

# Alterações agudas na excitabilidade neuromuscular após exercício exaustivo de vibração de corpo inteiro comparadas com a exaustão provocada pelo exercício de agachamento

Jörn Rittweger<sup>1,2</sup>, Marcus Mutschelknauss<sup>2</sup> e Dieter Felsenberg<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Physiologie, Freie Universität Berlin, Arnimallee, Berlin, Germany, <sup>2</sup>Zentrum für Muskel- und Knochenforschung, Universitätsklinikum Benjamin Franklin, Freie Universität Berlin, Hindenburgdamm, Berlin, Germany

## Resumo

### Endereço

Jörn Rittweger, Institut für Physiologie, Freie Universität Berlin, Arnimallee 22, 14195 Berlin, Germany  
E-mail: ritmus@zedat.fu-berlin.de

### Aceite para publicação

Recebido a 15 de Julho de 2002;  
aceite a 28 de Outubro 2002

### Palavras chaves

electromiográfico; teste de impulsão; reflexo do tendão patelar; esforço apreendido; treino; exercício de vibração

Foram testados os efeitos de exercícios exigentes de agachamento com (EV+) e sem (EV-) vibração no funcionamento neuromuscular em 19 jovens voluntários saudáveis. Foram realizados três testes diferentes antes e após o exercício: impulsão máxima em série de 30s, electromiografia durante extensão isométrica do joelho a 70% do torque voluntário máximo, e a análise quantitativa do reflexo do tendão patelar. Não foi encontrada diferença nenhuma entre os valores EV+ e EV- sob as condições iniciais. O tempo que se passou até chegar à exaustão foi significativamente mais curto em EV+ do que em EV- ( $349 \pm 338$  s versus  $515 \pm 338$ s), mas o lactato sanguíneo ( $5.49 \pm 2.73$  mmol l<sup>-1</sup> versus  $5.00 \pm 2.26$  mmol l<sup>-1</sup>) e o esforço subjectivamente apreendido (os valores da taxa de esforço apreendido variam entre  $18.1 \pm 1.2$  versus  $18.6 \pm 1.6$ ) aquando do término do exercício indica níveis de fadiga comparáveis. Após o exercício, foram observados efeitos comparáveis na altura de impulsão, tempo de contacto com o solo, e torque isométrico. A frequência média do vasto lateral durante o torque isométrico, no entanto, foi maior após o EV+ do que após o EV-. Do mesmo modo, a amplitude do reflexo do tendão foi significativamente maior após o EV+ do que após o EV- ( $4.34 \pm 3.63$  Nm versus  $1.68 \pm 1.32$  Nm). Segue-se que em exercícios com graus de exaustão e de fadiga muscular comparáveis, a vibração de 26Hz sobreposta aparenta provocar excitabilidade neuromuscular. Este efeito pode ser possivelmente explorado para o planeamento de regimes de treino futuros.

## Introdução

Apesar de se encontrar presente em muitos desportos clássicos, as cargas de vibração têm sido negligenciadas até muito recentemente (Issurin et al., 1994; Mester et al., 1999). O exercício de vibração (EV) é um novo tipo de exercício que foi concebido com o objectivo de estimular os músculos através de reflexos espinais. Está presentemente a ser testado em diversos campos desde o treino de atletas profissionais (Bosco et al., 1999) ao tratamento da osteoporose (Spitzenpfeil & Mester 1997; Rubin et al., 1998, 2001) e da dor crónica no fundo das costas (Rittweger et al., 2002b).

Foram feitas algumas observações inesperadas na aplicação de exercício de vibração. Por exemplo, foi relatado que existe um aumento no volume de sangue (Kersch-Schindl et al., 2001), e que pode ocorrer um eritema nos membros activados (Rittweger et al., 2000). Outra descoberta foi o aumento da frequência mediana electromiográfica (EMG) na contração isométrica imediatamente depois de um exercício de vibração exaustivo o que contrasta com a observação geral de

decréscimo da frequência EMG na fadiga muscular (Hakkinen & Komi 1983).

