

**ADAPTAÇÕES NEUROMUSCULARES AO EXERCÍCIO FÍSICO: SÍNTESE DE UMA ABRANGENTE TEMÁTICA**

Rômulo José Dantas Medeiros  
Maria do Socorro Cirilo de Sousa

**Resumo**

O músculo esquelético humano é um maleável tecido orgânico que apresenta como principal característica uma eximia capacidade adaptativa neurofisiológica, metabólica e morfológica, que se expressa diante de estímulos advindos do exercício físico. No âmbito do treinamento físico, podem-se destacar as atividades de caráter aeróbio, que promovem o aperfeiçoamento funcional das fibras de contração lenta (TIPO IA), por meio do aprimoramento da capacidade respiratória das mitocôndrias, viabilizado pelo aumento do número e tamanho destas; anaeróbio, que tem os incrementos de força, potência e a ocorrência da hipertrofia muscular como suas principais respostas representantes; e o treinamento concorrente, que ao integrar os dois citados treinos em um mesmo plano regular de exercício físico, promove respostas adaptativas de menor amplitude quando comparadas às possibilitadas pelos referidos realizados isoladamente. Em adição, evidencia-se que na atualidade a biologia molecular se encontra como uma importante ferramenta para o estudo das respostas adaptativas neuromusculares, onde o conhecimento da relação estímulo físico, expressão gênica e formação e proliferação celular, concretiza-se como a base que fundamenta os procedimentos desta área.

**Palavras-Chave**

Músculo Esquelético; Exercício Físico; Adaptações Neuromusculares.

**NEUROMUSCULAR ADAPTATIONS TO PHYSICAL EXERCISE: SUMMARY OF AN INCLUDING THEME****Abstract**

The human skeletal muscle is a malleable organic tissue capable of to adaptive it's neurophysiologic, morphologic and metabolic functions stimulated by physical exercise. In the physical training scope, appears the aerobic training that promote increases in respiratory mitochondrial capacity, explicitly demonstrate on improve of slow fiber type functions, anaerobic training that has the increases on power, strength and muscular hypertrophy as yours principal representative responses, and concurrent training, in turn, that demonstrated reduce capacity in promotes adaptation responses compared with single mode training. Additionally, in the present time, the molecular biology emerge as a important instrument for study of neuromuscular adaptation responses, where the knowledge derive from role of physical stimulus, gene expression and formation and proliferation cellular relation, appear as a base from proceedings of this scientific area.

**Key-Words**

Skeletal Muscle; Physical Exercise; Neuromuscular Adaptation.

---

## Introdução

As adaptações neurofisiológicas, morfológicas e metabólicas que ocorrem de forma imediata e em longo prazo no músculo esquelético, se concretizam como umas das principais respostas orgânicas promovidas pelo exercício ou treinamento físico. Hood et al. (2006) destacam que o referido músculo humano é um maleável tecido orgânico que apresenta como principal característica, uma eximia capacidade adaptativa. Neste sentido, MCARDLE et al. (2003, p. 472) afirmam que a estimulação das alterações estruturais e funcionais que aprimoram o desempenho dos músculos em determinadas tarefas constitui-se como o principal objetivo do treinamento com exercícios.

As respostas adaptativas neurofisiológicas caracterizam-se, principalmente, pelo aprimoramento da relação entre os estímulos provenientes no sistema nervoso central e o recrutamento de unidades funcionais de movimento, as unidades motoras (MCARDLE et al., 2003, p.405). Segundo estes autores, essas respostas também se aperfeiçoam por meio de uma maior frequência de descargas elétrico-neurais que ocorrem para promover a contração muscular. Bacurau e Navarro (2001) e Weineck (1999) destacam que o aumento da força promovido predominantemente pelo treinamento com pesos é a principal resposta neurofisiológica que ocorre como adaptação ao exercício, estando diretamente relacionada à aquisição de uma maior coordenação intra e intermuscular.

Por sua vez, às respostas morfológicas e metabólicas, atribui-se uma série de modificações estruturais e bioquímicas, que podem ser exemplificadas pelo aumento das reservas energéticas glicolíticas e de fosfocreatina, acréscimo do número e volume das mitocôndrias, incremento da seção transversal (hipertrofia), aprimoramento da ação de determinadas enzimas, entre outros (MCARDLE et al., 2003, FOLLAND; WILLIAMS, 2007).

Ao se compreender que o músculo esquelético humano responde aos estímulos advindos do treinamento físico tanto no âmbito metabólico e morfológico como no neurofisiológico, torna-se relevante ressaltar que as características apresentadas por estas respostas, entendidas também como adaptações, se estabelecem de maneira intimamente relacionada a dois fatores de potencial interferência, que são: o tipo de exercício executado e as características pessoais do indivíduo que o realiza. Esses fatores, inevitavelmente, se inserem nos princípios do condicionamento físico que são comumente utilizados para o aprimoramento do desempenho muscular.

---

MCARDLE et al. (2003, p.472) afirmam que os princípios podem ser categorizados em: princípio da individualidade biológica (ou diferenças individuais), sobrecarga, continuidade (ou reversibilidade) e da especificidade. Quanto ao princípio da adaptação, destaca-se que em algumas situações este não é considerado como um princípio por se caracterizar, segundo alguns autores (ZATSIORKY, 1999; WEINECK, 1999), como uma lei que rege o treinamento físico. Dessa forma, é possível afirmar que, com um caráter introdutório, destacar estes princípios e propor o conhecimento dos mesmos, torna-se pertinente, pois a posterior compreensão acerca “do que são” e “como ocorrem” as respostas adaptativas neuromusculares, exige o entendimento prévio dos fatores que intervêm no surgimento e nas conseqüentes características dessas respostas.

Assim, diante do exposto, traça-se como objetivo para o presente estudo a realização de uma revisão acerca das adaptações neuromusculares do músculo esquelético que ocorrem frente à estimulação advinda de diferentes tipos de exercícios e treinamentos físicos, dando a essa abrangente temática um caráter de síntese por meio da análise dos dados provenientes da literatura clássica e das pesquisas atuais, que se fundamentam em determinados casos de investigação, na biologia molecular.

### **Princípios Científicos do Treinamento Físico**

O exercício físico, como já mencionado, é capaz de promover uma série de respostas no organismo humano. No entanto, a magnitude dessas dependerá das características pessoais apresentadas pelos indivíduos que o (exercício) realiza. Essas afirmações indicam o que é proposto pelo princípio da *individualidade biológica*. Exemplificando-se essa afirmação, MCARDLE et al. (2003, p.473) destacam que o nível de aptidão relativa de uma pessoa no início de um treinamento exerce bastante influência na amplitude das respostas adaptativas que o mesmo provoca. Sob outro enfoque, estudos clássicos como o realizado por Inbar et al. (1981), demonstram que diferentes composições de fibra muscular, estabelecidas geneticamente, proporcionam distintos tipos de desempenho muscular frente a divergentes estímulos físicos.

