

Respostas adaptativas do músculo-esquelético à exposição vibratória

C. Bosco^{1,2,3}, R. Colli⁴, E. Introvini⁴, M. Cardinale⁵, O. Tsarpela¹, A. Madella⁶,
J. Tihanyi³ and A. Viru⁷

¹ Universidade de Roma - Tor Vergata, Fondazione 'Don Gnocchi', Roma, Itália

² Departamento de Biologia de Actividade Física, Universidade de Jyvaskyla, Finlândia

³ Departamento de Biomecânica, Universidade Húngara de Educação Física, Budapeste, Hungria

⁴ Centro de Estudo e Investigação, Federação de Ciclismo Italiana

⁵ Centro de Estudo e Investigação, Federação de Andebol Italiana

⁶ I Comité Olímpico Italiano

⁷ I Instituto de Exercício Biológico, Universidade de Tartu, Estónia

Sinopse

O objectivo deste estudo consistiu na investigação dos efeitos das vibrações de corpo inteiro (VCI) no comportamento mecânico do músculo-esquelético humano. Para isso, seis jogadoras de voleibol de nível nacional foram recrutadas voluntariamente e foram testadas num exercício de força dinâmica máxima das pernas numa prensa com pesos adicionais de 70, 90, 110 e 130 kg. Depois de testadas, uma perna foi aleatoriamente escolhida para tratamento de controlo (C) e a outra para tratamento experimental (E) que consistia em vibrações. As pernas foram então novamente testadas no final do tratamento usando a prensa. Os resultados mostraram uma notável e estatisticamente relevante melhoria da velocidade média (VM), força média (FM) e potência média (PM) ($P < 0.05-0.005$). Consequentemente, a relação velocidade-força e potência-força deslocou-se para a direita após o tratamento. Em suma, confirmou-se que a melhoria pode ter sido causado por factores neuronais, já que as atletas estavam acostumadas ao exercício feito com a prensa e por isso o efeito da aprendizagem era mínimo.

Introdução

O músculo-esquelético é um tecido especializado que altera a sua capacidade de funcionamento global em resposta ao exercício crónico com cargas pesadas (e.g. McDonagh & Davies, 1984). Sabe-se que o treino intensivo e prolongado da força induz uma resposta neuromuscular (e.g. Sale, 1988) e hormonal (e.g. Guezennec et al., 1986) adaptativa no corpo humano em poucos meses, já as mudanças na estrutura morfológica demoram mais tempo a ocorrer (e.g. Sale, 1988). Contudo, o mecanismo que regula o modo como o corpo se adapta a exigências específicas a que é sujeito é ainda desconhecido. São ainda menos conhecidas as alterações hormonais, a perda de força relativa e a fadiga durante uma sessão de exercícios de alta intensidade. (e.g. Hakkinen & Pakarinen, 1995; Bosco et al., 1998). É de salientar que os programas de treino específico de força e de força explosiva têm por base exercícios realizados com rápida e violenta variação de aceleração gravitacional (Bosco, 1992). Nestes termos, deve-se ter também em conta que as variações nas condições gravitacionais podem ser produzidas por vibrações mecânicas aplicadas ao corpo inteiro.

Palavras-Chave: força/velocidade, mecânica do músculo, vibração.

A vibração de corpo inteiro aplicada durante 10 minutos num período de tratamento de 10 dias induziu uma melhoria da performance de força explosiva em indivíduos fisicamente activos (Bosco *et al.*, 1998). Após a realização da referida experiência, realizamos, o presente estudo para observar o modo como o músculo-esquelético respondia a uma sessão única de aplicação de vibração de corpo inteiro de 10-min em atletas bem treinados.

Métodos

Seis jogadoras de voleibol de nível nacional (idades 19.5 ± 2.1 anos; peso 65.1 ± 3.7 kg; altura 174.9 ± 3.2) participaram voluntariamente no estudo. Elas eram fisicamente activas e estavam integradas num programa de treino desportivo que consistia em cinco treinos semanais. Cada atleta foi instruída acerca do protocolo e cada uma delas deu o seu consentimento informado para participar na experiência. Atletas com um historial de fracturas ou lesões a nível dos ossos foram excluídos do estudo. O *design* do estudo foi aprovado pelo comité ético da Sociedade Italiana da Ciência Desportiva.