É evidente que um melhor entendimento dos mecanismos fisiológicos envolvidos no exercício vibratório ajudará a identificar os benefícios potenciais desta técnica. Neste ponto, é de um interesse vital a alteração no funcionamento neuromuscular. Foi assim decidido investigar os efeitos neuromusculares agudos da vibração exaustiva de corpo inteiro numa abordagem integrada.

O funcionamento muscular é caracterizado pela produção de força e de potência, mas também pela capacidade de manter a força e a potência ao longo de um determinado período de tempo (=resistência). Tanto os mecanismos nervoso central como o periférico contribuem para essas funções.

O output de potência muscular máximo pode ser observado depois de um único salto ou movimento brusco (Bosco et al., 1983b). Em indivíduos jovens e saudáveis, o output de potência durante saltos contínuos máximos é geralmente mantido ao longo de 10–20 s e em seguida diminui

em função da composição do tipo de fibra e consequentemente fatigabilidade (Bosco et al., 1983a).

Um dos mecanismos da fadiga deve-se à insuficiência relativa de abastecimento de energia oxidativa. Resultando na acumulação de lactato no sangue. Dentro dos limites normais, o efluxo de lactato do músculo está linearmente relacionado com a concentração intracelular e é indirectamente proporcional à quantidade de fibras musculares do tipo I (*slow twitch*) (Bangsbo et al, 1993). Durante a realização de exercício intenso e dinâmico, o lactato sanguíneo pode portanto servir como um indicador da fadiga das fibras musculares de tipo II (*fast twitch*).

Durante a contração voluntária isométrica máxima (CVM) em indivíduos jovens e saudáveis, a maior parte da força recrutada é despoletada duravelmente (Allen e tal., 1995). Em contrações sustentadas, a frequência EMG e a potência EMG registada acima do músculo que está a trabalhar normalmente reduz-se, tanto a nível de contrações concêntricas como de contrações isométricas (Tesch e tal., 1983; Hakkinen & Komi 1983). Isto deve-se às alterações nos padrões de recrutamento, já que unidades motoras mais pequenas têm uma mais reduzida velocidade de condução (e logo frequência EMG) e amplitude (e logo potência EMG) do que unidade maiores (Kupa et al., 1995). Deste modo, a análise dos padrões EMG serve de indicador dos padrões de recrutamento nervoso central.

O reflexo de estiramento é uma via com uma sinapse nervosa central, que retransmite informação acerca de alterações do comprimento para o motoneurónio  $\alpha$ . No interior desta via, as fibras nervosas Ia aferentes têm um efeito predominante sobre as unidades motoras maiores, contendo predominantemente fibras do tipo II. Depois da realização de exercício exigente, a amplitude do reflexo diminui geralmente (Avela e tal., 2001; Zhang & Rymer 2001).

Deste modo, decidimos investigar a influência do exercício vibratório na força neuromuscular e na produção e manutenção da potência, avaliada através da contração isométrica e pelo teste de saltos contínuos, e no recrutamento neuromuscular nervoso central, avaliado pela análise EMG durante contração isométrica e pela análise quantitativa do reflexo de estiramento. Escolhemos testar a frequência (26Hz) que tem sido utilizada por muitos outros investigadores e por relatórios de outros colegas, uma frequência abaixo dos ~20Hz provoca relaxação muscular (aplicamos com sucesso exercício de vibração de 18 HZ em pacientes com dor crónica no fundo das costas), ao passo que, existem relatos de que com frequências acima de ~50Hz podem dar lugar a dores musculares ou mesmo a hematomas em indivíduos sem treino.

## Métodos

### Participantes

Dez mulheres e nove homens foram recrutados no campus universitário. Antes de serem incluídos, foi obtido o consentimento informado e por escrito de todos os participantes (aprovação do comité ético local sob a assinatura de Galileo/Physio/Elektrik). Os participantes do sexo feminino tinham uma idade média de  $21.8 \pm 2.7$  anos, altura de  $172.6 \pm 6.1$  cm, massa corporal de  $63.2 \pm 3.4$  kg e um índice de massa corporal (IMC) de  $21.3 \pm 1.8$  kg m<sup>-2</sup>.