Quanto ao *princípio da adaptação*, Gentil (2005, p.14) afirma que o

organismo humano vive em um estado dinâmico de equilíbrio, fruto da constante interação com o meio. Sempre que um estímulo externo o afasta deste equilíbrio, os padrões de organização do sistema são mudados para se ajustar à nova realidade.

Esse ajuste, segundo o respectivo autor, demonstra uma forte tendência a um processo de auto-organização. Seguindo-se a mesma linha de compreensão, torna-se possível agregar ao fator adaptação, o

---

*princípio da especificidade*, que, de acordo com McArdle et al. (2003, p. 472), “refere-se às adaptações nas funções metabólicas e fisiológicas que dependem do tipo de estímulo imposto” sobre organismo. Nesta perspectiva, destacam-se estudos que demonstram claramente como os mencionados princípios se inter-relacionam. As pesquisas realizadas por Hawley (2002; 2004) mostraram que o número e o tamanho das mitocôndrias do músculo esquelético humano aumentam em detrimento de estímulos advindos de prolongados treinamentos de *endurance*. Por outro lado, diante da aplicação de treinamentos com pesos, Hubal et al. (2005), Seger e Thorstenson (2005) e Phillips (2007), evidenciaram incrementos de força e aumentos da seção transversal dos grupos musculares exercitados com altas cargas de trabalho.

Os *princípios da continuidade* e da *sobrecarga* associam-se diretamente às respostas crônicas provocadas pelo treinamento físico. O primeiro princípio elucida a característica de reversibilidade que o organismo humano apresenta. Isto é, a perda das adaptações fisiológicas e de desempenho que ocorre rapidamente quando uma pessoa encerra sua participação no exercício regular (MCARDLE et al. 2003, p. 476). Quanto a tal característica, Marques e González-Badillo (2006) demonstram que atletas de handebol apresentam significativas reduções na potência do arremesso de bola após passarem por um período de destreinamento. Adicionalmente, em outro tipo de população, Kalapotharakos et al. (2007) constataram que idosos após vivenciarem curtos períodos sem realizar treinamento de força, apresentaram significantes reduções de força e potência.

A *sobrecarga*, por sua vez, é esclarecida por McArdle et al. (2003) da seguinte forma:

A aplicação regular de uma *sobrecarga* na forma de um exercício específico aprimora a função fisiológica a fim de induzir uma resposta ao treinamento. O exercício realizado com intensidades acima dos níveis normais induz uma ampla variedade de adaptações altamente específicas que permitem ao organismo funcionar mais eficientemente. Para se conseguir a *sobrecarga* apropriada será necessário manipular combinações de frequência, intensidade e duração do treinamento, com maior enfoque na modalidade do exercício.

Segundo Gentil (2005, p. 16), o *princípio da sobrecarga* tem sido erroneamente confundido com o fictício princípio da carga, onde os aspectos qualitativos inerentes ao treinamento físico se encontram inibidos frente aos aspectos quantitativos. Ou seja, o popular ditado “quanto mais melhor” tenta se estabelecer como verdadeiro. O mesmo autor enfatiza que muitos aspectos, que vão além dos meramente numéricos, por exemplo, quantidade de carga, necessitam ser avaliados para se possa estabelecer a eficácia e adequabilidade de aplicação de certos tipos de exercício e/ou treinamento físico. Quanto a esse aspecto, analisando-se especificamente o treinamento de força, no entanto, tal exemplo podendo ser extrapolado para os demais tipos de treinamento, Takarada et al. (2000), Takarada e Ishii (2002) e

Burgomaster et al. (2003) verificaram que exercícios realizados com metodologias específicas, baixa intensidade e oclusão vascular, demonstraram produzir maiores níveis de hipertrofia muscular que os efetuados com cargas altas e intensas. Tais dados corroboram a prerrogativa de que aspectos qualitativos do exercício físico precisam ser analisados criteriosamente para que seja possível o alcance das respostas adaptativas desejáveis (GENTIL, 2005).

## Exercício físico e as adaptações neuromusculares

### Exercício anaeróbio

O exercício anaeróbio é caracterizado pela sua curta duração e alta intensidade, assim como por exigir, predominantemente, o envolvimento de vias de produção energética rápidas e imediatas (NADER, 2006). De acordo com essas características, podem-se destacar atividades que envolvem arremessos, saltos e *sprints*, como também, intensas e repetidas contrações musculares de curta duração que caracterizam, neste caso, o treinamento com pesos (VAN PRAAGH, 2007). Na Tabela 1 estão dispostos dados que resumem as respostas adaptativas causadas pelo exercício anaeróbio.

**Tabela 1-** Resumo das Adaptações Neuromusculares Promovidas pelo Exercício Anaeróbio.

<b>Tipo de Adaptação</b>	<b>Referência do Estudo</b>	<b>Resposta Adaptativa</b>
Neurofisiológica	Folland e Williams (2007)	↑ Força e potência
	Ross et al. (2001)	↑ Força e potência.
Morfológica	Campos et al. (2002); Fry et al. (2003); Dawson et al. (1998); Blazeovich et al. (2003)	Conversão entre os subtipos de fibra muscular: do tipo IIB para IIA
	Ross e Leveritt (2001); Ortenblad et al. (2000)	↑ Retículo Sarcoplasmático ↑ Liberação e remoção do Cálcio intramuscular
	Folland e Williams (2007); Anderson e Pilipowicz (2002), Tatsumi et al. (2002), Wozniak et al. (2003)	↑ Massa muscular ↑ Ativação das células satélites
	Burgomaster et al. (2006; 2008)	↑ Reserva energética: ATP, ATP-CP, glicogênio muscular
Metabólica	Macdougall et al. 1984; Kubo et al., 2002; Reeves et al., 2003	↑ Densidade do tecido conjuntivo
	Ross e Leveritt (2001)	↑ Metabolismo glicolítico e fosfogênico ↑ Aprimoramento da ação da insulina

---

### Respostas adaptativas neurofisiológicas

As adaptações neurofisiológicas concretizam-se, fundamentalmente, pelo aprimoramento da relação entre os estímulos provenientes no sistema nervoso central e o recrutamento de unidades motoras (McARDLE et al., 2003, p. 472). Segundo Folland e Williams (2007), o mencionado aprimoramento, que tem o aumento da força e da potencia muscular como principais respostas, é viabilizado devido à ocorrência de alterações em fatores intervenientes como: maior frequência de descarga de estímulos neuro-elétricos; maior sincronização intramuscular, onde o tempo de liberação do potencial de ação e o conseqüente recrutamento de unidades motoras se apresenta reduzido; adaptações corticais; aprimoramento da ação dos motoneurônios e neurônios sensoriais provenientes da medula espinhal; e aperfeiçoamento da coordenação intermuscular, em que a ação de negativa interferência dos músculos antagonistas é inibida durante a realização de um específico movimento.