Procedimentos

Fizeram-se dez minutos de aquecimento: 5 min de bicicleta a 25 km h^{-1} num cicloergómetro (Newform, Ascoli Piceno, Itália) e 5 min de estiramento estático para os quadríceps e tríceps surae. Após o aquecimento, todas as atletas, bem acostumadas aos exercícios, realizaram exercícios de força dinâmica máxima das pernas numa prensa (Newform) com pesos adicionais de 70, 90, 110 e 130 kg. Uma perna de cada vez foi usada para cada peso. Para cada peso foi usado o melhor ensaio de três para análise estatística. Durante o teste, os deslocamentos verticais dos pesos foram monitorizados com uma simples combinação de um sensor com um aparelho mecânico (Ergopower; Ergotest Technology, Langensund, Noruega). Os pesos foram ligados mecanicamente a um codificador conectado a um microprocessador electrónico (Muscle Lab, patente no. 1241671). Quando os pesos eram movidos pelas atletas, era transmitido um sinal pelo sensor por cada 3 mm de deslocação. Deste modo, era possível calcular a velocidade média (VM), aceleração, força média (FM) e potência média (PM) correspondentes aos deslocamentos dos pesos (para detalhes, ver Bosco *et al.*, 1995).

Reprodutibilidade das medições

Os testes de reprodutibilidade dos exercícios de força dinâmica deram uma correlação teste-reteste de $r = 0.95$ para a média de potência (P) (Bosco *et al.*, 1995).

Procedimentos do Tratamento

As atletas foram expostas a uma vibração vertical sinusoidal de corpo inteiro (VCI) usando um aparelho chamado Galileo 2000 (Novotec, Pforzheim, Alemanha). A frequência das vibrações usadas neste estudo foi regulada para 26 Hz (deslocação = 10 mm; aceleração = 54 m s^{-2}). As atletas foram expostas às vibrações 10 vezes durante 60 segundos com um descanso de 60 segundos entre cada tratamento.

Tipo de tratamento usado

A aplicação foi realizada com as atletas de pé, com os dedos dos pés de uma perna na plataforma vibratória, o ângulo do joelho foi pré estabelecida nos 100° de flexão, enquanto o outro não se encontrava apoiado no chão. Durante todos os tratamentos, foi pedido às atletas que usassem sapatos desportivos para evitar ferimentos. A perna exposta à vibração era atribuída ao grupo E, enquanto a não exposta era atribuída ao grupo C. Deste modo, em cada atleta, uma perna era exposta à vibração (E) e a outra era considerada como um controlo (C). A perna aleatoriamente atribuída ao grupo E ou C demonstrava um comportamento mecânico similar antes de ser exposta à vibração (TV) (Tabela 1). Os procedimentos de teste foram administrados no início (pré) e imediatamente após (pós) o período TV.

Métodos Estatísticos

O teste adaptado Kolmogorov-Smirnov (D. Somers) foi realizado devido à pequena dimensão da amostra para verificar a possibilidade de usar estatísticas paramétricas. Todos os dados excepto VM com 90 kg no grupo E e com 90 kg e 130 kg no grupo C seguiram uma distribuição normal, as diferenças foram de seguida avaliadas usando o teste t de *Student*. Os dados acima mencionados, que não seguiram uma distribuição normal, foram analisados usando o teste Wilcoxon. Os métodos estatísticos convencionais, incluindo média e desvio padrão, foram também realizados. O nível de relevância foi estabelecido a $P < 0.05$.

Tabela 1 Valores médios (X) ± desvio padrão (DP) potência média (PM) por kg do peso do corpo, velocidade média (VM) e força média (FM) medidos durante os exercícios de pernas executados na prensa com um aumento de pesos progressivo, antes e imediatamente após o tratamento VCI, na perna experimental e na perna controlo.