Os participantes do sexo masculino tinham uma idade média de  $24.4 \pm 2.8$  anos, altura de  $181.8 \pm 5.5$  cm, massa corporal de  $75.3 \pm 6.4$  kg e IMC de  $22.7 \pm 1.2$  kg m<sup>-2</sup>.

### Design do Estudo

Foi concebido um estudo *cross-over* aleatório que comparasse os efeitos neuromusculares de treino exaustivo de agachamento com (EV+) e sem (EV-) vibração de corpo inteiro. Foram realizadas três medições neuromusculares (saltos contínuos, torque isométrico, e reflexo patelar) foram realizadas separadamente antes do exercício (Pré), e imediatamente depois de acabar o exercício (Pós), e uma vez mais passados 10 min de recuperação após o término do exercício (Rec). Deste modo, cada participante realizou seis testes ( $3 \times 2$ ), com pelo menos 3 dias de intervalo entre visitas. Cada participante realizou os diferentes testes numa ordem aleatória.

### Medições

Os testes neuromusculares consistiram em EMGs durante a extensão isométrica do joelho, a medição quantitativa do reflexo do tendão patelar e dos saltos contínuos verticais. Todos os testes foram realizados durante 30 s. Os saltos contínuos foram realizados numa plataforma de contacto. Foi dito aos participantes para saltarem tão alto quanto conseguissem, mantendo o contacto com o solo o mais curto possível. Durante o exercício tinham as mãos colocadas nas ancas.

O torque isométrico geralmente decresce após exercício de vibração exaustivo (Rittweger et al., 2000). As experiências levadas a cabo para preparar este estudo mostraram que 70% do nível de extensão isométrica máxima do joelho pode ser realizada durante 30 s mesmo após um exercício exaustivo.

Logo a extensão isométrica do joelho neste estudo foi realizada a 70% da CVM. As contrações foram realizadas numa cadeira feita especificamente para este propósito, com um ângulo estabelecido nos 100° (0° = extensão completa). A força de extensão isométrica máxima foi avaliada em três ensaios com os olhos fechados e com encorajamento verbal por parte do experimentador. Uma CVM de 100% foi definida como o valor de torque mais elevado nestes três ensaios. Foram colocados dois eléctrodos para realizar os registos EMG a 3 cm do músculo vasto lateral e a um terço do comprimento do fémur a partir da sua parte distal. Para as condições de teste, pediu-se aos participantes que realizassem um torque de 70% do seu esforço voluntário máximo. Controlaram o torque realizado num monitor de computador em que a extensão entre 65 e 75% era mostrada.

O reflexo do tendão patelar foi testado na mesma cadeira que o torque isométrico. O tornozelo foi atado a um apoio para a perna com fita velcro. A perna que ficou suspensa exercia um torque negativo em condições de descanso o que ajudava a avaliar o relaxamento dos músculos da perna. Os reflexos de estiramento foram activados manualmente em cada segundo por um martelo com extensores na ponta. O impacto do martelo foi controlado *online*.

Tanto a extensão isométrica do joelho como o reflexo do tendão patelar foram testados na perna não dominante.

## Procedimentos

Antes de começar, os participantes fizeram um aquecimento (10 min de bicicleta a 50W e alongamentos). A aplicação de vibração de corpo inteiro foi feita com um protótipo de um produto disponível em lojas (Galileo 2000; NovoTec, Pforzheim, Alemanha). Resumidamente, este aparelho provoca oscilações da plataforma à volta de um eixo central localizado entre os pés do indivíduo. Deste modo, a perna esquerda e a direita são estiradas alternadamente. A amplitude de vibração foi estabelecida nos 6mm (12mm do topo ao fundo) e a frequência nos 26 Hz.