Em concordância com algumas afirmações supracitadas, Ross et al. (2001), analisando-se especificamente as respostas de adaptação promovidas por treinamentos de *sprint* em atletas, demonstram que os elevados níveis de desempenho desses estão associados a maiores velocidades de condução dos estímulos neuro-elétricos e a superiores capacidades de recrutamento de fibras musculares específicas, neste situação, de contração rápida. Adicionalmente, os mesmos autores também abordam a temática da fadiga neural, atribuindo a mesma os seguintes fatores de causa: falha da ação “ótima” da medula supra-espinhal e inibição da atuação do(s) motoneurônio(s) eferente(s), além da concomitante depressão da excitabilidade destes. No entanto, Ross et al. (2001) não destacam os mecanismos pelos quais o treinamento de *sprint* capacita o organismo humano a promover respostas de reação diante dos efeitos depressores da fadiga neural.

Gabriel et al. (2006), por sua vez, destacam que muitas perguntas acerca da temática que relaciona a fadiga neural e o treinamento anaeróbio ainda não foram respondidas. Dessa forma, o mesmo levanta os seguintes questionamentos: como a sincronização neuromotora contribui para o aumento da força muscular? Qual via de ação neural específica da medula espinhal responde ao exercício? Há alterações neurais periféricas “anexadas” a determinados grupamentos musculares, como receptores estímulo-excitáveis, que possibilitam o aumento de força desses?.

---

### **Respostas adaptativas morfológicas**

As adaptações morfológicas que ocorrem no músculo esquelético como resposta à realização de exercícios de caráter anaeróbio, como corridas em *sprint* e levantamento de pesos, são expressas segundo Ross e Leveritt (2001) e Folland e Williams (2007), através das alterações que acometem os tipos de fibra muscular e seus respectivos retículos sarcoplasmáticos e áreas de seção transversal.

### **Conversão entre os subtipos de fibra muscular**

Quanto aos tipos de fibra muscular, antes de evidenciar as possíveis modificações que incidem nas mesmas, torna-se importante destacar que as fibras são divididas basicamente em dois grupos, fibra tipo I e tipo II. De acordo com Fleck e Kraemer (1999), as fibras tipo I também chamadas de fibras vermelhas, lentas ou oxidativas, possuem características de contratilidade lenta e altos níveis de atividade mitocondriais, bem como de enzimas oxidativas, o que lhes possibilitam maiores facilidades em obter ATP (Adenosina Trifosfato) por meio de vias aeróbias. As fibras tipo II, brancas, glicolíticas ou rápidas, possuem propriedades de rápida contratilidade, menor quantidade de mitocôndrias e elevados níveis de atividade da enzima ATPase. Adicionalmente, segundo os mesmos autores, as fibras rápidas, por apresentarem algumas características divergentes, acabam sendo subdivididas em tipo IIB e IIA, tendo esta última, níveis de contratilidade mais elevados.

Diante da breve revisão, evidencia-se que treinamentos de curta duração e alta intensidade, parecem estimular mudanças no fenótipo IIB para o IA (CAMPOS et al., 2002; FRY et al., 2003). Em consonância com tais achados, estudos realizados por Dawson et al. (1998) e Blazeovich et al. (2003), demonstraram que o treinamento de *sprint* em atletas promoveu mudanças nas características das fibras glicolíticas, assinalando-se, assim, uma transição dos fenótipos IIB para o IIA.

### **Retículo sarcoplasmático e o treinamento anaeróbio**

O retículo endoplasmático localizado nas células musculares, é adaptado para as necessidades de cada fibra e, dessa forma, recebe a denominação de retículo sarcoplasmático (GENTIL, 2005, p. 22). Segundo McArdle et al. (2003, p. 369), o retículo sarcoplasmático, componente que dá integridade estrutural à célula, é um extenso conjunto de redes de canais tubulares e vesículas que se encontram associadas ao sistema de túbulos T. Este sistema exerce uma função de extrema importância por ser responsável em conduzir o potencial de ação que chega à membrana externa para o interior da célula. É também no referido retículo, que estão localizadas as bombas de cálcio que viabilizam o processo de liberação e

---

remoção desse íon no sarcoplasma da fibra, possibilitando dessa forma, a contração e o relaxamento muscular.

O retículo sarcoplasmático, ao se estabelecer como uma estrutura que ativamente participa do processo de contração e relaxamento do músculo esquelético, vem sendo estudado e tendo sua conformação estrutural associada a positivas alterações provocadas pelo treinamento de caráter anaeróbio (ROSS; LEVERITT, 2001). Neste contexto, dados controversos podem ser destacados, havendo-se estudos evidenciando acréscimos de conteúdo do retículo sarcoplasmáticos e conseqüentes aumentos na velocidade de liberação e remoção do cálcio do sarcoplasma miofibrilar (ORTENBLAD et al., 2000), e em contraste, pesquisas não corroborando tais achados (LI et al., 2002)

### **Hipertrofia muscular**

A hipertrofia muscular é conceituada como o acréscimo da seção transversal do músculo esquelético que ocorre em decorrência do aumento volumétrico das fibras que o compõem e é evidenciada como uma das principais adaptações morfológicas promovidas, principalmente, pelo treinamento de força (FOLLAND; WILLIAMS, 2007). Segundo esses autores, o aumento volumétrico do músculo está associado a fatores como sexo, idade, percentual de composição de fibras musculares de contração rápida e lenta, mecanismos de proliferação celular, estimulação das células satélites, entre outras.

Seguindo-se a mesma linha de compreensão Folland, Williams e Gentil (2005, p. 37) também elucida a hipertrofia muscular esquelética associando-a a uma série de fatores intervenientes. No entanto, maior atenção é direcionada a análise da ação regenerativa e construtora promovida por um conjunto de células denominadas satélites. Segundo Toigo e Boutellier (2006), essas células são pequenas estruturas com alta densidade de material genético, que ficam localizadas entre a lâmina basal e o sarcolema das fibras musculares. Em adultos normais, as mesmas se apresentam predominantemente inativas. Entretanto, quando estímulos adequados são efetivados, as células satélites, para possibilitar respostas adaptativas adequadas, entram em um ciclo de ativação com o objetivo de viabilizar o processo de construção e reparo muscular.

Anderson e Pilipowicz (2002), Tatsumi et al. (2002), Wozniak et al. (2003) e Tatsumi e Allen (2004), afirmam que estímulos de tensão muscular, advindos fundamentalmente do treinamento de força, concretizam-se como o principal fator de ativação das células satélites (entre outros), pois estes estímulos



---

(tensão) induzem a liberação dos fatores de crescimento hepatócitos dependes de óxido nítrico, que, por sua vez, interagem com as mencionadas células e iniciam uma cascata de eventos que sinalizam o estabelecimento da síntese do DNA e do conseqüente tecido músculo-esquelético.

