

Laura Baeta Pereira Barbosa

**RESPOSTA AGUDA DA VIBRAÇÃO MECÂNICA LOCALIZADA
NA CAPACIDADE FÍSICA FORÇA MUSCULAR**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

Universidade Federal de Minas Gerais

2009

Laura Baeta Pereira Barbosa

RESPOSTA AGUDA DA VIBRAÇÃO MECÂNICA LOCALIZADA NA CAPACIDADE FÍSICA FORÇA MUSCULAR

Monografia apresentada no curso de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial da obtenção do título de Bacharel em Educação Física.

Área de concentração: Treinamento Esportivo

Orientador: Prof. Dr. Leszek Szmuchrowski

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

2009

AGRADECIMENTO

Àqueles que me amam
e me apóiam
em meu caminho torto.

RESUMO

A vibração tem sido combinada com o treinamento de força convencional para se obter melhores resultados de força e potência muscular, aspectos importantes para o desempenho esportivo e atividades diárias. Entretanto, os resultados para obter essa melhora dependem de características da vibração, como a amplitude e a frequência, além dos protocolos de exercício aplicados: volume, intensidade e tipo de treinamento. Ainda não se compreende exatamente o que acontece nos mecanismos que fazem a mediação dos efeitos da resposta vibratória, confirmando, assim, a necessidade de mais estudos tangíveis ao presente assunto.

Palavras-chave: vibração, treinamento de força

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Princípio do controle do movimento voluntário.....	11
Figura 2 – Organização estrutural de um fuso muscular.....	13
Figura 3 – Conexões do fuso muscular com o sistema nervoso central.....	18
Figura 4 – Órgão Tendinoso de Golgi.....	19
Figura 5 – Unidade motora.....	21
Figura 6 – Adaptações no sistema neuromuscular.....	22
Figura 7 – Categorias da vibração.....	24
Figura 8 – Média de descarga de frequência de vários receptores musculares.....	26

SUMÁRIO

1	Introdução	7
1.1	Problema.....	8
1.2	Justificativa.....	8
1.3	Objetivo.....	9
1.4	Procedimento Metodológico.....	9
2	Revisão de literatura	10
2.1	Organização do Sistema neuromotor	10
2.1.1	Organização da medula espinal.....	10
2.1.2	Fuso Muscular.....	12
2.1.3	Sistema Gama.....	17
2.1.4	Órgãos tendinosos de Golgi	18
2.2	Força muscular	20
2.2.1	Adaptações neuromusculares ao treinamento de força.....	22
2.3	Vibração Mecânica	23
2.3.1	A vibração e o sistema músculo esquelético.....	25
2.3.2	Reflexo tônico à vibração – TVR.....	27
3	Efeitos agudos na produção de força através da vibração	28
4	Conclusão	35
5	Referências	37

1 INTRODUÇÃO

O sucesso nos esportes, assim como o aprimoramento dos aspectos funcionais nas atividades diárias dependem, de uma forma geral, da força e potência muscular, provenientes do desempenho neuromuscular. Segundo Fleck e Kraemer (1997), o treinamento de força tem sido amplamente aplicado para a melhora da força e potência musculares. Na busca pelo melhor desempenho esportivo tem-se pesquisado diferentes meios de possibilitar a melhora tanto das adaptações neurais quanto das morfológicas em função do treinamento, especialmente do treinamento da capacidade motora força.

Há cerca de 10 anos a vibração tem ganhado popularidade como forma de treinamento de força e vários pesquisadores tem estudado os efeitos da vibração mecânica e suas consequências para o corpo humano. Foram verificados benefícios na utilização da vibração mecânica para osteoporose e mau de Parkinson, conforme alguns estudos verificaram. No que tange o desenvolvimento da força, estudos verificaram o “reflexo tônico à vibração” (TVR – *tonic vibration reflex*), resposta à vibração mecânica que favorece a melhora do desempenho da força sob influência de reflexos medulares.

Existem dois métodos de aplicação da vibração no corpo humano durante os exercícios. No primeiro, a chamada vibração localizada, a vibração é aplicada de forma direta e perpendicular ao músculo ou o tendão a serem treinados. A vibração é aplicada por uma unidade vibratória que pode ser segurada com a mão ou ser fixada a um suporte externo. No segundo, as chamadas *whole body vibration* – vibração de corpo inteiro (WBV), a vibração é aplicada ao músculo a ser treinado de forma indireta, sendo transmitida através de uma plataforma que vibra alcançando o músculo alvo através das extremidades do corpo (LUO *et al.*, 2005). Diversos sistemas vibratórios, principalmente de corpo inteiro, estão disponíveis no mercado mundial e brasileiro, já existindo produção nacional de plataformas vibratórias de corpo inteiro.

Enquanto a vibração pode ser um potente estímulo para a estrutura neuromuscular é muito importante que treinadores e profissionais em fisiologia compreendam os efeitos da vibração no corpo humano.

1.1 Problema

Este estudo se restringe a uma revisão bibliográfica, buscando no universo científico publicações que possam prover definições e informações sobre efeitos agudos e possíveis consequências da utilização da vibração mecânica localizada no corpo humano relativa à capacidade motora força.

1.2 Justificativa

Nos últimos anos o uso da vibração como uma forma de treinamento ou auxílio do mesmo tem ganhado popularidade. Achados recentes demonstram que o treinamento com a vibração de corpo inteiro pode gerar melhoras agudas e crônicas no desempenho neuromuscular. Entretanto, como sugere LUO *et al.*, 2005, muitas áreas em particular necessitam de estudos mais controlados: para identificar amplitudes e frequências de vibração ótimas para um treinamento que se baseou na aplicação de um método vibratório; para verificar os efeitos do exercício dinâmico quando comparado com o isométrico no que tange ao benefício de desenvolvimento neuromuscular na vibração; para examinar efeitos crônicos da vibração na melhora de desempenho neuromuscular de atletas de elite. As sugestões do autor demonstram que muito ainda é necessário para se ter um controle maior das possibilidades de treinamento de força e potência muscular através da vibração e dos consideráveis perigos provenientes do mesmo.

Segundo MESTER *et al.*, 1999, as reações biológicas aos estímulos vibratórios são uma característica desafiadora do ponto de vista científico. Isso se refere a mecanismos reflexos que controlam o tempo de curso e a intensidade da contração muscular no curso do estímulo oscilatório assim como uma potencial instabilidade de postura e controle de equilíbrio numa plataforma vibratória, especificamente. Sob

certo nível de pré-tensão do músculo esquelético, em alguns estudos notáveis melhoras da força muscular foram notadas num treinamento de força com a utilização da vibração. Com respeito à ação reflexa durante o estímulo oscilatório o papel do Reflexo tônico de vibração deve ser analisado para adicionais estudos. Assim a combinação de vários métodos para investigar a variedade de respostas biológicas à exposição à vibração parece ser promissor para entendimento adicional desse fenômeno específico.

1.3 Objetivo

Identificar produções científicas que verificam a relação entre a vibração mecânica e o efeito agudo no desempenho de força e apresentar alguns desses achados;

Explicar o que possivelmente acontece de forma aguda com certas estruturas orgânicas quando em contato com a vibração.

1.4 Procedimento metodológico

Ao longo de abril de 2009 a junho de 2009 foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o tema “vibração e desempenho humano”. Para esta pesquisa foram utilizados alguns bancos de dados disponíveis no portal CAPES como Scielo, Sportdiscus, Science Direct, Springer Verlag utilizando as palavras-chave “vibration and human performance”, “vibration training”, “tonic vibration reflex” para obter material científico adequado. A pesquisa foi feita essencialmente na língua inglesa, pois as produções científicas de maior qualidade são publicadas nessa língua e por ainda existir escassa publicação na literatura clássica que aborda o presente assunto. Entretanto, essas também foram consultadas para definição de conceitos clássicos que permeiam o assunto abordado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Organização do sistema neuromotor

2.1.1 Organização da medula espinhal

O sistema nervoso humano é constituído por duas partes principais: o sistema nervoso central (SNC), consistindo em cérebro (tronco cerebral, cerebelo, diencefalo, telencefalo, sistema límbico) e medula espinhal (tratos neurais ascendentes, tratos nervosos descendentes, formação reticular); e o sistema nervoso periférico (SNP), que consiste nos nervos que transmitem a informação para e a partir do SNC.

Os comandos para o movimento voluntário se originam em áreas corticais de associação. Os movimentos são planejados no córtex e também nos gânglios da base e nas regiões laterais dos hemisférios cerebelares, que dirigem as informações para os córtices pré-motor e motor por meio do tálamo. Os comandos motores provenientes do córtex motor são enviados para os motoneurônios do tronco cerebral. O movimento produz alterações nos impulsos aferentes sensoriais provenientes do músculo, tendões, articulações e pele. Essa informação de *feedback*, que ajusta e suaviza o movimento, é enviada diretamente para o córtex motor e para o espinocerebelo, que se projeta para o tronco cerebral (GANONG, 1987).

As áreas corticais de associação e os núcleos da base são estruturas neurais envolvidas mais diretamente com o primeiro e mais abstrato componente de um plano motor, ou seja, a elaboração de uma estratégia motora. A elaboração dos aspectos táticos é responsabilidade mais direta do córtex motor e cerebelo. E a ativação de interneurônios e motoneurônios que participam tanto da geração quanto das correções dos movimentos, ou seja, a execução do plano motor, é responsabilidade fundamental da medula espinhal e de núcleos do tronco cerebral. A figura 1 mostra de forma esquematizada essa organização.