Durante o exercício, realizou-se agachamentos de uma posição de quase completa extensão do joelho até um ângulo de 90°. Foi aplicada uma carga adicional de 40 % da massa corporal através de um fio ligado a um cinto de anca. O comprimento do fio foi ajustado de modo a que o peso tocasse no chão com flexões superiores a 90°, controlando deste modo a amplitude do agachamento. Foi usado um metrônomo a uma frequência de 1 Hz para o controlo do tempo do exercício de agachamento, e foi dito aos participantes para se mexerem 3 s para cima e 3s para baixo tão uniformemente quanto conseguissem. A precisão dos movimentos foi controlada pelo experimentador confirmando que o peso suspenso quase tocava na plataforma durante cada ciclo de agachamento.

Mediu-se o lactato sanguíneo antes e 2 min depois de todos os exercícios com um aparelho Accusport (Roche Diagnostics, Mannheim, Germany), utilizando sangue capilar do dedo. Durante a realização do exercício, foi avaliada a taxa de esforço apreendida (TEA) a cada minuto (Borg 1976). No fim de cada exercício os participantes disseram o seu nível de fadiga. O peso era então solto através de um botão para soltar rápido e o participante colocava-se na cadeira ou na plataforma de saltos, respectivamente. Os testes começavam 10 s após o término do exercício.

## Análise de Dados

Os sinais da plataforma de contacto, os extensores do martelo, torque de extensão do joelho, e o electromiograma do m. vasto lateral foram amplificados com uma resolução de 12-bit e uma taxa de amostragem de 1000Hz. Foi feita a média com as variáveis do teste neuromuscular em períodos de 10s, resultando em três períodos consecutivos para cada teste (10, 20 e 30s).

Para cada salto, o tempo no ar ( $t_{ar}$ ) e o tempo de contacto ( $t_{contacto}$ ) foram avaliados. A altura de impulsão foi calculada como  $a_{salto} = 1.23t_{ar}^2$  (m/s<sup>2</sup>).

Durante a extensão do joelho de 70% CVM, foi avaliada o torque médio. Os registos EMG do m. vasto lateral foram analisados para obter a frequência mediana (Kupa et al., 1995; Rittweger et al., 2000).

Os espectros de potência foram calculados a cada 200 ms com 100 ms de sobreposição, aplicando a janela de Hanning como descrito anteriormente (Rittweger et al., 2000). A frequência mediana foi calculada a partir destes espectros.

As pancadas do martelo foram detectadas a partir dos registos dos extensores por um algoritmo de limiar. Foram utilizadas para calcular as médias despoletadas pelo sinal de torque. A amplitude do reflexo foi calculada como a diferença entre o pico de torque após a pancada do martelo e o início da pancada.

A latência do reflexo foi calculada como o tempo que se passou entre o início da pancada e um valor de torque de 25% da amplitude do reflexo.

## Análise Estatística

As estatísticas foram feitas com o software SPSS na sua versão 10.0 para PC. O teste t pareado foi utilizado para examinar as diferenças entre o tempo de exercício e a TEA. Medições repetidas ANOVA intersujeito com contraste simples *post-hoc* foram realizadas para examinar as diferenças entre lactato sanguíneo e a latência do reflexo antes e depois EV- ou EV+. Foram também realizadas medições repetidas ANOVA intersujeito para analisar os efeitos do tratamento (EV-) ou (EV+) e períodos (10, 20 e 30 s) no torque, na frequência EMG, potência EMG, amplitude de reflexo, altura de impulsão e tempo de contacto com o chão durante os saltos.

Se não for indicado em contrário, os dados são fornecidos como média  $\pm$  desvio padrão (DP). Assumiu-se a significância dos dados se  $P < 0.05$ . Os níveis de significância foram ajustados para comparações múltiplas utilizando a regra de Bonferroni.

## Resultados

O tempo de duração do exercício foi significativamente mais curto nas sessões de EV+ do que de EV-. Não houve diferenças significativas na TEA entre dois tratamentos (EV+ e EV-). O lactato sanguíneo aumentou depois do exercício, mas mais uma vez não houve um efeito relacionado com o tratamento aplicado (ver Tabela 1). Foi encontrada uma correlação significativa entre EV- e EV+ nos valores da duração do exercício ( $r = 0.67$ ,  $P < 0.0001$ ), mas não na TEA ou no lactato sanguíneo.