### **Reservas de substratos energéticos**

Quanto aos substratos energéticos, estudos clássicos como os realizados por Saltin et al. (1974) e MacDougall et al. (1977), bem como atuais desenvolvidos por Burgomaster et al. (2006, 2008), afirmam que em amostras de biópsias musculares obtidas antes e após o treinamentos de força e *sprints*, foi possível encontrar aumentos significativos nos níveis de repouso de ATP, fosfato de creatina (PCr), creatina livre e glicogênio nos músculos treinados.

### **Adaptação do tecido conjuntivo**

Abordando-se esta temática resumidamente, destaca-se que segundo os resultados encontrados por antigos e recentes estudos (MACDOUGALL et al., 1984; KUBO et al., 2002; REEVES et al., 2003), pode-se afirmar que há fortes evidências que atribuem ao treinamento, neste caso, de força, um caráter viabilizador que possibilita o estabelecimento de maiores graus de densidade tecidual conjuntiva, acompanhados de resultados hipertróficos que acometem a estrutura dos tendões de músculos treinados.

### **Respostas adaptativas metabólicas**

As adaptações metabólicas que decorrem dos estímulos provenientes do exercício anaeróbio são representadas, principalmente, pelo incremento da quantidade e da conseqüente ação de enzimas-chave que controlam os sistemas energéticos de resposta rápida, neste caso, os da glicose e PCr (ROSS; LEVERITT, 2001). Tais respostas só se tornam possíveis de serem efetivadas, devido à característica dinâmica do músculo esquelético de adaptar-se diante de diferentes demandas de exigência que são impostas sobre si. Para McArdle et al. (2003, p. 478), os aumentos significantes na função dessas enzimas se estabelecem de maneira dominante nas fibras musculares de contração rápida.

Com referências às respostas inerentes ao metabolismo fosfogênico, Thorstensson et al. (1975) e Parra et al. (2000) destacam que treinamentos intensos de *sprint* promovem, a nível muscular, aumentos na atividade das enzimas miosina quinase e creatina fosfoquinase, que possibilitam a quebra mais rápida da PCr. Quanto ao metabolismo glicolítico, treinamentos de alta intensidade e curta duração tendem a se mostrarem efetivos em aumentar a atividade de enzimas como a lactatodesidrogenase (LDH),

fosfofrutoquinase e glicogênio-fosforilase (LINOSSIER et al., 1993; HELLSTEN-WESTING et al., 1993). Entretanto, resultados encontrados por Barnett et al. (2004) levantam dúvidas acerca da ocorrência de todas essas respostas adaptativas que ocorrem no âmbito do metabolismo energético.

Em outro contexto, Gentil (2005, p. 39) destaca que determinadas adaptações metabólicas sofridas pelo músculo esquelético, diante da realização de certos treinamentos, nesta situação, de força, intervém na ação de certos hormônios. Exemplificando-se tal afirmação, segundo Grewie et. al. (2000), a atividade da insulina é aprimorada devido a modificações no comportamento da proteína transportadora de glicose-4 (Glut-4), que se localiza dentro da fibra muscular.

### Exercício aeróbio

O exercício aeróbio é caracterizado pela longa duração da atividade contrátil dos músculos envolvidos em determinados tipos de movimento, como também, pela baixa e/ou média intensidade exigida para a realização destes. Tais características possibilitam um equilíbrio existente entre a demanda, exigida pelo exercício, e oferta de oxigênio. Segundo MCrdle et al. (2003, p. 478), o treinamento aeróbio além de promover significativas melhoras na capacidade de controle respiratório do músculo esquelético, também causam inúmeras alterações benéficas nos sistemas cardiovascular e pulmonar, podendo estas estarem inseridas tanto em contextos de desempenho desportivo como de saúde. Na Tabela 2 são apresentados dados que identificam resumidamente as respostas adaptativas causadas pelo exercício aeróbio.

**Tabela 2-** Resumo das Adaptações Neuromusculares Promovidas pelo Exercício Aeróbio.

<b>Tipo de Adaptação</b>	<b>Referência do Estudo</b>	<b>Resposta Adaptativa</b>
Neurofisiológica	Howley; Spargo (2007)	↑ Coordenação intramuscular ↑ Economia de esforço
Morfológica	Costill et al. (1976); Fink et al (1977); Saltin et al. (1977); Pette (2002); Coffey; Hawley (2007)	↑ Número e calibre de fibras de contração lenta
Metabólica	Hawley; Spargo (2007); Hood et al. (2006); Hepple (2000) Mathieu-Costello e Hepple (2002); Rockl et al. (2008)	↑ Metabolismo aeróbio: via oxidativa ↑ Número e tamanho das mitocôndrias ↑ Capacidade de captação de O <sub>2</sub> ↑ Aprimoramento da ação da insulina

---

### **Adaptações morfológicas e neurofisiológicas**

Frente às específicas respostas que o músculo esquelético apresenta diante de certos tipos de atividade, pouco se relata na literatura quais são as adaptações neurofisiológicas provocadas pelo treinamento com exercícios de caráter aeróbio. No entanto, esse percalço pode estar relacionado ao fato de o referido treinamento não proporcionar significativos incrementos de força e potência muscular, que são consideradas as principais respostas a serem evidenciadas com a realização do exercício físico. Entretanto, Howley; Spargo (2007) destacam que adaptações neurofisiológicas promovidas por atividades como corridas de média e longa distância, são expressas por um maior grau de aperfeiçoamento na coordenação intermuscular, que, por conseqüência, acarreta elevados níveis de economia de movimento e esforço.

No que concerne às respostas morfológicas, especificamente, a hipertrofia seletiva de determinadas fibras, Zierath e Hawley (2004) destacam que nas décadas de 70 e 80 houve uma popularização de estudos que objetivavam avaliar a composição e o tamanho das fibras musculares de atletas pertencentes a diferentes modalidades desportivas. Assim, Costill et al. (1976), Fink et al. (1977) e Saltin et al. (1977) encontraram que atletas de *endurance* treinados apresentavam um maior número de fibras lentas, fato que os autores atribuíram a fatores genéticos, como também, fibras lentas de maior calibre, neste caso, associadas ao tipo de treinamento realizado. Nesta mesma perspectiva, Pette (2002); Coffey e Hawley (2007), reafirmam a propensão das fibras vermelhas apresentarem aumentos em suas seções transversais em detrimento da aplicação de estímulos musculares aeróbios.