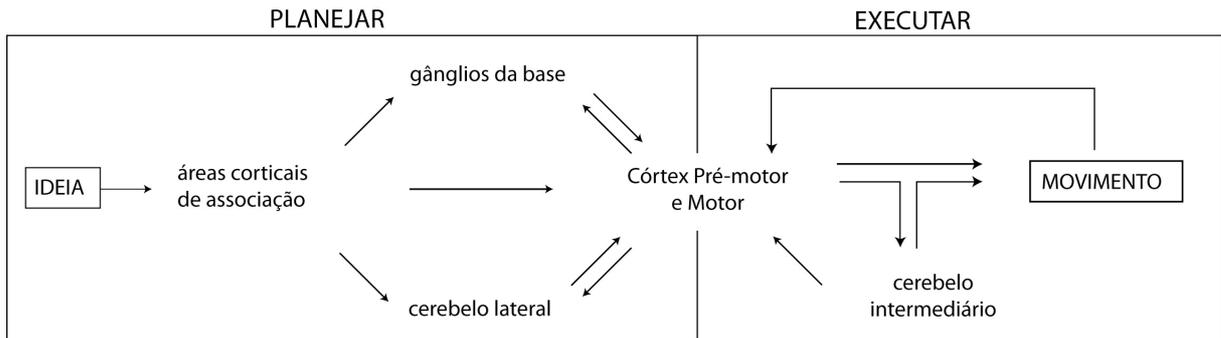


Figura 1: Princípio do controle do movimento voluntário. (Adaptado de GANONG, 1987).

A substância cinzenta da medula espinhal é a área de integração dos reflexos medulares espinhais. Pelas raízes sensoriais (posteriores) que os sinais sensoriais entram na medula. Assim que entra na medula, os sinais sensoriais seguem para dois destinos separados: um ramo que evoca reflexos segmentares medulares locais; e outro ramo que transmite sinais para os níveis superiores do sistema nervoso, como foi descrito acima (GUYTON, 2002).

Ainda segundo o mesmo autor, cada segmento da medula espinhal tem milhões de neurônios em sua substância cinzenta, dentre os tipos de neurônios existentes, dois são de fundamental importância no presente trabalho: os neurônios motores anteriores e os interneurônios.

Os neurônios motores anteriores dão origem às fibras dos nervos que saem da medula espinhal e inervam as fibras musculares esqueléticas, sendo os neurônios de dois tipos: neurônios motores alfa e neurônios motores gama. Os neurônios motores alfa dão origem a grandes fibras nervosas motoras do tipo A alfa ($A\alpha$) que após entrar no músculo se ramificam várias vezes e inervam as grandes fibras musculares esqueléticas. A estimulação de uma fibra nervosa alfa isolada podem excitar a contração de três fibras musculares até uma unidade motora inteira. Os neurônios motores gama, localizados nos cornos anteriores da medula espinhal, transmitem impulsos por fibras nervosas motoras A gama ($A\gamma$) e por pequenas fibras intrafusais, que constituem a parte média do fuso muscular, sendo mostrado adiante. Os interneurônios estão presentes em todas as áreas da substância cinzenta da medula espinhal, são células muito numerosas, pequenas e facilmente excitáveis emitindo, assim, descargas muito rapidamente; têm interconexões umas com as

outras e muitas fazem sinapse com os neurônios motores alfa, sendo esta conexão responsável por funções integradoras da medula espinhal.

2.1.2 Fuso Muscular

Os fusos musculares são responsáveis por fornecerem informações sensoriais acerca de alterações no comprimento e na tensão das fibras musculares, cuja principal função consiste em responder à distensão de um músculo e, através de uma ação reflexa, iniciar uma contração mais vigorosa para reduzir essa distensão (MCARDLE, 2008).

Os fusos musculares se distribuem por todo corpo do músculo e enviam informações para o sistema nervoso mostrando o comprimento do músculo ou a velocidade de variação de seu comprimento. Cada fuso contém pequenas fibras musculares intrafusais que se fixam às grandes fibras musculares esqueléticas extrafusais circundantes. A região central da fibra muscular intrafusar não tem elementos contráteis, não contraindo quando as extremidades os fazem, funcionando, assim, como receptor sensorial. Já as extremidades das fibras intrafusais são as partes que efetivamente contraem e são excitadas por pequenas fibras motoras gama, também chamadas de fusomotor, originadas dos neurônios motores tipo A gama supracitado. Também são denominadas fibras eferentes gama que se contrastam com as grandes fibras eferentes alfa, originando-se das fibras nervosas tipo A alfa, que inervam o músculo esquelético extrafusar (GUYTON, 2002).

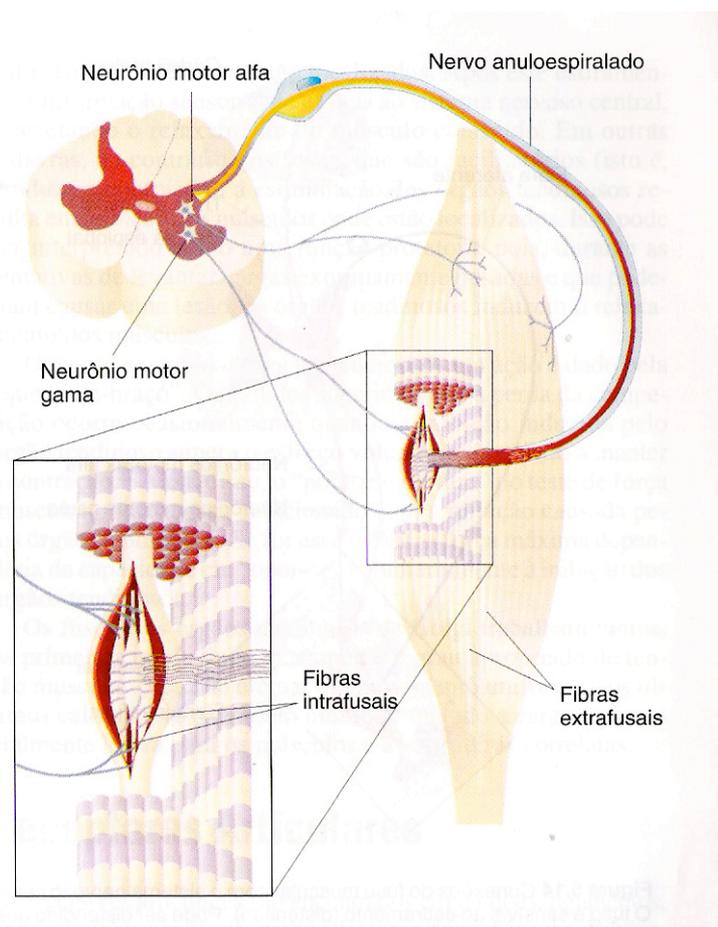
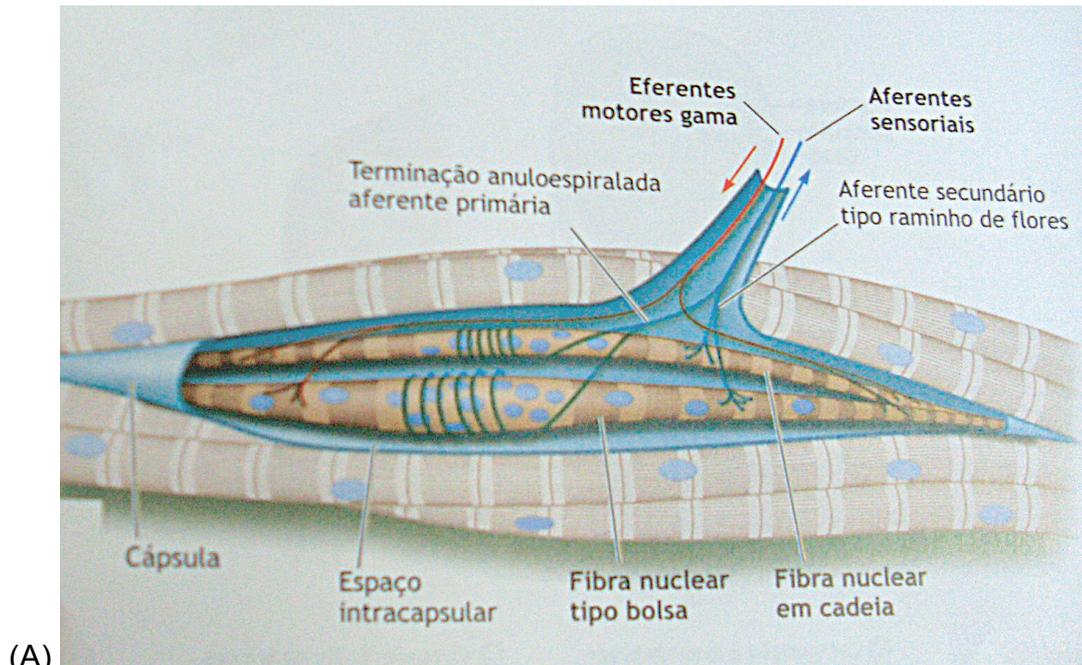


Figura 2: (A) organização estrutural de um fuso muscular, como possui um formato fusiforme e está alinhado em paralelo às fibras musculares regulares, ou fibras extrasfusais (MCARDLE, 2008). (B) Fuso muscular mostrando sua relação com as fibras musculares extrasfusais regulares, inervadas pelas fibras do motoneurônio alfa (FOSS e KETEYIAN, 2003).