## Saltos contínuos

Sob as condições pré, a altura de impulsão diminuiu no segundo e terceiro períodos de 10s ( $P < 0.001$ ), mas não foi observado nenhum efeito do tratamento ( $P > 0.2$ ). Do mesmo modo, a duração de contacto com o solo aumentou no segundo e terceiro períodos. Exercício pós. O efeito do período na altura de impulsão e na duração de contacto com o solo não esteve presente ( $P = 0.15$ , e  $P = 0.13$ , respectivamente). Tal como anteriormente, não houve efeitos do tratamento na altura de impulsão ( $P = 0.60$ ) ou na duração de contacto com o solo ( $P = 0.30$ ).

**Tabela 1** Dados gerais descritivos do exercício

Medição	EV+	EV-
Duração do exercício (s)	349 (230)	515 (338) <sup>a</sup>
TEA último minuto	181 (119)	186 (163)
Lactato sanguíneo pré (mmol l <sup>-1</sup> )	180 (057)	192 (072)
Lactato sanguíneo pós (mmo l <sup>-1</sup> )	5.49 (273) <sup>b</sup>	5.00 (226) <sup>b</sup>

Duração do exercício: tempo até à exaustão subjectiva; TEA: taxa de esforço apreendida (valor de Borg).

<sup>a</sup> Maior no agachamento do que no EV ( $P < 0.01$ ).

<sup>b</sup> Pós maior do que pré ( $P < 0.001$ ), mas comparável entre tratamentos ( $P > 0.2\%$ ).

## Extensão isométrica do joelho

Exercício pré, não houve efeito do período ou do tratamento no torque médio, indicando que a extensão do joelho foi mantida por igual nos 70% do torque voluntário máximo. A frequência EMG do m. vasto lateral diminuiu do primeiro período até ao terceiro (EV- 52.7 ± 7.3 Hz versus 47.3 ± 5.3 Hz, e EV+ 486 ± 116 Hz versus 419 ± 120 Hz), mas foi comparável entre tratamentos.

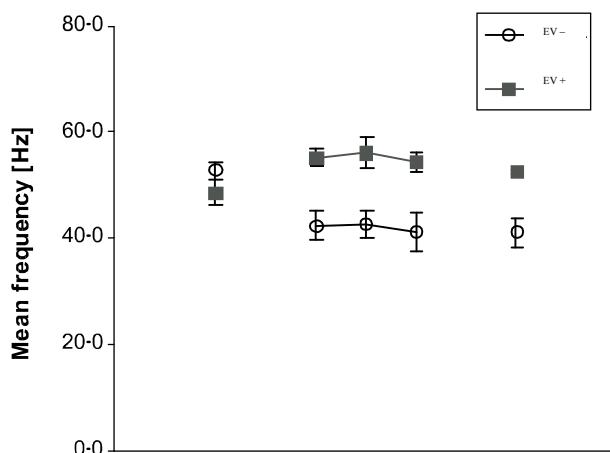
Exercício pós, o torque diminuiu significativamente do primeiro tratamento (EV-: 121 ± 18 Nm, EV+: 111 ± 29 Nm) para o segundo período (EV- 116 ± 21 Nm, EV+: 105 ± 28 Nm). Não foi observado um efeito significativo do tratamento. Houve 12 participantes que não acabaram o exercício de contração isométrica no terceiro período depois do exercício EV- e 10 após o exercício EV+ queixando-se de estarem demasiado fatigados. A frequência EMG em EV+ foi superior do que em EV- ( $P < 0.001$ , por exemplo 55.2 ± 5.8 Hz versus 42.4 ± 9.4 Hz no primeiro período). Não foi encontrado um efeito significativo no exercício pós (Fig. 1).

Sob condições Rec, não houve efeito do período ou do tratamento no torque, indicando mais uma vez que a extensão do joelho foi mantida por igual.