### **Adaptações metabólicas**

As adaptações metabólicas se firmam como as respostas mais evidenciadas e analiticamente enfatizadas pela literatura especializada. Segundo Hawley e Spargo (2007), no âmbito das respostas adaptativas metabólicas, o treino aeróbio destaca-se por promover no músculo esquelético uma maior capacidade de produção de energia através da via oxidativa, principalmente, proveniente do metabolismo dos lipídios. Esta maior capacitação, de acordo com McArdle et al. (2003, p. 478), além de relacionar-se às adaptações cardíacas e pulmonares, está associada a um elevado fluxo sanguíneo que decorre de uma maior vascularização do músculo treinado, como também, a uma aperfeiçoada atividade respiratória local proporcionada por maiores e mais numerosas mitocôndrias.

---

Quanto à atividade mitocondrial, Hood et al. (2006) destacam que o treino aeróbio capacita as mitocôndrias musculares subsarcolemais e intermiofibrilares a aumentarem a geração do ATP aerobiamente. Em adição, os mesmos autores afirmam que as adaptações fisiológicas mitocondriais são expressas por meio de uma maior eficiência na captação e efetiva utilização do oxigênio, assim como pelo aperfeiçoamento de recrutamento do metabolismo dos lipídios para a produção de energia. Por outro lado, o respectivo treino promove uma atenuação da participação das vias glicolítica e fosfogênica, que, conjuntamente, reduz a produção de lactato e a ação deletéria dos mecanismos envolvidos no estabelecimento da fadiga muscular.

Abrindo-se um “parêntese”, torna-se relevante analisar a questão da vascularização local que ocorre no músculo treinado, mesmo compreendendo-se que a referida não se caracteriza em essência como uma adaptação metabólica. Dessa forma, ressalta-se que em consonância com a atividade das mitocôndrias, uma maior vascularização local permite que elevadas taxas de oxigênio (e outros elementos necessários ao metabolismo energético) sejam transportadas em direção do músculo esquelético e, conseqüentemente, maiores níveis do mesmo sejam extraídos e utilizados para produção e/ou formação de ATP (HEPPLE, 2000; MATHIEU-COSTELLO; HEPPLE, 2002).

Adicionalmente, outras respostas adaptativas podem ser registradas quando o foco de análise é a relação treino aeróbio e adaptação metabólica. Powers et al. (1999), em estudo de revisão, destacam que o treinamento de *endurance* aprimora os mecanismos de proteção que atuam contra a ação danosa de determinadas espécies reativas de oxigênio e nitrogênio. Tais espécimes, ao promover um processo de interação bioquímica, agem causando significativos danos às estruturas das células que compõem os tecidos corporais. No entanto, o aprimoramento dos mecanismos de anti-oxidação, representados pelas enzimas dismutase-superoxida, glutaciona peroxidase e catalase, como também, pela forma não enzimática da glutaciona, atenuam a respectiva deterioração celular.

Quanto à ação hormonal, pode-se destacar a o aprimoramento da ação da insulina, por exemplo, em indivíduos com diabetes tipo 2, que ocorre devido a modificações na *expressão gênica* protéica da transportadora de glicose-4 (Glut-4), que localiza-se dentro da fibra muscular. Tais modificações adaptativas facilitam a entrada da glicose dentro das células do músculo esquelético (ROCKL et al., 2008).

---

### **Treinamento Concorrente**

A concomitante integração do treinamento de *endurance* com o de força, ambos estabelecidos como componentes de um planejamento de exercício físico regular, recebe a denominação de treinamento concorrente (COFFEY; HAWLEY, 2007). Segundo esses autores, o primeiro estudo que objetivou investigar as possíveis diferenças adaptativas do músculo esquelético causadas pela aplicação do treinamento concorrente foi realizado por Hickson (HICKSON, 1980) na década de 80.

Quanto a essa temática, pode-se afirmar sucintamente que, segundo os estudos de revisão organizados por Bar (2006), Nader (2006); Coffey e Hawley (2007), o treinamento concorrente, quando comparado aos treinamentos de força e *endurance* realizados isoladamente, apresenta uma reduzida capacidade em promover respostas de adaptação no músculo esquelético. Ou seja, são encontrados menores níveis de hipertrofia muscular, como também, reduzidas alterações da capacidade oxidativa das fibras musculares, principalmente, das vermelhas (contração lenta).

### **Biologia molecular: uma nova ferramenta para o estudo das adaptações neuromusculares**

A biologia molecular, conceituada como o estudo da base molecular da vida, vem se estabelecendo desde a década de 50 como a principal área de estudo que objetiva compreender como o exercício físico é capaz de promover alterações na complexa funcionalidade celular do corpo humano. Segundo McArdle et al (2003, p. 996), “a nova geração de fisiologistas do exercício tem uma extraordinária oportunidade de estudar o mundo molecular dos genes” e, conseqüentemente, compreender como esse mundo intervém nas respostas que ocorrem no músculo esquelético. Neste contexto, para Coffey e Hawley (2007), tal compreensão é elucidada através da análise e estudo da expressão gênica, que, como seu respectivo nome propõe, expressa as informações dos genes que serão traduzidas e convertidas em estruturas celulares.

Para Booth (1988), as pesquisas que se fundamentam nos conhecimentos da biologia molecular (e inevitavelmente da expressão gênica) e os direcionam ao estudo do exercício físico, necessitam centrar-se na busca por respostas para as inúmeras questões que ainda não foram claramente respondidas. Assim, nesta perspectiva, o referido autor lista os seguintes questionamentos:

1. Como o treinamento de *endurance* ajuda a regular a expressão gênica da maioria das proteínas mitocondriais no músculo esquelético treinado?

2. Que enzimas deflagram o desvio na “mistura” de combustível metabólico que ocorre com o treinamento de endurance?
3. Que sinais químicos induzidos pelo treinamento de resistência causam hipertrofia do músculo esquelético?
4. Que seqüências reguladoras do DNA alteram a transcrição de um RNA mensageiro?
5. Que proteínas regulam a função do músculo esquelético?
6. Que fatores importantes afetam a expressão gênica diferencial que ocorre em resposta às mudanças na atividade contrátil dos músculos?

Quanto aos questionamentos originalmente levantados por Booth (1988), não é objetivo do presente texto trazer a tona, por meio dos procedimentos de revisão bibliográfica, claras respostas para os mesmos, e sim, destacar estudos atuais que, embasando-se nos métodos da biologia molecular, objetivam obter informações e possíveis explicações para uma série de inquietações que existem na atualidade acerca da relação exercício físico e adaptação muscular esquelética.