Segundo o mesmo autor, as fibras sensoriais dos receptores do fuso muscular se originam na parte central do fuso muscular podendo ser excitadas de duas formas: ao alongar todo o músculo distende-se também a parte média do fuso excitando, portanto, o receptor; e, mesmo que a extensão de todo o músculo não se altere, a contração das partes terminais das fibras intrafusais do fuso também vai distender as partes médias das fibras e excitar o receptor. Na área receptora do fuso muscular são encontradas a terminação primária e a terminação secundária. A terminação primária é formada por uma grande fibra nervosa sensorial do tipo Ia que circunda a parte central de cada fibra muscular intrafusar. A terminação secundária é formada por fibras nervosas sensoriais menores do tipo II que inervam a região receptora de um ou de ambos os lados da terminação primária. Assim, quando há uma lenta distensão da parte receptora do fuso muscular, o número de impulsos transmitidos pelas terminações primárias e secundárias aumenta quase em proporção direta ao grau de distensão e por alguns minutos as terminações ainda transmitem os impulsos se o receptor permanecer estirado. Esse efeito é denominado resposta estática do receptor do fuso e acredita-se que as fibras com cadeia nuclear sejam as principais responsáveis por esta resposta por serem inervadas por ambas as terminações.

Entretanto, quando o receptor do fuso sofre um aumento súbito no comprimento, apenas a terminação primária é estimulada de forma muito vigorosa transmitindo assim um número imenso de impulsos para a fibra Ia. Essa resposta dinâmica perdura enquanto o comprimento do fuso estiver aumentando. Quando deixa de aumentar, a frequência da descarga dos impulsos retorna a níveis inferiores ao da resposta estática. Supõe-se que as fibras com bolsa nuclear, que tem apenas terminações primárias sejam responsáveis pela resposta dinâmica. Quando o fuso encurta, essa variação diminui momentaneamente a emissão de impulsos pela terminação primária, então, assim que o fuso alcança o comprimento mais curto, os impulsos ressurgem na fibra Ia numa fração de segundo. Assim, os sinais enviados pela terminação primária para a medula espinhal, podem ser positivos (maior número de impulsos) ou negativos (menor número de impulsos), informando qualquer variação no comprimento do fuso muscular.

De forma resumida, os nervos motores gama - dinâmicos estimulam principalmente fibras intrafusais com bolsa nuclear intensificando muito a resposta dinâmica do fuso muscular. Ao passo que, os nervos motores gama - estáticos estimulam as fibras intrafusais com cadeia nuclear intensificando a resposta estática, influenciando pouco na resposta dinâmica. A distensão dos fusos aumenta a frequência de descarga, enquanto o encurtamento, diminui essa frequência de descarga.

O significado funcional do fuso muscular reside em sua capacidade de identificar, responder e controlar as mudanças no comprimento das fibras musculares extrafusais, regulando, assim, o movimento e a manutenção da postura. Os músculos posturais são bombardeados por influxos neurais tendo que estar prontos para responder a movimentos voluntários, além de terem que manter certo grau de atividade subconsciente capaz de neutralizar a ação da gravidade na postura ereta. Assim, o reflexo miotático (também denominado reflexo extensor muscular e reflexo de estiramento) é um importante mecanismo para esse controle, pois sempre que um músculo é distendido subitamente a excitação dos fusos causa uma contração reflexa do mesmo músculo e da musculatura sinergista ligadas a ele.

O reflexo miotático é a manifestação mais simples dos fusos musculares e possui três estruturas: o fuso muscular que responde ao estiramento, uma fibra nervosa aferente que conduz o impulso sensorial do fuso para a medula espinhal e um motoneurônio eferente (gama tipo A) na coluna espinhal que ativa as fibras musculares distendidas. Quando uma pessoa executa um movimento exato (delicado ou não) é a excitação apropriada dos fusos musculares que estabiliza a posição das principais articulações, ajudando na execução de movimentos voluntários, seja dos dedos ou como no exemplo seguinte do agachamento isométrico.

Quando alguém está num agachamento isométrico (joelhos dobrados num ângulo de 90°, com uma barra sobre os ombros) os músculos do quadríceps são ativados para manterem a postura. Se um peso for adicionado à barra sobre os ombros do indivíduo as fibras musculares do quadríceps serão alongadas, distendendo também os fusos musculares localizados paralelamente às fibras extrafusais. Isso leva as terminações sensoriais dos fusos (via aferente Ia) a dirigirem os impulsos através da

raiz dorsal pra dentro da medula espinhal, onde ativam diretamente o motoneurônio alfa. Os impulsos neurais motores que retornam levam o músculo (aqui representado pela musculatura do quadríceps) a se contrair com mais força, a fim de recolocar o membro em sua posição original (agachamento com joelhos a 90°). Durante esse processo reflexo, os interneurônios na medula também são ativados, para facilitar a resposta motora apropriada. Impulsos excitatórios são transmitidos aos sinergistas, que irão facilitar o movimento desejado, enquanto impulsos inibitórios fluem para as unidades motoras da musculatura antagonista ao movimento.

Assim, o reflexo miotático é um mecanismo auto-regulador ou compensador permitindo ao músculo ajustar-se automaticamente às diferenças na carga (e no comprimento), sem necessitar de um processamento imediato da informação através de centros superiores do sistema nervoso central (MCARDLE, 1998), pois essa é uma via monossináptica que possibilita que o sinal reflexo retorne de volta ao músculo depois que há excitação do fuso com o retardo temporal mais curto possível (GUYTON, 2002).

O reflexo miotático pode ser dividido em dois componentes; um dinâmico e outro estático. Quando um músculo é distendido rapidamente um forte sinal é transmitido para a medula espinhal através de potentes sinais dinâmicos transmitidos pelas terminações primárias dos fusos musculares. A resposta a isso é uma instantânea e forte contração reflexa do mesmo músculo do qual se originou o sinal, sendo esse reflexo miotático denominado dinâmico. Após a finalização desse reflexo, um outro mais fraco continua por um longo período é denominado reflexo miotático estático. Transmitido pelas terminações primárias e secundárias do fuso esse reflexo continua a causar contração muscular enquanto o músculo for mantido em comprimento excessivo, opondo-se, assim, à força causadora do comprimento excessivo.

2.1.3 Sistema Gama

O fuso pode ser distendido de outra maneira, pode ser ativado exclusivamente, sem a participação do restante do músculo. As extremidades das fibras do fuso são inervadas por neurônios motores gama e podem ser estimulados diretamente pelos centros motores localizados no córtex cerebral (figura 3). Quando estimuladas, as extremidades do fuso se contraem, distendendo a porção central, estimulando o nervo sensorial. Esse arranjo neural especial recebe o nome de sistema gama ou *γ-loop*. Os neurônios gama possuem uma ordem de recrutamento, assim como os motoneurônios α . As interrelações funcionais que promovem os movimentos voluntários precisos ainda não são completamente conhecidas, mas esse recrutamento combinado é designado co-ativação alfa-gama.

Quando uma pessoa segura um livro numa posição fixa, com o cotovelo fletido a 90°, o estiramento estático imposto a todo o músculo fornece a informação que mantém o livro na mesma posição. Os neurônios gama são estimulados por impulsos corticais, mandando informação ao fuso, que se contrai, assim, o nervo sensorial envia impulsos de volta para o SNC, gerando informação adicional para o recrutamento de unidades motoras necessárias para manter a posição de segurar o livro voluntariamente. Essa informação adicional permite que o movimento se realize de maneira uniforme (FOSS e KETEVIAN, 2003).

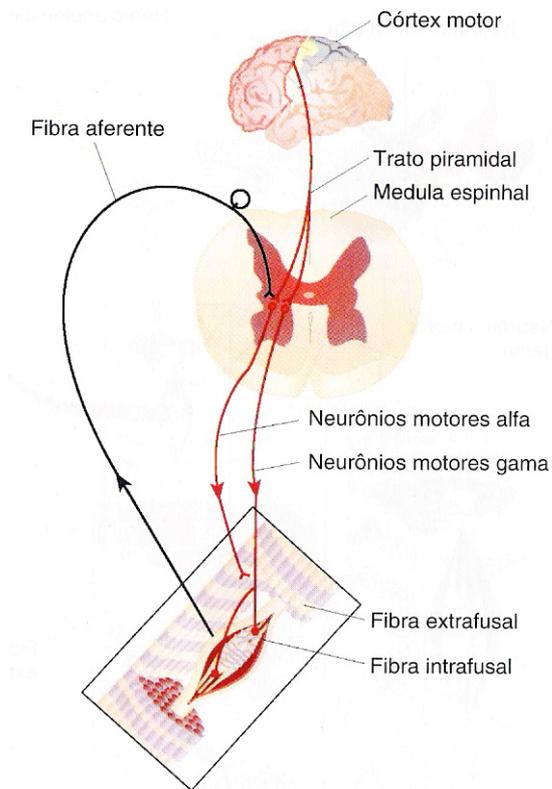


Figura 3: Conexões do fuso muscular com o sistema nervoso central. Pode ser distendido quando o músculo todo é distendido ou quando os neurônios motores gama são estimulados pelo córtex motor (alça gama). Além da estimulação direta dos neurônios motores alfa provenientes do córtex motor.

Estudos relatados no artigo de HAGBARTH *et al.* (1986), mostram que a taxa de disparo das terminações primárias dos fusos musculares aferentes aumentam durante contrações isométricas. A descarga do motoneurônio Ia, que aumenta com a força da contração, tem sido interpretada como um sinal da co-ativação alfa-gama. Com uma técnica de pressão bloqueadora foi mostrado que, pelo menos parte dos efeitos fusimotoraes não são mediados por β -axônios mas por pequenas fibras eferentes gama.