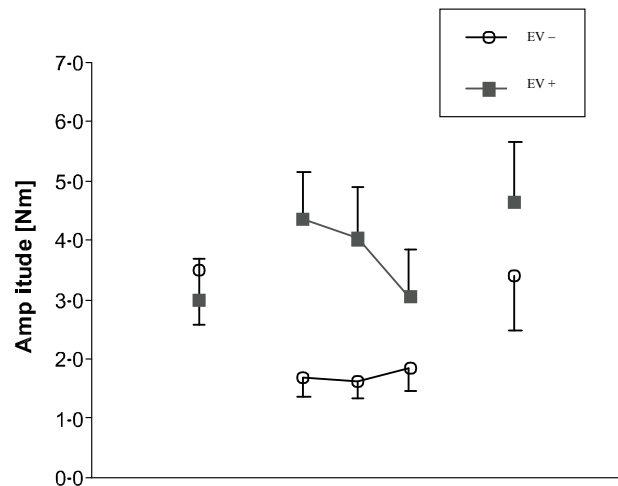
Apesar de a frequência EMG ainda aparecer maior depois de EV+ do que depois de EV-, a diferença já não foi significativa ( $P = 0.15$ ). Não foram observadas diferenças na potência EMG antes ou após o exercício.

## Reflexo do tendão patelar

A latência do reflexo foi comparável sob as condições Pré, Pós e Rec e não foi observado nenhum efeito do tratamento, indicando que a evocação dos reflexos foi bastante estável. Não foi encontrado nenhum efeito significativo do tratamento ou período na amplitude do reflexo sob as condições Pré. Houve, no entanto, um efeito significativo do tratamento no exercício Pós ( $P = 0.005$ ) com um aumento após EV+, mas um decréscimo em EV- (ver Fig. 2). Um efeito semanal de interação significativo



**Figura 1** Frequência média EMG registada sobre o músculo vasto lateral após o exercício com (EV+) e sem vibração (EV-). A frequência média foi significativamente mais elevada após o EV+ do que após o EV-. Este efeito persistiu passados 10 min de recuperação.



**Figura 2** Amplitude do reflexo do tendão patelar após o exercício com (EV+) e sem vibração (EV-). A amplitude do reflexo foi medida como torque numa cadeira especialmente concebida. Após o EV+, foi significativamente maior do que após EV- ( $P < 0.01$ ). Comparado com as condições iniciais, diminuiu após EV-, mas aumentou não significativamente após EV+ ( $P = 0.056$ ).

foi observado entre tratamento e período ( $P = 0.043$ ), indicando que a maior amplitude do reflexo após EV+ foi mais pronunciado nos primeiro e segundo períodos de 10-s. Durante o Rec, estes efeitos já não foram observados.

## Discussão

A duração total do exercício observado, as alterações no lactato sanguíneo e nos valores TEA sugerem que um grau de exaustão e de fadiga muscular comparável foi atingido mais rapidamente com vibração do que sem vibração. Isto torna-se plausível se considerarmos que a vibração de corpo inteiro aumenta o consumo de oxigénio quando aplicado em conjunção com o exercício de agachamento (Rittweger e tal., 2001). Foi observada uma correlação substancial entre a duração dos exercícios individuais com ou sem vibração, indicando uma contribuição da resistência individual para a fadiga em ambos os tipos de exercício.

Também foram observados níveis de fadiga comparáveis no teste de saltos contínuos, como demonstrado pela altura de impulsão e pelo tempo de contacto com o solo que se reduziu após os exercícios e que já não mostravam um declínio do output de potência nos períodos subsequentes. Além disto, a capacidade neuromuscular para manter a força ao longo do tempo foi comparavelmente perturbada após ambos os tipos de exercício, como é mostrado pelo declínio no torque no segundo e terceiro período após o exercício e a incapacidade de cerca de 50% dos participantes de manterem 70% do torque máximo voluntário ao longo de 30s.

Ambos os tipos de exercício produziram níveis de exaustão e de fadiga neuromuscular comparáveis e também foram observadas diferenças no funcionamento neuromuscular. Em primeiro lugar, e indo ao encontro dos nossos relatos anteriores (Rittweger e tal., 2000), a frequência mediana EMG aumentou sobre o músculo vasto lateral durante a contração isométrica e foi maior após o exercício com do que sem vibração.