### **Biologia molecular, exercício físico e as respostas adaptativas do músculo esquelético: uma síntese dos estudos atuais**

Como já evidenciado, a biologia molecular, principalmente, através da análise da expressão gênica, fundamenta grande parte das pesquisas realizadas atualmente no âmbito exercício físico. Neste contexto, segundo Coffey e Hawley (2007), as adaptações (por exemplo: aumento do número e tamanho das mitocôndrias, hipertrofia dos filamentos de actina e miosina, entre outros) que acometem o músculo esquelético por meio do estabelecimento da conversão de estímulos mecânicos, provenientes de ações musculares presentes em determinados tipos de exercício, em eventos e respostas moleculares, são reguladas por fatores mensageiros primários e secundários, que, sequencialmente, iniciam uma cascata de eventos que resultam na ativação ou desativação de vias sinalizadoras da expressão gênica e síntese e/ou degradação protéica.

De acordo com alguns estudos, os citados fatores mensageiros primários são representados pelos estímulos de tensão mecânica (ALENGHAT; INGBER, 2002), tempo de transição do cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) no sarcoplasma da fibra muscular (CHIN, 2005), ação adaptativa modulada pelo potencial “redox” dos radicais livres produzidos pelo exercício (JINDRA et al., 2004) e pela intervenção indireta do potencial

---

de fosforilação do ATP, que age sobre fatores mensageiros secundários como a proteína quinase ativada por monofosfato (AMPK) (HARDIE; SAKAMOTO, 2006).

Por outro lado, os fatores mensageiros secundários induzidos pelo exercício, explicitam-se por meio da ativação das “quinases/fosfatases”, que são representadas (dentre outros fatores) pela sinalização da via da proteína quinase ativada por monofosfato (AMPK) (JORGENSEN et al., 2006), da proteína quinase dependente de cálcio-calmodulina (CHIN et al., 2005), dos fatores de crescimento tipo insulina (insulina/IGF) (TANIGUCHI et al., 2006) e pela sinalização da citocina (WILLIAMSON et al., 2005).

Analisando-se especificamente cada fator mensageiro secundário, destaca-se primeiramente que, uma avaliação mais aprofundada do comportamento da AMPK tem mostrado que a mesma atua diretamente sobre processo de conservação e formação do ATP (ASCHENBACH et al, 2004). Segundo Lee et al (2006), a AMPK tem sua ação fortemente associada ao controle da expressão gênica voltada às modificações que aperfeiçoam a capacidade oxidativa das mitocôndrias; e, neste mesmo sentido, Durante et al (2002) evidenciam que a atividade da AMPK é maior nas fibras de contração lenta.

Logo, diante de tais evidências, pode-se fazer uma associação do AMPK com as adaptações promovidas pelo treinamento de caráter aeróbio. Entretanto, Coffey et al. (2005) observaram que em atletas de levantamento de peso, também haviam atividades aumentadas da AMPK. Assim, os mesmos autores sugerem que a referida proteína apresenta uma função de intermediação que faz emergir um fator que viabiliza o estabelecimento de diferentes respostas, baseadas nos distintos tipos de exercícios realizados.

Quanto à proteína quinase dependente de cálcio-calmodulina, estudos também relacionam suas atividades às alterações positivas que ocorrem na biogênese das mitocôndrias (ROSE et al., 2006). Adicionalmente, resultados encontrados por Michel et al. (2004) e Talmadge et al. (2004) indicam, respectivamente, que a referida proteína participa do processo de regeneração muscular, neste caso, em ação conjunta com o IGF, como também, media transformações fenotípicas que acometem as fibras de contração rápida, atribuindo-as maiores características oxidativas.

Por sua vez, os fatores de crescimento do tipo insulina expressam importante ação na regulação da síntese do glicogênio e no processo de crescimento e diferenciação celular (TANIGUCHI et al., 2006). Segundo os estudos de Lai et al. (2004) e Nader et al. (2005), há fortes evidências de que o IGF, ao atuar como

---

fatores de crescimento autocrinos/paracrinos da família Akt, viabilizam a hipertrofia muscular por ativar o processo inicial de translação dos ribossomos (necessário para a duplicação do DNA e conseqüente síntese protéica), bem como por aumentar o conteúdo protéico desses.

Frente às informações já destacadas, percebe-se que foram citados, apenas, elementos caracterizados como fatores positivos para a síntese tecidual. No entanto, pode-se salientar a citosina, um polipeptídeo que surge em locais microlesionados, que inicia do processo de degradação protéica e inibe a síntese da mesma que ocorre em conseqüência dos danos musculares. (COFFEY; HAWLEY, 2007). Neste contexto, dentre os fatores de sinalização da citocina, destacam-se os de necrose tumoral- $\alpha$  (TNF $\alpha$ ), que conforme os achados de Langen et al. (2004) e Vashisht et al. (2006), além de inibir a ação mediadora do IGF na síntese protéica, também afeta negativamente qualquer efeito de anabolismo tecidual possibilitado pelo exercício por desestabilizar a diferenciação miogênica e alterar os mecanismos de transcrição, processos esses, primordiais para a duplicação do DNA e conseqüente formação e proliferação celular.

Diante do exposto, é possível visualizar que inúmeros fatores estão envolvidos direta e indiretamente no processo de adaptação do músculo esquelético, podendo eles estarem em nível molecular ou não. Concomitantemente, afirma-se que alguns têm suas atividades já bem esclarecidas pela comunidade científica, e outros, contrastantemente, ainda necessitam ter suas ações analisadas e avaliadas de maneira mais aprofundada.

### **Considerações Finais**

Na literatura científica, é possível evidenciar com bastante clareza que o exercício físico promove uma série de adaptações favoráveis à aquisição de um funcionamento cada vez mais aperfeiçoado por parte de músculo esquelético. Este aprimoramento funcional, por sua vez, pode ser visualizado por meio da avaliação das respostas neurofisiológicas, morfológicas e metabólicas provocadas por treinamentos de caráter tanto anaeróbio como aeróbio, podendo esses, serem realizados isolada ou conjuntamente. Em adição, salienta-se que na atualidade, a biologia molecular emergi como uma importante ferramenta para o estudo das respostas adaptativas neuromusculares, onde o conhecimento proveniente do comportamento da relação estímulo físico, expressão gênica e formação e proliferação celular, concretiza-se como a base que fundamenta os procedimentos desta área.



---

**Referências**

ALENGHAT, F. J.; INGBER, D. E. Mechanotransduction: all signals point to cytoskeleton, matrix, and integrins. *Science's STKE*, v. 119, p. PE6, 2002.

ANDERSON, J; PILIPOWICZ, O. Activation of muscle satellite cells in single-Wber cultures. *Nitric Oxide*. v. 7, p. 36–41, 2002.

ASCHENBACH, W. G; SAKAMOTO, K. Goodyear LJ. 5' adenosine monophosphate-activated protein kinase, metabolism and exercise. *Sports Medicine*. v. 3, n. 2, p: 91-103, 2004.

BACURAU, R. F; NAVARO, F. *Hipertrofia e hiperplasia: fisiologia, nutrição e treinamento*. São Paulo: Phorte, 2001.

