

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO MECÂNICO PARA EQUIPAMENTOS DE MUSCULAÇÃO OBJETIVANDO O CONTROLE DA CARGA MECÂNICA DURANTE A AÇÃO MUSCULAR EXCÊNTRICA

Marcel Bahia Lanza, marcellanza@yahoo.com.br¹

Renato Guilherme Trede Filho, renato.trede@gmail.com¹

Mauro Heleno Chagas, mauroh@effto.ufmg.br¹

Antônio Eustáquio de Melo Pertence, pertence@demec.ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário, CEP 31270.901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Resumo: *Vários estudos têm mostrado que o ser humano é capaz de produzir durante a ação muscular excêntrica (trabalho negativo) maiores valores de força do que durante a ação muscular concêntrica (trabalho positivo). A maioria dos equipamentos tradicionalmente utilizados para o treinamento na musculação, que apresentam um funcionamento mecânico caracterizado por um sistema de cabos e polias, tem a limitação de não se poder controlar a carga mecânica imposta ao indivíduo de maneira diferenciada durante a realização das diferentes ações musculares, ou seja, a carga mecânica é a mesma durante o trabalho negativo e positivo. Sendo assim, uma máquina utilizada para o treinamento na musculação que apresente um dispositivo capaz de alterar a resistência mecânica durante a ação muscular excêntrica pode trazer grandes benefícios aos praticantes de atividade física em academias e pode permitir uma prescrição de treinamento físico mais adequado para atletas que visam um aumento máximo da força muscular. Desta forma, a proposta do presente artigo é desenvolvimento de um dispositivo mecânico que adaptado a um equipamento de musculação tradicional possibilite aumentar a carga mecânica imposta na ação excêntrica e permita graduar este aumento na carga mecânica.*

Palavras-chave: *Dispositivo mecânico, Equipamento de Musculação, Ação Muscular Excêntrica.*

1. INTRODUÇÃO

Os aparelhos utilizados para a mensuração do nível de desempenho de força e para o treinamento esportivo possibilitam a aplicação de diferentes formas de resistência externa. Os aparelhos “tradicionais”, usados normalmente em academias, podem oferecer uma resistência dinâmica variável ou invariável respectivamente com ou sem a presença de cames, também designado por came, camo ou camos (Mabie, 1981; Norton, 2004; Provenza, 1981; Shigley, 1980).

A característica desses aparelhos é o funcionamento mecânico por meio de um sistema de cabos, correias ou polias e algumas vezes com a presença de cames. Há também os que funcionam por meio de guias e plataformas. Os equipamentos com resistência dinâmica invariável são aqueles que oferecem uma carga mecânica contra o movimento sendo essa sempre a mesma. Já os de resistência variável são caracterizados principalmente pela presença de cames, que tem como finalidade variar a carga mecânica ao longo movimento.

A utilização destes aparelhos, com ou sem a presença de cames, envolve a realização de um trabalho positivo, ou seja, a força produzida para deslocar a resistência mecânica é aplicada na direção do movimento; e também um trabalho negativo (força aplicada na direção oposta ao movimento), que são denominados respectivamente de ação muscular concêntrica e excêntrica. Desta forma, a resistência mecânica oferecida nos aparelhos, que não tem a presença de cames, é a mesma para ambas as ações musculares.

Vários estudos têm mostrado que a ação muscular excêntrica é diferente da ação muscular concêntrica tanto no que diz respeito às suas respostas neuromusculares (Nardone, 1989; Abbruzzese, 1994; Enoka, 1996; Higbie, 1996; Aagaard, 2000), quanto às adaptações provocadas pelo treinamento (Farthing, 2003; Bowers, 2004; Paschalis, 2005; Chapman, 2006; Pincivero, 2006). Uma característica muito importante da ação muscular excêntrica é que a carga mecânica suportada pelo indivíduo é sempre maior do que aquela suportada na ação muscular concêntrica. Essa maior força muscular durante a ação muscular excêntrica é explicada pela maior participação dos componentes passivos da unidade músculo-tendínea (Enoka, 1996; Herzog, 2005; Barroso, 2005; Proske, 2006) e dos processos reflexos excitatórios (Nardone, 1989; Abbruzzese, 1994; Barroso, 2005). Observa-se que a maioria das pesquisas onde se compara exercícios concêntricos com excêntricos foram utilizados aparelhos isocinéticos e ainda percebe-se uma superioridade da ação excêntrica comparada com a concêntrica (Hortobágyi, 1996).

Baseados nisso, aparelhos, que oferecem a mesma resistência mecânica em ambas às ações musculares apresentam uma limitação mecânica importante. A limitação deste tipo de aparelhagem deveria ser corrigida, pois aumentaria as possibilidades de intervenção dos profissionais de Educação Física na prescrição do treinamento.

Por isso, um aparelho “tradicional” que proporcione o controle da magnitude da carga mecânica durante a ação muscular excêntrica pode trazer grandes benefícios na elaboração dos programas de treinamento de praticantes de musculação, atletas e no desenvolvimento de projetos de pesquisa envolvendo esta temática.