Apesar de não ter sido observado nenhum efeito da vibração na potência EMG, a diferença na frequência EMG sugere um recrutamento nervoso central de unidades motoras predominantemente grandes.

Em segundo lugar, descobrimos diferenças na amplitude do estiramento reflexo, o que após o exercício com vibração foi comparável com as condições iniciais ou aumentou mesmo, enquanto que sem vibração diminuiu claramente. Isto é notável já que o declínio na força muscular e no output de potência foram comparáveis em ambos os tipos de exercícios. Interessantemente, o efeito desvaneceu-se após 10-20 s.

Tendo em conta que é normal constatar uma atenuação da amplitude do reflexo de estiramento depois de realizar exercício exigente, a observação da manutenção (ou mesmo aumento) da amplitude do reflexo de estiramento depois do exercício deve-se provavelmente a uma melhoria da excitabilidade motora central, em particular no que diz respeito a fibras fásicas (fast twitch) e unidades motoras. Esta perspectiva é suportada pelos relatos de Torvinen et al., (2002) que se deparou com um aumento na altura de impulsão e no torque isométrico após um exercício de vibração não exaustivo, apoiando assim a perspectiva de um aumento da excitabilidade neuromotora.

A resposta de vibração tónica, que se pensa poder ser activada através do *loop* de fuso, provoca uma mitigação dos níveis de reflexo, provavelmente por causa de uma inibição pré-sináptica. Isto parece contrastar com a interpretação exposta anteriormente. Contudo, deve ser lembrado que a resposta de vibração tónica só pode ser conseguida se o indivíduo relaxar o membro ao qual a vibração é aplicada. Os movimentos voluntários quebram a resposta. O exercício de vibração, por outro lado, foi feito em combinação com movimentos lentos voluntários (agachamento), neutralizando consequentemente a resposta na vibração passiva.

Estudos acerca do consumo de oxigénio durante exercícios de vibração não exaustivos mostraram que a recuperação de energia provocada pela vibração pode ser parametricamente controlada pela amplitude de vibração, frequência de vibração e pelas cargas adicionais aplicadas (Rittweger et., 2002<sup>a</sup>). Juntamente com a bem conhecida influência da vibração passiva na actividade fuso muscular (Ribot-Ciscar et al., 1998), e com as descobertas neuromusculares apresentadas aqui, entendemos que há provas substanciais para a interacção do exercício vibratório com os *loops* reflexo-espinais influenciando possivelmente estas vias.

Deste modo, a perspectiva de que o exercício vibratório é um meio de alterar os padrões de controlo motor centrais está a emergir. Deve-se ter em conta que as observações presentes foram realizadas em jovens adultos saudáveis com níveis de forma física moderados. Além disto, foram obtidos depois de exercício até à exaustão com uma carga adicional numa frequência e amplitude de vibração. Como supra indicado, a frequência de vibração desempenha um papel importante. Com base na observação de que o consumo de oxigénio aumenta de um modo razoavelmente linear entre os 18 Hz e os 34 Hz, o mesmo pode esperar-se dos efeitos neuromusculares. No entanto, os efeitos da duração do exercício, frequência de vibração, amplitude e carga que são óptimos para provocar a excitabilidade neuromuscular em jovens adultos continuam por clarificar, mas também em atletas ou indivíduos ou pacientes mais idosos, após uma aplicação aguda e após uma aplicação crónica. Quando explorados, os mecanismos envolvidos podem ser explorados para a aplicação de vibração como um método de treino e para a concepção de planos de treino.

## Agradecimentos

Os autores estão particularmente gratos a Nitert, a Dipl Ing Petsch, a Breuer e a Forster pelo seu apoio técnico. Boehringer Mannheim forneceu-nos amavelmente os testes de lactato. A empresa Siemens forneceu-nos a bicicleta ergómetro, e a Novotec forneceu o protótipo Galileo. Agradecimentos especiais para a 'Forschungskommission' da Faculdade de Medicina da Universidade Livre de Berlim pelo apoio no que respeita ao sistema de registo fisiológico e à cadeira de torque. Por último, agradecemos a todos os participantes nos testes, cuja generosa contribuição permitiu que este trabalho fosse possível.