Load (kg)		$\Delta P (W \cdot kg^{-1})$		$\Delta V (m \cdot s^{-1})$		$\Delta F (m \cdot s^{-1})$	
		Before	After	Before	After	Before	After
Experimental leg	X	4.63	4.94**	0.434	0.462*	735	737
	SD	0.46	0.44	0.025	0.015	6	5
70	X	5.11	5.44**	0.376	0.398***	936	941*
	SD	0.44	0.43	0.011	0.003	8	9
90	X	5.22	5.65***	0.317	0.342***	1134	1138*
	SD	0.54	0.52	0.018	0.015	14	15
110	X	5.13	5.43***	0.267	0.281***	1324	1327*
	SD	0.66	0.7	0.028	0.027	20	19
Control leg	X	4.6	4.6	0.431	0.436	737	736
	SD	0.5	0.3	0.032	0.010	5	5
90	X	5.05	5.3	0.371	0.387	937	937
	SD	0.4	0.4	0.016	0.022	11	12
110	X	5.4	5.4	0.327	0.328	1136	1137
	SD	0.5	0.5	0.019	0.013	5	15
139	X	5.2	5.4	0.272	0.279*	1324	1328
	SD	0.6	0.5	0.03	0.025	14	17

Diferenças relevantes antes e após tratamento: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Resultados

Antes do período de TV, não foi encontrada nenhuma diferença relevante no comportamento mecânico entre a perna E e a perna C nos parâmetros estudados (FM, VM e PM) para todos os pesos usados (70, 90, 110 e 130 kg) (Tabela 1). Após o período TV, as pernas afectadas pela vibração (E) mostraram melhorias estatisticamente relevantes (pré vs. pós) da FM, VM e PM desenvolvidas com todos os pesos usados ($P < 0.05$ - 0.005) (Tabela 1). Como resultado,

as curvas da velocidade-força (V-F) e da potência-força (P-F) (Fig. 1), estabelecidas pelas variáveis presentes na Tabela 1, deslocaram-se para a direita após o período TV. Só a FM desenvolvida com 70 kg permaneceu igual após o período TV. Contrastando, o comportamento mecânico das pernas C não demonstrou qualquer alteração nas variáveis mecânicas estudadas pela análise dos testes "pré" e "pós" (Tabela 1). Somente a VM desenvolvida com 130 kg mostrou um melhoramento estatisticamente relevante (aproximadamente 3%) no teste de pós-avaliação ($P < 0.05$).

Figura 1 Velocidade média (VM) e a potência média (PM) desenvolvidas durante o exercício na prensa realizado com vários pesos (70, 90, 110 e 130 kg) são mostrados de acordo com a força média (FM) antes (símbolos preenchidos) e depois (símbolos não preenchidos) do período TV. As diferenças estatísticas dos valores da FM, VM e da PM juntamente com a diferença dos pesos usados são mostradas na Tabela 1.

Discussão

Como era de prever, a análise dos testes pré vs. pós realizado pelas pernas C não mostraram qualquer modificação nas propriedades mecânicas estudadas. Isto não é uma conclusão surpreendente uma vez que em exercícios de meio-agachamento realizados com carga adicional (100% da massa corporal do atleta) durante o mesmo dia por 12 lançadores femininos e masculinos também não houve alterações (Bosco *et al.*, 1995). No entanto, a VM desenvolvida com 130 kg mostrou uma melhoria estatisticamente relevante no teste de pós-avaliação da perna C ($P < 0.05$). Uma explicação razoável para esta melhoria não pode ser facilmente encontrada, tendo em conta que os atletas nestas experiências estavam bastantes habituados a este tipo de exercício, logo, encontra-se excluído qualquer efeito de aprendizagem do movimento executado. O comportamento mecânico das pernas E demonstrou uma alteração importante nas relações V-F e P-F após o TV durando somente 10 min. A ocorrência de mudanças e deslocamentos para a direita da relação força-velocidade (F-V) têm sido observadas após várias semanas de treinos intensivos de resistência (e.g. Coyle *et al.*, 1981; Hakkinen & Komi, 1985). A melhoria na relação F-V foi atribuída à melhoria do comportamento neuromuscular provocado pelo aumento da actividade do neurónio motor superior (Miller-Brown *et al.*, 1975). Deste modo, é também provável que a TV tenha causado uma melhoria importante do tráfico neuronal que regula o comportamento neuromuscular (Bosco *et al.*, 1998). Durante a vibração do corpo, os músculos esqueléticos são sujeitos a pequenas mudanças no comprimento do músculo. A facilitação da excitabilidade do reflexo espinal tem sido mostrada como resultante da vibração aplicada aos músculos quadríceps (Burke *et al.*, 1996). Lebedev & Peliakov (1991) destacaram a possibilidade da vibração poder acarretar um fluxo excitatório através de ligações entre fusos musculares e motoneurónio curtos. Burke *et al.* (1976) sugeriram que o reflexo vibratório opera predominantemente ou exclusivamente nos motoneurónios alpha e não usa as mesmas vias eferentes com origem no córtex que as contracções voluntárias usam. Contudo, a facilitação do movimento voluntário não pode ser excluído. No presente estudo, não foi demonstrada nenhuma potenciação neurogénica, já que não foram realizadas Electromiografias. Apesar disso, a melhoria do comportamento mecânico sugere fortemente que uma adaptação neurogénica pode ter ocorrido em resposta aos tratamentos de vibração.