2.1.4 Órgãos Tendinosos de Golgi

Segundo MCARDLE (2008), os órgãos tendinosos de golgi (OTG) estão localizados dentro dos tendões perto da junção do músculo, como mostra a figura 4. Diferentemente dos fusos musculares, que ficam paralelos às fibras extrafusais e detectam o comprimento do músculo e suas variações, os OTGs estão conectados

em série com até 25 fibras extrafusais e detectam a tensão muscular, sendo mecanismos inibidores em que inibem a contração da musculatura agonista e estimula a ação dos antagonistas. Os OTGs são receptores sensoriais que detectam diferenças na tensão gerada pelo músculo ativo e respondem como um monitor de retroalimentação (*feedback*) para emitir impulsos sob uma de duas condições: em resposta à tensão criada no músculo ao contrair-se e em resposta à tensão quando o músculo é distendido passivamente. Se estimulados por tensão excessiva, os OTGs transmitem sinais à medula espinhal causando um efeito reflexo inteiramente inibitório no músculo por eles inervados. Logo, se a mudança na tensão for excessivamente grande, a descarga do sensor aumenta, deprimindo assim a atividade dos motoneurônios, o que reduzirá a tensão gerada nas fibras musculares, provocando, em alguns casos, um relaxamento instantâneo de todo o músculo; sendo este um mecanismo protetor, impedindo a ruptura da musculatura ou avulsão do tendão (GUYTON, 2002). Entretanto, se a contração do músculo produz pouca tensão, os OTGs irão exercer pouca influência, pois serão ativados fracamente. Assim, a função básica dos OTGs consiste em proteger o músculo e seu envoltório de tecido conjuntivo contra possíveis lesões induzidas por uma sobrecarga excessiva.

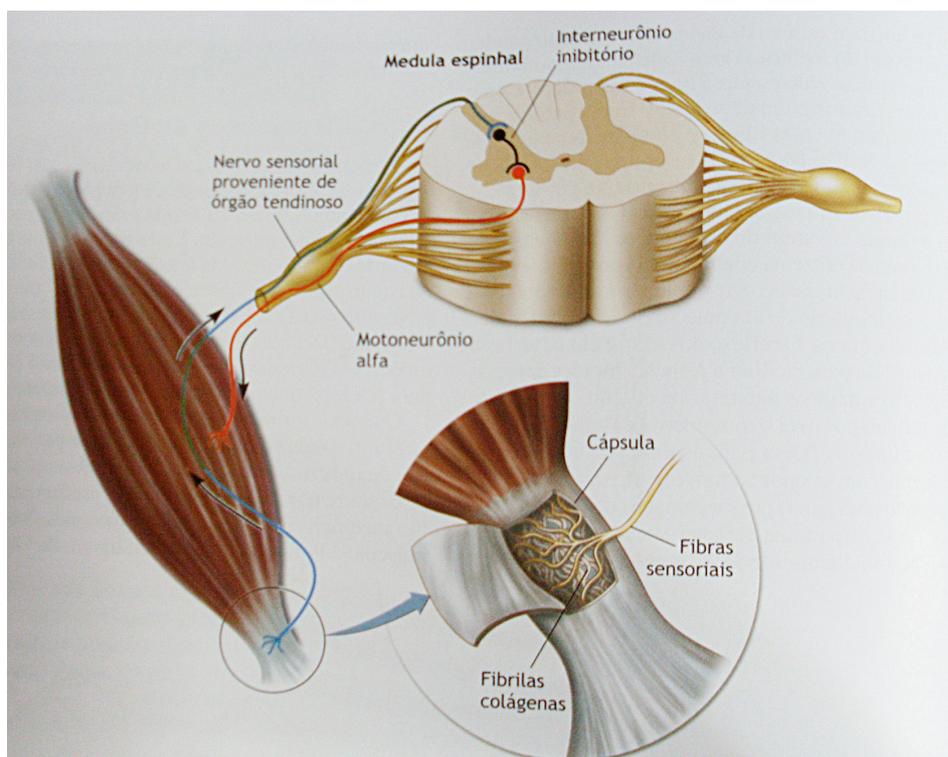


Figura 4: Órgão Tendinoso de Golgi. Quando um músculo é contraído estirado com força, o nervo sensorial do órgão tendinoso é estimulado. Impulsos são enviados à medula, onde se processa uma sinapse com o interneurônio inibitório que inibe o neurônio motor alfa e o músculo se relaxa (MCARDLE, 2008).

Segundo FLECK e KRAEMER (1999), através do treinamento de força é possível que ocorra a inibição dos efeitos inibitórios dos OTGs, sendo assim possível a maior geração de tensão pela musculatura em questão.

2.2 Força muscular

Para a ciência do esporte a força muscular é a quantidade máxima de força que um músculo ou grupo muscular pode gerar em um padrão específico de movimento em uma determinada velocidade de movimento (KNUTTGEN e KRAEMER, 1987).

A unidade motora é um dos fatores determinantes da força muscular e é a unidade funcional da atividade muscular sob controle neural, sendo formada por um neurônio motor alfa e todas as fibras musculares que ela inerva (figura 5). Se uma unidade motora tem uma quantidade pequena de fibras musculares, conseqüentemente, menor será a força que pode ser produzida por essa unidade motora. As fibras musculares numa unidade motora ficam espalhadas pelo músculo, assim, duas fibras adjacentes podem não pertencer à mesma unidade motora. Essa distribuição das fibras musculares de uma unidade motora através do músculo permite que ele seja ativado sem mostrar todo seu potencial de produção de força e que seja ativado como um todo, não em segmentos.

Uma unidade motora típica é constituída por fibras musculares do tipo I (contração lenta) e do tipo II (contração rápida), sendo que a proporção de quantidade de uma dessas fibras pode ser maior em alguns músculos, afetando a composição da unidade motora. As mudanças adaptativas provenientes do treinamento esportivo só acontecerão nas unidades motoras que forem recrutadas para produzirem força em um exercício. Se uma unidade motora é ativada, pouca força é produzida, ao passo, que várias; geram uma força produzida maior. Se todas as unidades motoras em um

músculo foram ativadas, a força máxima é produzida pelo músculo. A necessidade de produção de força de uma atividade que determina a ativação das unidades motoras (FLECK e KRAEMER, 1999).

Ainda segundo estes autores, existe um comprimento ótimo no qual o sarcômero, menor unidade funcional da fibra muscular, desenvolve o máximo de tensão. No comprimento ótimo há potencial para uma interação máxima de pontes transversas, logo, de força máxima.

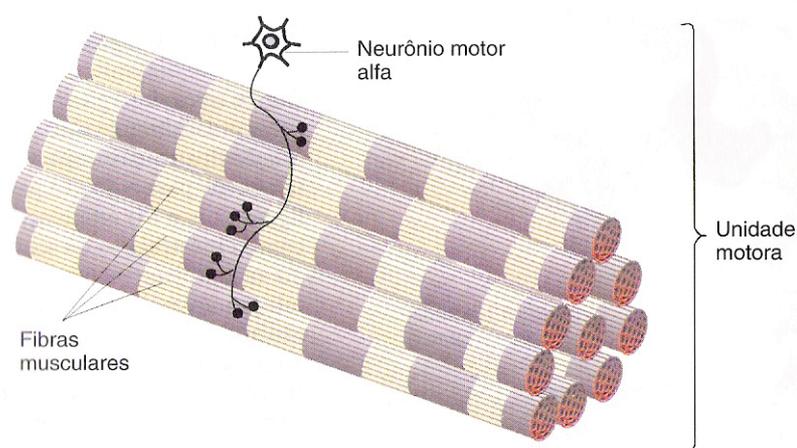


Figura 5: Unidade motora: neurônio motor alfa e todas as fibras musculares que inerva (FOSS e KETEYIAN, 2000).

Existem duas diferentes formas de manifestação da força: força rápida (composta pela força máxima, força explosiva e força de partida) e resistência de força. A força rápida é definida como a capacidade do sistema neuromuscular de produzir o maior impulso possível no menor tempo disponível. Na subdivisão da força rápida estão a força de partida que corresponde à capacidade do sistema neuromuscular de produzir a maior força possível até 50 ms após o início da contração; força explosiva que se refere à capacidade do sistema neuromuscular de produzir uma elevação máxima de força após o início da contração; e força máxima que é o maior valor da força gerada em uma contração voluntária máxima, sendo obtida através de uma ação muscular contra uma resistência “insuperável” caracterizando-se a força máxima isométrica. Já a resistência de força é definida pela capacidade do sistema neuromuscular de produzir maior somatório de impulsos num tempo disponível contra resistências elevadas (GULLICH, 1999 e SCHMIDTBLEICHER, 1984; Cit. SILVA, H.R., 2004).

2.2.1 Adaptações neuromusculares ao Treinamento de força

A produção de força envolve diversos componentes estruturais e funcionais. O sistema nervoso é dividido em três compartimentos que interagem entre eles e com o sistema músculo esquelético. Como mostra a figura 6, a produção de força envolve a geração de um comando por um controlador de nível superior (comando central) que é transformado por um controlador de nível inferior (coluna espinhal ou tronco cerebral), em ativação das unidades motoras dos músculos requisitados. O papel principal na ativação muscular e na determinação da força final de curta duração é desempenhado pelo sistema nervoso central. O *feedback* dos receptores sensoriais periféricos ou do controlador de nível superior podem modificar os comandos dos controladores de nível superior e inferior. O treinamento de força leva a adaptações específicas em todos os componentes do sistema, bem como no próprio tecido muscular, sendo que o tipo, a intensidade e a duração dos exercícios e do período de treinamento de força, determinam a natureza e a amplitude das adaptações funcionais e estruturais no sistema neuromuscular (KRAEMER e HAKKINEN, 2004).

