homens e mulheres. *Rev Bras Med Esporte* 2005;11(4):224-8.
 21. Kraemer WJ, Deschenes MR, Fleck SJ. Physiological adaptations to resistance exercise: implications for athletic conditioning. *Sports Med* 1988;6(4):246-56.
 22. McCarthy JP, Pozniak MA, Agre JC. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(3):511-9.
 23. Abe T, Kojima K, Kearns CF, Yohena H, Fukuda J. Whole body muscle hypertrophy from resistance training: distribution and total mass. *Br J Sports Med* 2003;37(1):543-5.
 24. Dias RMR, Cyrino ES, Salvador EP, Caldeira LFS, Nakamura FY, Papst RR, et al. Influência do processo de familiarização para a avaliação dos níveis de força muscular em testes de 1-RM. *Rev Bras Med Esporte* 2005;11(1):34-8.
 25. Houston ME, Froese EA, Valeriote STP, Green HJ, Ranney DA. Muscle performance, morphology, and metabolic capacity during strength training and detraining: a one leg model. *Eur J Appl Physiol* 1983;51(1):25-35.
 26. Jones DA, Rutherford OM. Human muscle strength training: the effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *J Physiol* 1987;391(1):1-11.
 27. Ploutz LL, Tesch PA, Biro RL, Dudley GA. Effect of resistance training on muscle use during exercise. *J Appl Physiol* 1994;76(4):1675-81.
 28. Chilibeck PD, Calder AW, Sale DG, Webber CE. A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998;77(2):170-5.
 29. Cureton KJ, Collins MA, Hill DW, McElhannon FM. Muscle hypertrophy in men and women. *Med Sci Sports Exerc* 1988;20(4):338-44.
 30. Bloomer RJ, Ives JC. Varying neural and hypertrophic influences in a strength program. *J Strength Cond Res* 2000;22(2):30-5.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a Capes pelas bolsas concedidas.

Endereço para correspondência

Edilson Serpeloni Cyrino
Grupo de Estudo e Pesquisa em Metabolismo, Nutrição e Exercício
Centro de Educação Física e Esporte
Universidade Estadual de Londrina
Rod. Celso Garcia Cid, km 380 - Campus Universitário
CEP 86051-990 – Londrina, PR - Brasil
E-mail: emcyrino@uel.br

Recebido em 31/01/08
Revisado em 25/02/08
Aprovado em 29/05/08