## Referências Bibliográficas

- Allen GM, Gandevia SC, McKenzie DK. Reliability of measurements of muscle strength and voluntary activation using twitch interpolation. *Muscle Nerve* (1999); 18: 593-600.
- Avela J, Kyrolainen H, Komi PV. Neuromuscular changes after long-lasting mechanically and electrically elicited fatigue. *Eur J Appl Physiol* (2001); 85: 317-326.
- Bangsbo J, Johansen L, Graham T, Saltin B. Lactate and H<sup>+</sup> effluxes from human skeletal muscles during intense, dynamic exercise. *J Physiol (Lond)* (1993); 462: 111-133.
- Borg G. Simple rating methods for estimation of perceived exertion. In: *Physical Work and Effort* (ed. Borg, G) (1976), pp. 39-47. Pergamon Press, Oxford, New York.
- Bosco C, Colli R, Intorini et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clin Physiol* (1999); 19: 183-187.
- Bosco C, Komi PV, Tihanyi J, Fekete G, Apor P. Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol* (1983a); 51: 129-136.
- Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol* (1983b); 50: 273-282.
- Hakkinen K, Komi PV. Electromyographic and mechanical characteristics of human skeletal muscle during fatigue under voluntary and reflex conditions. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* (1983); 55: 436-444.
- Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci* (1994); 12: 661-666.
- Kerschman-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resch H, Preisinger E, Fialka-Moser V, Imhof H. Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol* (2001); 21: 377-382.
- Kupa Ej, Roy SH, Kandarian SC, De Luca CJ. Effects of muscle fiber type and size on EMG median frequency and conduction velocity. *J Appl Physiol* (1999); 79: 23-32.
- Mester J, Spitzenfeil P, Schwarzer J, Seifriz F. Biological reaction to vibration—implications for sport. *J Sci Med Sport* (1999); 2: 211-226.
- Ribot-Ciscar E, Rossi-Durand C, Roll JP. Muscle spindle activity following muscle tendon vibration in man. *Neurosci Lett* (1998); 258: 147-150.
- Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol* (2000); 20: 134-142.

- Rittweger j, Ehrig j, just K, Mutschelknauss M, Kirsch K, Felsenberg D. Oxygen-uptake during whole body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude and external load. *Int J Sports Med* (2002a); 23: 428–432.
- Rittweger j, just K, Kautzsch K, Reeg P, Felsenberg D. Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise—a randomized controlled trial. *Spine* (2002b); 27: 1829–1834.
- Rittweger j, Schiessl H, Felsenberg D. Oxygen-uptake during whole body vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement. *Eur J Appl Physiol* (2001); 86: 169–173.
- Rubin C, Recker R, Cullen D, Ryaby j, McLeod K. Prevention of bone loss in a post-menopausal population by low-level biomechanical intervention. *Bone* (1998); 23(% Suppl.): 174 Abstract.
- Rubin C, Turner AS, Bain S, Mallinckrodt C, McLeod K. Anabolism. Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature* (2001); 412: 603–604.
- Spitzenfeil P, Mester j. Carving and ski technique—aspects of biological regulation. *Sportverletz Sportschaden* (1997); 11: 134–136.
- Tesch PA, Komi PV, Jacobs I, Karlsson j, Viitasalo jT. Influence of lactate accumulation of EMG frequency spectrum during repeated concentric contractions. *Acta Physiol Scand* (1983); 119: 61–67.
- Torvinen S, Kannu P, Sievanen H. et al. Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol Funct Jma9in9* (2002); 22: 14%–1%2.
- Zhang LQ, Rymer WZ. Reflex and intrinsic changes induced by fatigue of human elbow extensor muscles. *J Neurophysiol* (2001); 86: 1086–1094.