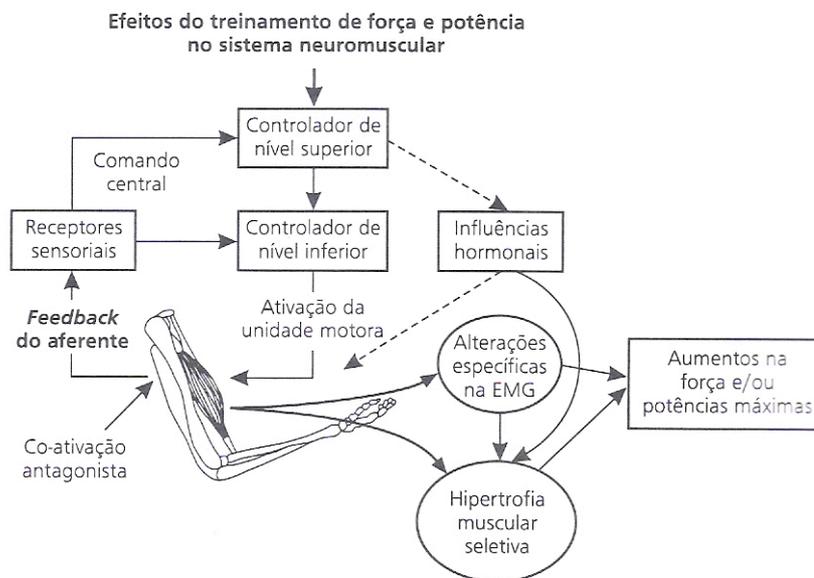


Figura 6: Esquema das adaptações no sistema neuromuscular induzidas pelo treinamento de força e potência (Adaptada de Hakkinen, 1994a.).

Para a realização da máxima força possível do músculo todas as unidades motoras disponíveis são ativadas. Essa ativação sofre influência de um processo chamado

Princípio do Tamanho determinado pela relação entre força de contração da unidade motora e limiar de recrutamento. De acordo com esse princípio para o recrutamento dos neurônios motores, as unidades motoras menores (com baixo limiar de recrutamento, baixa frequência de estimulação) são recrutadas primeiro, sendo compostas predominantemente de fibras do tipo I. Depois das unidades motoras de baixo limiar, progressivamente são recrutadas unidades motoras com limiares mais altos, sendo essas compostas predominantemente por fibras do tipo II. Assim, o carregamento de um peso elevado será iniciado com o recrutamento de unidades motoras de baixo limiar e à medida que a demanda de força aumenta as unidades motoras de alto limiar serão ativadas. A maioria dos músculos contém unidades motoras com número variado de fibras por unidade motoras, permitindo, assim, que a produção de força varie desde níveis muito baixos até a força máxima (NOTH, 1992 cit. FLECK e KRAEMR, 1999).

Um indivíduo não treinado pode não conseguir recrutar voluntariamente as unidades motoras de alto limiar, por consequência, não conseguindo ativar seus músculos ao máximo. Assim, parte da adaptação ao treinamento de força é desenvolver a capacidade para recrutar todas as unidades motoras quando necessário para realizar uma tarefa. Outra adaptação resulta em mudar a ordem de recrutamento das fibras ou a redução de mecanismos inibitórios pelo sistema nervoso central, podendo ajudar no desempenho de certos tipos de ações musculares (FLECK e KRAEMR, 1999).

2.3 Vibração Mecânica

A vibração pode ser compreendida como o movimento alternado de um corpo sólido em relação ao seu centro de equilíbrio; ou ainda um estímulo mecânico caracterizado por um movimento oscilatório que se repete em torno de uma posição de referência (BATISTA, *et al.*, 2007). Ela pode se manifestar de forma periódica (sinoidal, multissinoidal), não periódica (transitória e choque) e de forma aleatória (estacionária aleatória ou não-estacionária aleatória) (MESTER *et al.*, 1999), conforme figura 7. Nas vibrações periódicas a excitação que age no sistema vibratório é conhecida e se repete periodicamente. Em sistemas vibratórios

aleatórios, a excitação que age no sistema não pode ser prevista, apesar de poder exibir alguma regularidade estatística (SILVA, 2004). As técnicas de equipamento de manipulação que podem ser mensuradas se encaixam nas formas puras como o movimento oscilatório sinoidal periódico (KOMI, 2006).

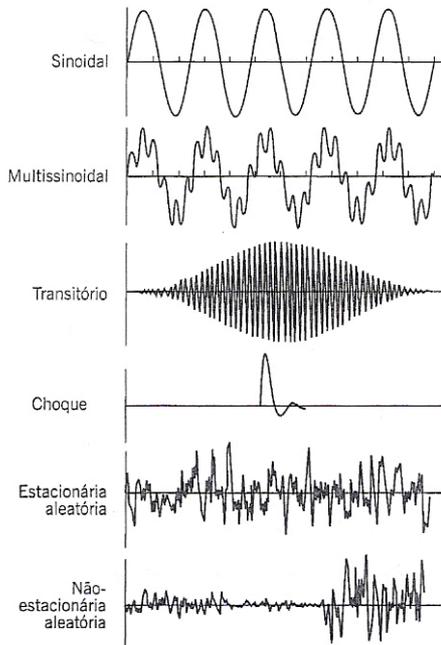


Figura 7: Categorias da vibração (GRIFFIN, 1994; cit KOMI, 2006)

A frequência, amplitude e magnitude são variáveis biomecânicas que determinam a intensidade da vibração. A frequência da vibração é mensurada em Hertz (Hz) e representa uma taxa de repetição de ciclos oscilatórios, ou seja, quantas vibrações por segundo serão executadas pela máquina e podem, geralmente, variar de 15 a 60 Hz. A amplitude significa a extensão do movimento oscilatório, representada em milímetros, variando de 1 a 10 mm, no caso das plataformas vibratórias de corpo inteiro. Por exemplo, quando uma estrutura vibratória vibra com a amplitude de 5 mm e frequência de 60 Hz significa que o aparelho se desloca 5 mm ao redor de um eixo e esse movimento se repete 60 vezes em um segundo. A magnitude é indicada, mais comumente, pela aceleração que pode ser expressa em termos de aceleração pico a pico (CARDINALE e BOSCO, 2003). A vibração fornece uma perturbação no campo gravitacional podendo alcançar até 15 g , onde g representa a aceleração da gravidade da Terra, $9,81 \text{ m/s}^2$ (CARDINALE e WAKELING, 2005). A variação dessas variáveis biomecânicas determina a intensidade da sobrecarga. Já a interação reflexa associada com parâmetros de tensão e rigidez muscular pode ser

considerada como a resposta neuromuscular aos estímulos de vibração (KOMI, 2006).

Cada parte do corpo humano tem uma frequência própria, uma frequência de ressonância, como exemplo e com valores aproximados, KOMI (2006) cita os olhos (20 Hz), cabeça (18 Hz), órgãos internos (8 Hz) e músculos (7-15 Hz). Quando a frequência da vibração coincide com a frequência natural do sistema pode ocorrer uma ressonância no corpo humano submetendo-o a oscilações perigosas que podem causar danos (RAO, 1986, cit. SILVA, 2004).

2.3.1 A vibração e o sistema músculo-esquelético

O músculo esquelético é um tecido especializado que modifica sua capacidade funcional global em resposta a estímulos diferentes. As funções da musculatura sofrem alterações de acordo com o estímulo sofrido. Num programa de exercícios direcionados para a melhora do desempenho de força e potência os exercícios são caracterizados com o aumento da carga gravitacional. Essa formas de exercícios vem mostrando respostas adaptativas tanto nos fatores morfológicos quanto neurais do tecido muscular. O corpo humano responde à vibração de forma bem complexa, pois impõe uma atividade de hipergravidade em função de altas acelerações. A ação mecânica da vibração é realizada para produzir rápidas e curtas mudanças no comprimento do complexo músculo-tendíneo. Essa perturbação é detectada por receptores sensoriais que modulam a rigidez muscular através de uma atividade muscular reflexa e tentam amortecer as ondas vibratórias (CARDINALE e BOSCO, 2003).

Três efeitos motores resultam do estímulo vibratório no músculo. O primeiro é uma contração sustentada conhecido como reflexo tônico à vibração (TVR, sigla da palavra em inglês – *tonic vibration reflex*) em que o músculo em vibração contrai ativamente, resultado da estimulação dos fusos musculares. Segundo, a excitabilidade dos motoneurônios que inervam os músculos antagonistas é deprimida por inibição recíproca. Terceiro, a via monossináptica do reflexo miotático da musculatura em vibração é reprimida durante a vibração. Embora o reflexo

miotático e o TVR compartilhem a mesma fibra aferente, o TVR requer suporte de regiões supra espinhais do sistema nervoso central. Alguns fatores influenciam na força do TVR, como a direção da vibração, o comprimento inicial do músculo, excitabilidade do SNC e frequência e amplitude do estímulo vibratório (BISHOP, 1974).

A resposta dos receptores musculares para o estímulo vibratório é diferente. A figura 8 mostra a resposta dos OTGs, terminações primária e secundária do fuso muscular para diferentes estímulos vibratórios. A frequência do aparelho vibratório conduz as terminações primárias a dispararem potenciais de ação na mesma frequência da estrutura. Ao contrário da frequência de disparo dos OTGs e das terminações secundárias que não é influenciada pelo estímulo vibratório. Assim, BISHOP (1974), conclui que a vibração é um meio de estimular seletivamente as terminações primárias do fuso muscular.