Por isso, mesmo que o mecanismo intrínseco tenha contribuído, a resposta adaptativa das funções neuromusculares face ao TV não podem ser explicadas por ele. A duração do estímulo parece ser importante. A resposta adaptativa do músculo-esquelético humano a condições de hipergravidade simuladas (1.1 g), aplicadas durante 3 semanas, causou um importante melhoramento das funções neuromusculares dos músculos extensores da perna, deslocando a relação F-V para a direita (Bosco, 1985). Na presente experiência, mesmo que a duração total do período de aplicação do TV tenha sido de apenas 10 min, a perturbação do campo gravitacional foi consistente (5.4 g). Um estímulo de treino equivalente em duração e intensidade pode ser atingido apenas através de 150 repetições na prensa ou de meio-agachamento com pesos adicionais três vezes superiores à massa corporal, duas vezes por semana, durante 5 semanas (Bosco, 1992).

Referências Bibliográficas

- BOSCO C. (1985) Adaptive responses of human skeletal muscle to simulated hypergravity condition. *Acta Physiologica Scand*, 124, 507±513.
- BOSCO C. (1992) The effects of extra-load permanent wearing on morphological and functional characteristics of leg extensor muscles. Published Doctoral Thesis, Université Jean-Monnet de Saint Etienne, France.
- BOSCO C., BELLI A., ASTRUA M., TIHANYI J., POZZO R., KELLIS S., TSARPELA O., FOTI C., MANNO R. & TRAN-QUILLI C. (1995) Dynamometer for evaluation of dynamic muscle work. *Eur J Appl Physiol*, 70, 379±386.
- BOSCO C., COLLI R., BONOMI R., VON DUVILLARD S. P. & VIRU A. (1999) Monitoring strength training. Neuro-muscular and hormonal profile. *Med Sci Sport Exerc*, (in press)
- BOSCO C., CARDINALE M., COLLI R., TIHANYI J., VON DUVILLARD S. P. & VIRU A. (1998) The influence of whole body vibration on jumping ability. *Bio Sport*, 15, 157±164.
- BURKE J. R., RYMER W. Z. & WALSH H. V. (1976) Relative strength of synaptic inputs from short latency pathways to motor units of defined type in cat medial gastrocnemius. *Neurophysiology*, 39, 447±458.
- BURKE J. R., SCHUTTEN M. C., KOCEJA D. M. & KAMEN G. (1996) Age-dependent effects of muscle vibration and the Jendrassik maneuver on the patellar tendon reflex response. *Arch Phys Med Rehabil*, 77, 600±604.
- COYLE E., FEIRIN C., ROTKIS T., COTE R., ROBY F., LEE W. & WILMORE J. (1981) Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J Appl Physiol*, 51, 1437±1442.

- GUEZENNEC Y., LEGER L., LHOSTE F., AYMUNOD M. & PESQUIES P. C. (1986) Hormone and metabolic response to weight-lifting training sessions. *Int J Sports Med*, 7, 100±105.
- HÄKKINEN K. & KOMI P. V. (1985) Effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensors muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises. *Scand J Sports Sci*, 7, 65±76.
- HÄKKINEN H. & PAKARINEN A. (1995) Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *Int J Sports Med*, 16, 507±513.
- LEBEDEV M. A. & PELIAKOV A. V. (1991) Analysis of the interference electromyogram of human soleus muscle after exposure to vibration (in Russian). *Neuro@ziologia*, 23, 57±65.
- MCDONAGH M. J. N. & DAVIES C. T. M. (1984) Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol*, 52, 139±155.
- MILNER-BROWN H. S., STEIN R. B. & LEE R. G. (1975) Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal re-exes. *Electroenceph Clin Neurophys*, 38, 245±254.
- SALE D. G. (1988) Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 20, 135±145.