BAR, K. Training for endurance and strength: lesson from cell signaling. *Medicine and Science in Sports and Exercis*, . v. 38, n. 11, p. 1939-1944, 2006.

BARNETT, C.; CAREY, M; PROIETTO, J; CERIN, E; FEBBRAIO, M. A; JENKINS, D. Muscle metabolism during sprint exercise in man: influence of sprint training. *Journal of Science and Medicine Sport*. v. 7, n. 3, p. 314-322, 2004.

BLAZEVIICH, A. J.; GILL, N. D.; BRONKS, R.; NEWTON, R. U. Training-specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 35, n. 12, p. 2013-22, 2003.

BOOTH, F. W. Application of molecular biology in exercise physiology. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, v. 17, p. 1-27, 1988.

BURGOMASTER, K. A. et al. Resistance training with vascular occlusion: metabolic adaptations in human muscle. *Medicine and Science Sports and Exercise*, v. 35, n. 7, p. 1203-1208, 2003.

\_\_\_\_\_.; HEIGENHAUSER, G. J. F.; GIBALA, M. J. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time trial performance. *Journal of Applied Physiology*, v. 100, p. 2041-2047, 2006.

BURGOMASTER, K. A. et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *Journal of Physiology*. v. 586, p. 151-160, 2008.

BURKE, L. M.; HAWLEY, J. A. Fat and carbohydrate for exercise. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. v. 9, n. 4, p. 476-481, 2006.

CAMPOS, G. E. et al. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimes: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*. v. 88, n. 1-2, p. 50-60, 2002.

- CHIN, E. R. Role of Ca<sup>2+</sup>/calmodulin-dependent kinases in skeletal muscle plasticity. *Journal of Applied Physiology*, v. 99, n. 2, p. 414-423, 2005.
- COFFEY, V. G.; HAWLEY, J. A. The molecular bases of training adaptation. *Sports Medicine*. v. 37, n. 9, p. 737-763, 2007.
- COSTIL, D. L. et al., G. Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *Journal of Applied Physiology*, v. 40, p. 149-154, 1976.
- DAWSON, B. et al. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fiber types after short sprint training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. v. 78, n. 2, p. 163-169, 1998.
- DURANTE, P. E. et al. Effects of endurance training on activity and expression of AMP-activated protein kinase isoforms in rat muscles. *American Journal of Physiology, Endocrinology and metabolism*. v. 283, p. 178-186, 2002.
- FINK, W. J.; COSTILL, D. L.; POLLOCK, M. L. Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part II: muscle fiber composition and enzyme activities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 301, p. 323-327, 1977.
- FLECK, S. J.; KRAEMER, W. J. *Fundamentos do treinamento de força muscular*. 2. ed. São Paulo: Artmed, 1999.
- FOLLAND, J. P.; WILLIAMS, A. G. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, v. 37, n. 2, 2007.
- FRY, A. C. et al. Muscle fiber characteristics of competitive power lifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*. v. 17, n. 2, p. 402-410, 2003.
- GABRIEL, D. A.; KAMEN, G.; FROST, G. Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Medicine*. v. 36, n. 2, p. 133-149, 2006.
- GREIWE, J. S.; HOLLOSKY, J. O.; SEMENKOVICH, C. F. Exercise induces lipoprotein lipase and glut-4 protein in muscle independent of adrenergic-receptor signaling. *Journal of Applied Physiology*, v. 89, n. 1, p. 176-181, 2000.
- HAWLEY, J. A. Adaptations of skeletal muscle to prolonged and intense endurance training. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, v. 29, n. 3, p. 218-222, 2002.
- HAWLEY, J. A.; SPARGO, F. J. Metabolic adaptations to marathon training and racing. *Sports Medicine*, v. 37, n. 4-5, p. 328-331, 2007.
- HARDIE, D. G.; SAKAMOTO, K. AMPK: a key sensor of fuel and energy status in skeletal muscle. *Physiology*, v. 21, p. 48-60, 2006.

- HELLSTEN-WESTING, Y.; BALSOM, P. D.; NORMAN, B.; SJODIN, B. The effect of high intensity training on purine metabolism man. *Acta Physiologica Scandinavian*, v. 149, p. 405-412, 1993.
- HEPPLE, R. T. Skeletal muscle: microcirculatory adaptation to metabolic demand. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 32, p. 17-123, 2000.
- HICKSON, R. C. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology. Occupational Physiology*, v. 45, p. 255-263, 1980.
- HOOD, D. A.; IRRCHER, I.; LJUBICIC, V.; JOSEPH, A. Review: Coordination of metabolic plasticity in skeletal muscle. *Journal of Experimental Biology*, v. 209, p. 2265-2272, 2006.
- HUBAL, M. J. et al. Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 37, n. 6, p. 964-972, 2005.
- INBAR, O.; KAISER, P.; TESCH, P. Relationships between leg muscle fiber type distribution and leg exercise performance. *International Journal of Sports Medicine*, v. 2, n. 3, p. 154-159, 1981.
- JINDRA, M. et al. Coactivator MBF1 preserves the redox-dependent AP-1 activity during oxidative stress in Drosophila. *The EMBO Journal*, v. 23, n. 17, p. 3538-3547, 2004.
- JORGENSEN, S. B.; RICHTER, E. A.; WOJTASZEWSKI, J. F. Role of AMPK in skeletal muscle metabolic regulation and adaptation in relation to exercise. *Journal of Physiology*, v. 574 (Pt 1), p. 17-31, 2006.
- KALAPOTHARAKOS, V. et al. The effect of moderate resistance strength training and detraining on muscle strength and power in older men. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, v. 30, n. 3, p. 109-13, 2007.
- KUBO, K.; KANEHISA, H.; FUKUNAGA, T. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *Journal of Physiology*, v. 538, p. 219-226, 2002.
- LAI, K. M. et al. Conditional activation of Akt in adult skeletal muscle induces rapid hypertrophy. *Molecular and Cellular Biology*, v. 24, n. 21, p. 9295-9304, 2004.
- LANGEN, R. C. et al. Tumor necrosis factor-alpha inhibits myogenic differentiation through MyoD protein destabilization. *The FASEB Journal*, v. 18, n. 2, p. 227-237, 2004.
- LEE, W. J. et al. AMPK activation increases fatty acid oxidation in skeletal muscle by activating PPARalpha and PGC-1. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, v. 240, n. 1, p. 291-295, 2006.
- Li, J. L. et al. Effects of fatigue and training on sarcoplasmic reticulum Ca(2+) regulation in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, v. 92, n. 3, p. 912-922, 2002.