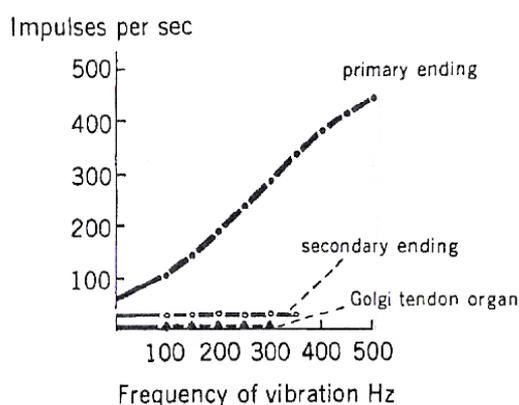


Figura 8: Média de descarga de frequência de vários receptores musculares ao estímulo vibratório em diferentes frequências, mas em amplitudes constantes. Na abscissa, frequência de vibração em Hertz e na ordenada, média de frequência dos receptores musculares. (BROWN, 1967 cit. BISHOP, 1974).

Segundo BONGIOVANNI *et al.* (1990), analisando pelo ponto de vista do Princípio do Tamanho, a vibração afeta primeiramente a capacidade do indivíduo de gerar e/ou manter altas taxas de disparo em unidades motoras de alto limiar, que são as primeiras a serem desativadas quando o movimento voluntário do *pool* de motoneurônio reduz. Como as unidades motoras de alto limiar estão relacionadas com fibras musculares do tipo II é compreensível que a redução na atividade delas conduza a uma perda substancial de força.

MESTER *et al.* (1999) declaram que através da adição de estímulo vibratório ao treinamento a demanda para o sistema neuromuscular aumenta significativamente e as adaptações associadas a isso conduzem a um notável aumento na força. Além disso, há um aumento na solicitação do controle motor em função da necessidade de amortecer e regular as vibrações. O aumento do desempenho, entretanto, parece estar mais vinculado a uma melhora na adaptação neurofisiológica do que mudanças morfológicas

2.3.2 Reflexo tônico à vibração - TVR

O reflexo tônico à vibração – TVR – é provocado pela vibração aplicada no músculo ou no tendão, principalmente induzido pela ativação dos motoneurônios Ia que ativam principalmente fibras musculares do tipo II (RITTWEGER *et al.*,2000). O TVR é completado pelo relaxamento sincrônico do antagonista quando o respectivo tendão é estimulado. Além disso, pode ser ativamente influenciado por centros corticais superiores do controle motor. Entretanto, não foi completamente investigado se as vias mono ou polissinápticas servem preponderantemente para a transmissão do sinal durante a vibração (KOMI, 2006). Apesar de MESTER *et al.*, abordarem uma negativa influência da vibração na co-ordenação o que contribui para a hipótese de que as vias polissinápticas são os caminhos proprioceptivos principais, indicando um fenômeno de regulação complexa durante a vibração muscular. Além disso, também sugere que o aumento do TVR numa faixa de frequência de 100 Hz é devido ao aumento da despolarização do neurônio motor e um recrutamento de unidades motoras de maiores limiares.

No nível da unidade motora, foi sugerido que o TVR afeta primeiramente a capacidade do indivíduo de gerar altas taxas de disparo em unidades motoras de alto limiar. Durante a vibração é esperado que os limiares de excitação das unidades motoras sejam mais baixos quando comparados com contrações voluntárias resultando, provavelmente, numa ativação e treinabilidade mais rápidas de unidades motoras de alto limiar. Entretanto é inferido que o treinamento com a vibração (especialmente VCI) torna o treinamento mais específico para as fibras rápidas do

tipo II, que são muito importantes para a expressão da força balística (DELECLUSE *et al.*, 2003).

Segundo CURRY e CLELLAND (1981), cada ciclo de vibração realiza alongamento ao músculo e seletivamente estimula as fibras aferentes Ia dos fusos musculares. Embora o TVR seja iniciado imediatamente o estímulo vibratório aconteça, o nível de tensão no músculo que sofreu a vibração aumenta progressivamente e vagarosamente até que alcance um platô, por volta de 30 – 60 segundos. A tensão permanece em seguida pelo mesmo nível para a duração do estímulo. Um período de potenciação pós-tetânica existe por mais de três minutos depois que o estímulo cessa; durante esse período a contratilidade do músculo tem uma melhora. Indivíduos normais podem voluntariamente suprimir ou inibir o TVR. Se a vibração é aplicada durante uma contração isométrica, entretanto, o aumento na tensão é muito rápido para supressão voluntária ocorrer.

A força do TVR é primariamente influenciada pelas características do estímulo vibratório, o comprimento inicial do músculo em vibração e o nível de excitabilidade do SNC. A frequência é a característica mais importante de influência vibratória na força do TVR. A amplitude da vibração determina a quantidade de alongamento aplicado nas fibras musculares com cada ciclo vibratório. O comprimento inicial do músculo também afeta a força do TVR, se, inicialmente, o músculo estiver numa posição alongada o TVR será mais forte em função da sensibilidade aumentada das fibras aferentes Ia. Além disso, a excitabilidade do SNC também influencia o TVR, pois a estimulação eferente gama aumenta a sensibilidade das fibras aferentes Ia, aumentando assim o TVR. Um esforço voluntário para contrair a musculatura em vibração aumenta a utilização da via gama dos fusos musculares aumentando o TVR (CURRY e CLELLAND, 1981).

3 EFEITOS AGUDOS NA PRODUÇÃO DE FORÇA ATRAVÉS DA VIBRAÇÃO

A literatura russa, principalmente, foi responsável pelos primeiros estudos referentes à produção de força associada ao treinamento com vibração localizada ou de corpo inteiro. Atualmente, alguns autores buscam verificar respostas para

questionamentos levantados em relação à resposta humana com a aplicação da vibração.

BONGIOVANNI *et al.*, (1990) investigaram como o efeito agudo da vibração muscular prolongada se comportaria na atividade eletromiográfica, nas taxas de disparo da unidade motora e na força em contrações voluntárias máximas intermitentes e sustentadas. Nesse estudo, vinte e cinco indivíduos saudáveis e destreinados deveriam realizar uma contração voluntária da musculatura tibial anterior. A frequência de vibração foi 150 Hz e a amplitude 1,5 mm. A vibração foi aplicada no tendão do tibial anterior. O protocolo consistiu em: (1) MVC intermitente: a vibração foi aplicada por 2 min. Ele deveria fazer uma contração voluntária máxima (MVC) por 3-4 segundos, descansar 20 – 30 segundos, assim cada série consistiu em 16 contrações, sendo que a vibração iniciou na 5ª e terminou depois da 11ª contração; (2) MVC isométrica: 3 séries de 1 minuto de MVC com descanso de 5 minutos entre elas. Houve análise de força, EMG e de unidades motoras do tibial anterior. A discriminação entre unidades de baixo e alto limiar foi a seguinte: unidades motoras de baixo limiar foram recrutadas pelo TVR ou por contrações voluntárias de força mínima (<5% da MVCs); as unidades de alto limiar foram recrutadas somente quando a força de contração voluntária excedesse 50% de força de MVC.

Os resultados do citado estudo indicam que a vibração induzida pela supressão da MVC não depende da inibição do motoneurônio α , mas sim da redução da acessibilidade desses neurônios para comandos voluntários. Não se pode excluir definitivamente que a vibração prolongada, de alguma forma reduz a capacidade do indivíduo de ativar os motoneurônios superiores (de alto limiar) no MVC e/ou faz os motoneurônios inferiores (de baixo limiar) menos acessíveis para a ativação através da via direta “rota-alfa”. Entretanto, uma alternativa e mais provável explicação é que a descarga constante e de alta frequência em aferentes do fuso muscular durante a vibração atenua o reflexo encaminhado para motoneurônios α via γ -loop.

BOSCO, CARDINALE e TSARPELA (1999), realizaram um estudo para avaliar a influência da vibração no comportamento neuromuscular dos flexores do cotovelo em lutadores de boxe da elite, além disso, verificar se é possível utilizar a vibração

como uma forma de treinamento para melhorar os movimentos explosivos do braço através da melhora da eficiência muscular. Doze atletas de elite do boxe participaram do estudo. Cada participante deveria fazer uma flexão dinâmica máxima de cotovelo com um peso extra de 5% da massa corporal com cada membro superior, sendo testados durante a flexão e com 5 minutos de descanso para execução do outro membro. Após isso, foi escolhido aleatoriamente qual braço faria o tratamento experimental (E; com vibração) e o outro seria o controle (C; sem vibração). O tratamento E consistia em 5 repetições com vibração aplicada durante a flexão isométrica do cotovelo, que durava 1 minuto cada, tendo 1 minuto de descanso entre as repetições. A atividade eletromiográfica (EMG_{rms}) e o cálculo de potência mecânica foram gravados. A análise foi feita Pré e Pós tratamentos. Houve um aumento significativo na média de potência dos flexores do cotovelo, após 5 minutos de vibração. A EMG mostrou uma melhora significativa da atividade neural durante a vibração no bíceps braquial do grupo E, se comparado com o normal. Esse resultado dá suporte para a sugestão dos autores de que a possibilidade de um treinamento com vibração pode alterar o movimento voluntário, mesmo o reflexo à vibração (como o reflexo miotático) operando predominantemente via motoneurônio α e não usar o mesmo caminho eferente corticalmente originário, como o caso de se realizar contrações voluntárias, segundo BURKE *et al.*, (1976).

RITTWEGGER *et al.*, (2003) verificou as mudanças agudas na excitabilidade neuromuscular depois de exercícios vibratórios e comparou com exercícios exaustivos de agachamento. Os testes neuromusculares foram compostos de EMG durante extensão isométrica de joelho, medida quantitativa do reflexo do tendão patelar e saltos verticais em série. Todos os testes foram realizados em 30 segundos. Após os exercícios o efeitos comparáveis foram observados na altura do salto, tempo de contato com o solo e torque isométrico. A frequência média do vasto lateral durante o torque isométrico e a amplitude do reflexo patelar foram significativamente maiores com a vibração quando comparados com o teste sem a vibração.