No presente artigo é indicado o desenvolvimento um dispositivo mecânico que, adaptado a um aparelho de musculação “tradicional”, possibilitará o controle no aumento da carga mecânica imposta na ação excêntrica do movimento realizado.

2. METODOLOGIA

2.1 Dispositivo Mecânico

O desenvolvimento do dispositivo mecânico para aparelhos de musculação objetivou o controle da carga mecânica de maneira que durante a ação muscular excêntrica (trabalho negativa), ocorra um aumento da carga mecânica em relação à fase concêntrica.

Para alcançar o objetivo foi realizada uma adaptação em um aparelho de musculação denominado banco flexor onde a musculatura ativada é a posterior da coxa através do movimento de flexão dos joelhos como indica a Fig. (1).

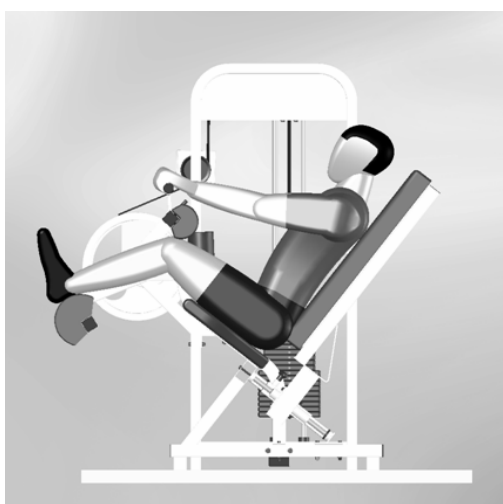


Figura 1. Representação esquemática do banco flexor.

A cames original do banco flexor foi substituída por um dispositivo especificamente projetado para atender o aumento da carga mecânica imposta na ação excêntrica do movimento realizado.

O banco flexor consta de um banco com um encosto para apoio do tronco do voluntário. Neste banco está acoplado um braço mecânico com uma barra estofada em sua extremidade, na qual será apoiada a parte distal dos membros inferiores. Este aparelho ainda contém uma trava, que é posicionada acima das bordas supra-patelares, que garante uma maior estabilização dos membros inferiores (ver Fig. (1)). Alguns ajustes são possíveis de serem realizados neste aparelho, tais como: determinação da angulação na qual ocorrerá o movimento e regulação ântero-posterior do encosto para o tronco. Neste aparelho o voluntário encontra-se assentado e com as costas apoiadas em um encosto que forma um ângulo de 94° com o assento. A articulação do joelho, no início do movimento, é posicionada aproximadamente a 180° de extensão. O voluntário tem seu epicôndilo lateral alinhado com o eixo de rotação da alavanca do banco flexor. A partir desta medida, o encosto é posicionado para manter o voluntário o mais firme possível, juntamente com a trava que prenderá suas duas pernas. Com o objetivo de minimizar algum movimento compensatório no quadril, o voluntário é fixado mediante uma fita posicionada sobre a espinha ilíaca ântero-superior, e outra fita será amarrada no terço distal das coxas e juntamente no banco.

A cadeia cinemática de funcionamento do aparelho banco flexor é esquematicamente indicada na Fig. (2). É possível determinar a Eq.(1) que, a partir do princípio da alavanca, relaciona a força aplicada pelo voluntário para manter em equilíbrio a carga mecânica estabelecida no aparelho.

No aparelho flexor, a cames possibilita a variação do raio (a) ao longo do movimento, alterando o valor da força (F) a ser aplicada pelo voluntário. Entretanto tal variação acontece tanto na ação concêntrica quanto na ação excêntrica. O dispositivo mecânico desenvolvido para substituir a cames tradicional, possui um sistema mecânico expensor que aumenta o valor da medida (a) em vários níveis pré-estabelecidos ao longo da ação excêntrica, possibilitando que a força (F) feita pelo voluntário seja maior nesta ação do que aquela feita durante a ação concêntrica. A comutação dos valores da medida (a) no sistema mecânico expensor pode ser feita de forma automática ao final do movimento de cada ação concêntrica e excêntrica. A Fig. (3) ilustra o exposto acima.

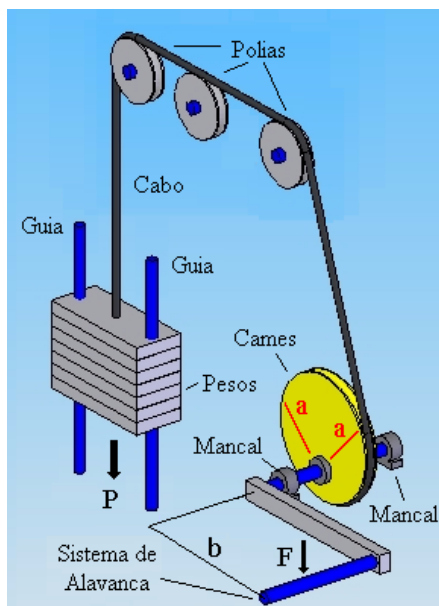


Figura 2. Esquema da cadeia cinemática do banco flexor tradicional.