- LINOSSIER, M. T. et al. Ergometric and metabolic adaptations to a 5 s sprint training program. *European Journal of Applied Physiology*, v. 68, p. 408-414, 1993.
- MARQUES, M. C.; GONZÁLEZ-BADILHO, J. J. In-season resistance training and detraining in professional team handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 20, n. 3, p. 563-571, 2006.
- MACDOUGALL, J. D. et al. Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *Journal of Applied Physiology*. V. 43, n.4, p. 700-3, 1977.
- \_\_\_\_\_. et al. DMuscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *Journal of Physiology*, v. 57, n. 5, p. 1399-1403, 1984.
- MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. *Fisiologia do exercício energia, nutrição e desempenho humano*. 5ªed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.
- MATHIEU-COSTELLO, O.; HEPPLER, R. T. Muscle structural capacity for oxygen flux from capillary to fiber mitochondria. *Exercise and Sports Sciences Reviews*, v. 30, n. 2, p. 80-84, 2002.
- MICHEL, R. N.; DUNN, S. E.; CHIN, E. R. Calcineurin and skeletal muscle growth. *The Proceedings of Nutrition Society*, v. 63, n. 2, p. 241-349, 2004.
- NADER, G. A.; MCLOUGHLIN, T. J.; ESSER, K. A. motor function in skeletal muscle hypertrophy: increased ribosomal RNA via cell cycle regulators. *American Journal of Physiology. Cell Physiology*, v. 289, n. 6, p. 1457-1465, 2004.
- \_\_\_\_\_. Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 38, n. 11, 2006.
- ORTENBLAD, N. et al. Enhanced sarcoplasmic reticulum Ca (2+) release following intermittent sprint training. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, v. 279, n. 1, p. 152-160, 2000.
- PARRA, J. et al. The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiologica Scandinavian*, v. 169, p. 157-65, 2000.
- PETTE, D. The adaptive potential of skeletal muscle fibers. *Canadian Journal of Applied Physiology*, v. 27, n. 4, p. 423-448, 2002.
- PHILLIPS, S. M. Resistance exercise: good for more than just Grandma and Grandpa's muscles. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, v. 32, n. 6, p. 1198-1205, 2007.
- REEVES, N. D.; MAGANARIS, C. N.; NARICI, M. V. Effect of strength training on human patella tendon mechanical properties of older individuals. *Journal of Physiology*, v. 548, p. 971-981, 2003.

- ROCKL, K. S. C; WITCZAK, C. A; GOODYEAR, L. J. Signaling mechanisms in skeletal muscle: acute responses and chronic adaptations to exercise. *IUBMB Life*, v. 60, n. 3, p. 145-153, 2008.
- ROSE, A. J.; KIENS, B.; RICHTER, E. A. Ca<sup>2+</sup>-calmodulin-dependent protein kinase expression and signalling in skeletal muscle during exercise. *Journal of Physiology*, v 574, p. 889-903, 2006. pt.3
- ROSS, A.; LEVERITT, M. Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Medicine*, v. 31, n. 15, p. 1063-1082, 2001.
- ROSS, A.; LEVERITT, M.; RICK, S. Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. *Sports Medicine*, v. 31, n. 6, p. 409-245, 2001.
- SALTIN, B.; WAHREN, J.; PERNOW, B. Phosphagen and carbohydrate metabolism during exercise in trained middle-aged men. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, v. 33, n. 1, p. 71-77, 1974.
- SALTIN, B. et al. Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 301, p. 3-44, 1977.
- SERGER, J. Y.; THORSTENSSON, A. Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. *International Journal of Sports and Medicine*, v. 26, p. 45-52, 2005.
- TAKARADA, Y. et al. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of Applied Physiology* Resistance exercise with short inter-set rest period on mMuscular function in middle-aed women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 16, n. 1, p. 123-128, 2002.
- TALMADGE, R. J. et al. Calcineurin activation influences muscle phenotype in a muscle-specific fashion. *BMC Cell Biology*, v. 28, p. 5-28, 2004.
- TANIGUCHI, C. M.; EMANUELLI, B.; KAHN, C. R. Critical nodes in signalling pathways: insights into insulin action. *Nature Reviews: molecular cell biology*, v. 7, n. 2, p. 85-96, 2006.
- TATSUMI, R. et al. (2002) Release of hepatocyte growth factor from mechanically stretched skeletal muscle satellite cells and role of pH and nitric oxide. *Molecular Biology of the Cell*, v. 13, n. 8, p. 2909–2918, 2002.
- TATSUMI, R.; ALLEN, R. E. Active hepatocyte growth factor is present in skeletal muscle extra cellular matrix. *Muscle Nerve*, v. 30, n. 5, p. 654-658, 2004.
- THORTENSSON, A; SJODIN, B; KARLSSON, J. Enzyme activities and muscle strength after sprint training in man. *Acta Physiologica Scandinavian*. v. 94, p. 313-118, 1975.
- VAN PRAAGH, E. Anaerobic fitness tests: what are we measuring? *Medicine and Sports Science*, v. 50, p. 26-45, 2007.

---

VASHISHT GOPAL, Y. N.; ARORA, T. S.; VAN DYKE, M. W. Tumour necrosis factor-alpha depletes histone deacetylase 1 protein through IKK2. *EMBO Reports*, v. 7, n. 3, p. 291-296, 2006.

WEINECK, J. *Treinamento ideal*. São Paulo: Manole, 1999.

WILLIAMSON, D. L.; KIMBALL, S. R.; JEFFERSON, L. S. Acute treatment with TNF- $\alpha$  attenuates insulin-stimulated protein synthesis in cultures of C2C12 myotubes through a MEK1-sensitive mechanism. *American Journal of Applied Endocrinology and Metabolism*, v. 289, p. 95-104, 2005.

WOZNIAK, A. C. et al. C-Met expression and mechanical my activation of satellite cells on cultured muscle fibers. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, v. 51, n. 11, p. 1437-1445, 2003.

ZATSIORSKY, V. M. *Ciência e prática do treinamento de força*. São Paulo: Phorte, 1999.

ZIERATH, J. R.; HAWLEY, J. A. Skeletal muscle fiber type: influence on contractile and metabolic properties. *PLoS Biology*, v. 2, n. 10, p. 337-348, 2004.

---

**RÔMULO JOSÉ DANTAS MEDEIROS**

**Programa Associado de Pós-Graduação em Educação Física UFPB/UPE; Bolsista do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais – REUNI**

**MARIA DO SOCORRO CIRILO DE SOUSA**

**Universidade Federal da Paraíba (UFPB)**

**Departamento de Educação Física –**

**Dados do autor:**

Rômulo José Dantas Medeiros

Endereço: Avenida Presidente Café Filho, 509, Bairro – Bessa.

Cidade/Estado: João Pessoa – Paraíba

Telefone: (83) 3245-1679 / 8725-1679

E-mail: romuloaquazul@yahoo.com.br

Recebido 03/01/2009

Site Conexoes