SILVA, COUTO, SZMUCHROWSKI (2008), verificaram o efeito da vibração mecânica aplicada na direção oposta ao encurtamento dos músculos flexores do cotovelo na força máxima isométrica (MVC) em função de fatores neurais. Dezenove

homens destreinados foram divididos em dois grupos de treinamento. Grupo 1 faria o treinamento isométrico convencional e o Grupo 2 treinamento isométrico com vibração mecânica com frequência de 8 Hz e amplitude de 6 mm. Ambos os grupos executaram 12 MVCs (duração de 6 segundos e 2 minutos de intervalo entre repetições) e o treinamento foi realizado 3 vezes por semana durante 4 semanas. O grupo 2 (com vibração) teve um aumento significativo de cerca de 26% na força, adicionando resultados mais altos nas adaptações neurais. Já o grupo 1 (sem vibração), melhorou apenas 10%. Esses achados sugerem que treinando com a vibração há melhora no mecanismo de controle involuntário da atividade muscular e que isso pode melhorar a força em homens destreinados. Os resultados confirmam a hipótese inicial, a melhora na força obtida depois do treinamento com vibração foi provavelmente causada pela otimização de mecanismos involuntários da ação muscular através de repentinos e consecutivos períodos de ação excêntrica

HUMPHRIES *et al.* (2004), verificaram os efeitos da vibração na ativação muscular e contração isométrica máxima. A frequência da vibração foi de 50 Hz, a amplitude de 5 mm e 16 indivíduos participaram do experimento. Os resultados sugerem que a frequência aplicada não contribui para a ativação muscular ou melhora de produção de força para contração isométrica máxima. Uma das possíveis explicações para a falta de resultados significativos no artigo citado pode estar relacionado com a velocidade de contração. A velocidade de contração de uma contração isométrica é limitada pelo protocolo do teste. Estudos que usam múltiplos modos de contração e contrações que não são controladas tem mostrado resultados significativos na melhora de força. Os mecanismos subjacentes por trás das melhoras observadas no desempenho de força pode estar relacionado a uma individual velocidade ótima de contração.

ISSURIN e TENENBAUM (1999) verificaram os efeitos agudos e residuais do estímulo vibratório na força explosiva em 14 atletas amadores e 14 de elite. Duas séries de 3 repetições de rosca direta bilateral em ordem aleatória foram realizadas, sendo que a segunda repetição de uma das séries foi aplicada uma vibração de frequência de 44 Hz. Foram analisados os valores da potência máxima e média de cada série e os efeitos residuais de “com e sem vibração” e “antes e depois da vibração”. Os resultados mostraram que quando comparados os exercícios com e

sem vibração houve um efeito significativo para a potência média e máxima de força. Ao comparar os grupos elite vs amadores, houve efeito significativo apenas para a potência máxima, os atletas de elite tiveram uma média maior que os amadores. Houve aumento significativo da força explosiva atribuído ao estímulo vibratório nas potências máxima e média tanto em atletas amadores quanto nos de elite. O estímulo vibratório resultou num efeito residual insignificante. Os autores discutem que três fatores podem ser atribuídos para os efeitos agudos da estimulação vibratória: (1) ativação do *pool* de motoneurônios, (2) a frequência de estimulação e (3) o comprimento inicial do músculo. Verificou-se que o estímulo vibratório estimula as terminações primárias aferentes do fuso muscular que ativam o motoneurônio __. Observou-se que há evidências de que com o aumento na frequência da vibração evoca também um aumento proporcional na tensão muscular. É provável que a razão pelos atletas de elite terem conseguido uma maior média de ganho na potência máxima esteja associada com a maior sensibilidade dos receptores musculares e do SNC ao estímulo vibratório. Em resumo, o artigo citado acima conclui que o estímulo vibratório permitiu a facilitação da execução da força explosiva.

TORVINEN *et al.* (2002) investigaram os efeitos do exercício vibratório de 4 minutos no desempenho muscular e no equilíbrio do corpo em indivíduos saudáveis. A frequência utilizada estava na faixa de 25 a 40 Hz. Entretanto, o exercício com vibração não induziu nenhuma mudança estatisticamente significativa no desempenho muscular nem no equilíbrio. Além disso, houve queda na frequência de potência média da EMG em determinados músculos, indicando fadiga muscular.

KOUZAKI, SHINOHARA e FUKUNAGA (2000) examinaram o efeito da vibração tônica prolongada aplicada em um único músculo sinergista numa MVC e a máxima taxa de desenvolvimento de força (dF/dt_{max}). A força de MVC de extensão do joelho e EMG do reto femoral, vasto lateral e vasto medial durante a MVC foram gravados antes e depois da vibração no reto femoral, numa frequência de 30 Hz durante 30 min. Porque as fibras aferentes Ia são ativadas como resultado da coativação alfa-gama, mesmo em contração voluntária isométrica, o fusomotor é solicitado para ativar o músculo completamente durante uma contração voluntária. É provável que a força MVC é reforçada pela descarga da fibra aferente Ia originada do fuso

muscular, entretanto é possível que a redução na MVC seja em função da ativação das fibras aferentes Ib e essa perturbação induziria a supressão voluntária. Foi aplicada, então, a vibração em um sinergista apenas, para remover esse fator de influência, estimulando as fibras aferentes Ia e não as fibras aferentes Ib, o que permite uma comparação entre o músculo sinergista em que foi aplicada a vibração e músculos que não receberam a vibração. Os resultados mostraram que a MVC, dF/dt_{max} e EMG integrada do reto femoral reduziram significativamente depois da vibração tônica prolongada, indicando, assim, que MVC e dF/dt_{max} podem ser influenciadas pela função atenuada da fibra Ia aferente de um músculo sinergista.

DELECLUSE, ROELANTS e VERSCHUEREN (2003) realizaram um estudo com o objetivo de investigar e comparar o efeito de 12 semanas de treinamento numa plataforma vibratória com o treinamento de força em humanos analisando a força de extensão do joelho. Sessenta e sete mulheres destreinadas participaram do experimento e foram divididas em grupos específicos de treinamento em que seriam analisados: exercícios dinâmicos e estáticos de extensão de joelho na plataforma vibratória, treinamento de força na extensão dinâmica de joelhos no leg-press; força explosiva (através do salto contra movimento) e os resultados seriam comparados com o grupo que não treinou nada. Os resultados demonstraram que tanto o grupo que treinou com a vibração quanto o que treinou força sem vibração aumentaram significativamente a força (isométrica e dinâmica) de extensão do joelho. Houve aumento significativo no salto contra-movimento apenas no grupo que recebeu estímulo vibratório. Durante a contração isométrica a entrada das vias proprioceptivas são usadas na produção de força. Durante a vibração esses caminhos proprioceptivos são fortemente estimulados. Assim, o aumento da geração de força isométrica pode estar ligado ao resultado de um uso mais eficiente de um feedback proprioceptivo positivo. A estimulação dos receptores sensoriais e dos caminhos aferentes com a vibração podem conduzir a um uso mais eficiente do reflexo miotático. É sugerido que o TVR induziu uma sensibilização do reflexo dos fusos musculares e aumentou uma facilitação da ação reflexa no *pool* do motoneurônio. Os achados desse estudo indicam que o aumento na força depois de 12 semanas de treinamento com vibração não é atribuído a um efeito placebo.

JACKSON e TURNER (2003) verificaram a contração de extensão de joelho em MVC com a perna ipsilateral (direita) e contralateral (esquerda) imediatamente antes e depois do tratamento com a vibração. Dez homens destreinados participaram do experimento. A vibração mecânica foi aplicada de forma perpendicular ao reto femoral durante 30 minutos, a amplitude foi de 1,5 a 2 mm. Aplicou-se duas frequências, de 30 Hz e de 120 Hz. Os resultados demonstraram redução significativa na força MVC e na taxa máxima de geração de força ($p < 0.05$) e isso ocorreu em ambas as pernas, ipsi e contralateral. Entretanto, embora o nível de ativação neural do músculo em vibração fosse reduzido após a vibração com 30 Hz não houve mudanças significativas no músculo sinergista nem no músculo lateral. Concluiu-se que a vibração muscular pode atuar através de caminhos reflexos da espinha para influenciar o pool de motoneurônios. Os efeitos na força contralateral, mas não no músculo específico sugere um efeito agindo na unidade central descendente para os músculos contralaterais. Esses achados podem ser interessantes para pacientes de reabilitação com um membro imobilizado em que poderiam manter a força deste membro com a utilização do treinamento com vibração no membro não fraturado/lesionado.

De forma resumida, os autores BONGIOVANNI *et al* (1990) e HUMPHRIES *et al* (2004), avaliaram o efeito agudo da vibração no desempenho de força isométrica. HUMPHRIES e colaboradores verificaram o aumento na força de extensão máxima de joelhos, mas não foi significativo. Além disso, observaram que o desenvolvimento da taxa de força, examinados nos tempos de 0.05, 0.01, 0.1 e 0.5 segundos durante a extensão isométrica máxima de joelhos de 5 segundos, não melhorou em função da vibração em nenhum dos tempos analisados. O desempenho neuromuscular foi mensurado num estado de fadiga por BONGIOVANNI e colaboradores, onde foi identificado um declínio significativamente maior da força isométrica máxima medida ao final da contração de 1 minuto quando utilizada a vibração. Esse achado pode indicar que a vibração pode acentuar a fadiga muscular em contrações isométricas máximas.

O efeito agudo da vibração no na força e potência durante ações dinâmicas foi verificado por ISSURIN e TENENBAUM, e RITTWEGGER *et al*. No primeiro estudo aplicou-se a vibração de forma indireta no bíceps. A potência durante uma flexão de

cotovelo foi melhorada significativamente pela vibração. Além disso, os autores verificaram que a vibração induziu a um aumento significativamente maior na potência máxima em atletas de elite quando comparados com atletas amadores. No segundo estudo os indivíduos executaram agachamentos exaustivos com carga adicional e avaliou-se a situação com e sem vibração. Foi verificado que o tempo para exaustão foi significativamente mais curto com a vibração.

TORVINEN et al, JACKSON e TURNER verificaram o efeito agudo residual da vibração na força e EMG durante ações isométricas. Os primeiros autores examinaram a força máxima de extensão do joelho 2 minutos e 60 minutos depois de 4 minutos de prática numa plataforma vibratória de corpo inteiro, com amplitude de 4 mm em musculatura não fadigada. Não foi verificado um efeito significativo da vibração 60 minutos pós-treinamento. Mas uma pequena melhora significativa na força foi verificada 2 minutos pós-treinamento. No segundo estudo os autores verificaram que tanto a força MVC e a taxa de desenvolvimento de força foram significativamente reduzidas após 30 minutos de tratamento vibratório com 30 Hz e amplitude de 1,5 a 2 mm, comparando com um grupo controle. É sugerido que a amplitude de vibração deva ser suficiente para a melhora da excitabilidade motora central.

4 CONCLUSÃO

As evidências científicas nos benefícios do treinamento da vibração ainda não tem limites definidos. Existem evidências que dão suporte aos benefícios agudos nesse treinamento e também há evidências que demonstram a insignificância do efeito do treinamento vibratório e talvez até mesmo uma diminuição no desempenho. Muitos fatores devem ser considerados na interpretação dessas evidências científicas envolvendo o treinamento com vibração. Dois importantes fatores que tem potencial para afetar o resultado de experimentos com treinamento vibratório incluem o protocolo de vibração e protocolo de exercícios específicos que são testados seguindo o tratamento de vibração.

A amplitude e frequência da vibração são muito importantes no treinamento com vibração, pois determinam a carga que a vibração impõe ao sistema neuromuscular durante o treinamento. Elas são influenciadas pelo método de aplicação da vibração. A vibração localizada pode estimular um grupo muscular mais eficientemente que a vibração de corpo inteiro porque a distância da transmissão é mais curta e a quantidade de fatores atenuantes é menor.

Atualmente, parece ainda não se ter um consenso sobre o mecanismo pelo qual a vibração provoca a melhora no desempenho neuromuscular, pois ainda há pouca produção científica sobre o assunto. Entretanto, alguns mecanismos foram postulados nessa revisão como: o reflexo tônico à vibração, melhora da excitabilidade neuro motora e inibição pressináptica da fibra aferente Ia do fuso muscular.

Pesquisas futuras devem ser realizadas para se compreender os efeitos de diferentes protocolos de vibração no desempenho. As investigações científicas atuais no treinamento de vibração utilizam uma gama de protocolos para vibração e parâmetros de carga. Alguns estudos solicitam movimentos voluntários com carga; outros solicitam que o indivíduo permaneça em pé de forma estática numa plataforma vibratória. Além dessas variações, os estudos também se diferem na frequência e amplitude da vibração. Nenhum dos estudos oferecem uma explicação racional porque um protocolo é superior a outro; mas com todos os tipos de formação, se é um treinamento de força ou cardiovascular; é imperativo que o volume, intensidade e duração da exposição sejam controlados e manipulados, em função do resultado desejado. Baseado no fato de que o TVR é influenciado por muitas variáveis, incluindo o nível de pré-contracção no músculo, a posição do corpo e as características da vibração é importante que os efeitos dessas variáveis sejam investigados e controlados durante os estudos realizados sobre o treinamento com vibração.

5 REFERÊNCIAS

BATISTA, M. A. B.; WALERSTEIN, L. F.; DIAS, R. M.; SILVA, R. G.; UGRINOWITSCH, C.; TRICOLI, V. **Efeitos do Treinamento com Plataformas Vibratórias**. *R. bras. Ci e Mov.* 2007; 15(3): 103-113

BISHOP, B.; **Vibratory Stimulation – Part I. Neurophysiology of motor responses evoked by vibratory stimulation**. *Physical Therapy* – volume 54, number 12, December 1974

BONGIOVANNI, L. G.; HAGBARTH, K.-E.; STJERNBERGT, D L. **Prolonged muscle vibration reducing motor output in maximal voluntary contractions in man**. *Journal of Physiology* 1990; 423, pp. 15-26

BOSCO, C.; CARDINALE, M.; TSARPELA, O. **Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles**. *Eur J Appl Physiol* 1999; 79: 306-311

BURKE, D.; SCHILLER, H. H. **Discharge pattern of single motor units in the tonic vibration reflex of human triceps surae**. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 1976, 39: 729-741

CARDINALE, M; BOSCO, C. **The use of vibration as an exercise intervention**. *Exercise and sport Sciences Reviews* – volume 31, number 1, January 2003.

CARDINALE, M; WAKELING, J. **Whole body vibration exercise: are vibrations good for you?** *Br J Sports Med* 2005; 39: 585-589

CURRY, E. L.; CLELLAND, J. A. **Effects of the Asymmetric Tonic Neck Reflex and High-Frequency Muscle Vibration on Isometric Wrist Extension Strength in Normal Adults**. *Physical Therapy*, Volume 61 / Number 4, April 1981

DE GAIL, P.; LANCE, J. W.; NEILSON P. D. **Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man**. *J neurol Neurosurg Psychiatr* 29:1-11, 1966

DELECLUSE, C., M. ROELANTS, and S. VERSCHUEREN. **Strength Increase after Whole-Body Vibration Compared with Resistance Training**. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 35, No. 6, pp. 1033–1041, 2003

FLECK, Steven J; KRAEMER, William J. **Fundamentos do treinamento de força muscular**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 1999. 247 p.

FOSS, M. L.; KETEVIAN, Steven J. **Fox: bases fisiológicas do exercício e do esporte**. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 560 p.

GANONG, W. F. **Fisiologia médica**. 15. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1993. 560 p.

GUYTON, Arthur C.; HALL, John E. **Tratado de fisiologia médica**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. 973 p.

HUMPHRIES, B.; WARMAM, G.; PURTON, J. et al. **The influence of vibration on muscle activation and rate of force development during maximal isometric contractions**. *J Sports Sci Med* 2004; 3: 16-22

HAGBARTH, K.; KUNESCHT, E. J.; NORDIN, M.; SCHMIDT R.; WALLIN, E. U. **Loop contributing to maximal voluntary contractions in man**. *J. Physiol.* (1986), 380, pp. 575-591

ISSURIN, V.B. e TENENBAUM, G. **Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes**. *Journal of Sports Sciences*, 1999, Mar 17:177-82

KNUTTGEN, H.G. e KRAEMER, W. J. **Terminology and measurement in exercise performance**. *J. of Appl. Sports Science Research*. 1:1-10, 1987.

KOMI, P.V. **Força e potência no esporte**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed – Bookman, 2006

KOUZAKI, M.; SHINOHARA, M.; FUKUNAGA, T. **Decrease in maximal voluntary contraction by tonic vibration applied to a single synergist muscle in humans**. *J Appl Physiol* 89: 1420–1424, 2000

KRAEMER, William J; HÄKKINEN, Keijo. **Manual de ciência e medicina esportiva: treinamento de força para o esporte**. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 192 p.

JACKSON, S.W., TURNER, D.L. **Prolonged vibration reduces maximal voluntary knee extension performance in both the ipsilateral and the contralateral limb in man**. *Eur J Appl Physiol* 2003 Jan; 88: 380-6

JORDAN, M. J.; NORRIS, S. R.; SMITH, D. J.; HERZOG, W. **Vibration training: an overview of the area, training consequences, and future considerations**. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2005, 19(2), 459-466

LUO, J.; MCNAMARA, B.; MORAN, K. **The use of vibration training to enhance muscle strength and power**. *Sports Med* 2005; 35 (1): 23-41

MCARDLE, William D.; KATCH, Frank I.; KATCH, Victor L. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 1099 p.

MESTER, J.; SPITZENFEIL, P.; SCHWARZER, J.; SEIFRIZ, F. **Biological Reaction to vibration – Implications for Sport**. *Journal of science and medicine in Sport* 2 (3): 211-226.

RITTWEGER, J., MUTSCHELKNAUSS M., FELSEBERG D. **Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as**

compared to exhaustion by squatting exercise. Clin Physiol Func Imaging 2003 Mar; 23: 81-6

RITTWEGER, J.; BELLER, G.; FELSEMBERG, D. **Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man.** 2000 Blackwell Science Ltd. Clinical Physiology 20, 2, 134-142

SILVA, H. R.; COUTO, B. P.; SZMUCHROWSKI, L. A. **Effects of mechanical vibration applied in the opposite direction of muscle shortening on maximal isometric strength.** Journal of Strength and Conditioning Research – volume 22, number 4, July 2008

TORVINEN, S.; SIEVANEN, H.; JARVINEN, T.A.H.; PASANEN, M.; KONTULAINEN, S.; KANNUS, P. **Effect of 4-min Vertical Whole Body Vibration on Muscle Performance and Body Balance: A Randomized Cross-over Study.** Int J Sports Med 2002; 23: 374–79