$$F \cdot b = P \cdot a$$

(1)

Onde:

F – força a ser aplicada pelo voluntário (N)

b – distância entre ponto de apoio e o ponto de aplicação da força F (mm)

P – carga estabelecida no aparelho considerando o peso próprio (N)

a – raio da cames (mm)

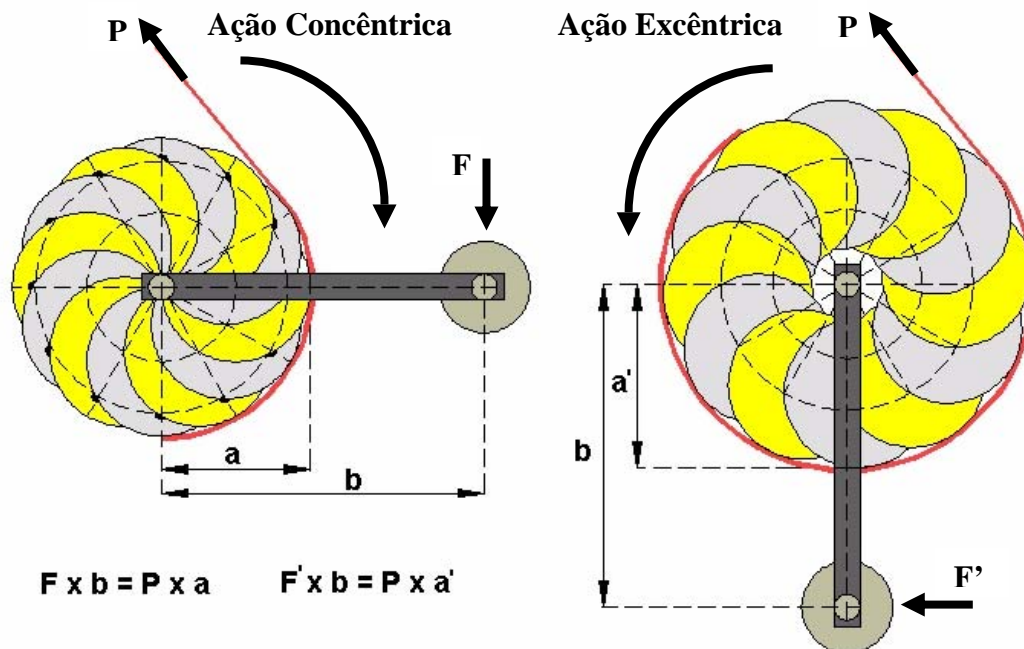


Figura 3. Comutação dos valores da medida (a) no sistema mecânico expansor durante as ações concêntrica e excêntrica.

De forma semelhante à cames tradicional, o conceito do dispositivo mecânico é fundamentado no princípio das alavancas, o que indica uma validade lógica entendida como comprovação argumentada em base a um raciocínio teórico (Thomas, 2002).

2.2 Teste Preliminar do Dispositivo Mecânico

O dispositivo já foi construído e está em fase de adaptação ao aparelho flexor de joelho, avaliação do funcionamento mecânico relativa à confiabilidade e segurança de uso pelos voluntários.

Para verificação da funcionalidade do dispositivo mecânico, quanto ao seu objetivo específico das ações concêntrica e excêntrica, um grupo de indivíduos será submetido a dois diferentes protocolos de treinamento de força.

Para a realização desses protocolos os voluntários serão submetidos anteriormente a um teste de força (teste de uma repetição máxima - 1RM) que determinará a força máxima que o indivíduo consegue produzir durante a ação concêntrica (ação positiva). O teste de 1RM é definido como o maior peso (carga mecânica) que pode ser movimentado somente uma vez dentro de uma amplitude de movimento pré-determinada (Berger, 1965). O resultado do teste de 1RM irá possibilitar definir qual a carga mecânica correspondente a uma determinada intensidade de esforço.

Após a determinação da força máxima de cada voluntário, serão aplicados os protocolos de treinamento. O primeiro protocolo consiste em 3 séries de 8 repetições, com 60% 1RM concêntrico e excêntrico, com 3 minutos de pausa entre as séries, com uma duração da repetição de 4 segundos (2 concêntricos, 2 excêntricos) e o segundo protocolo consiste em 3 séries de 8 repetições, com 60% 1RM concêntrico e um valor que seja maior que 60% para a ação excêntrica, com 3 minutos de pausa entre as séries, com uma duração da repetição de 4 segundos (2 concêntricos, 2 excêntricos) como indica a Tab. (1). O exercício será realizado apenas com um dos membros inferiores (unilateral).

Tabela 1. Configuração do protocolo de treinamento a ser realizado no aparelho flexor de joelho (com e sem ação do dispositivo mecânico)

Protocolo de Treinamento					
	Séries	Repetições	Intensidade	Pausa	Duração da Repetição (s)
Sem a ação do dispositivo	3	8	60% de 1RM para Concêntrico e Excêntrico	3 min.	2s Concêntrico 2s Excêntrico
Com a ação do dispositivo	3	8	60% de 1RM para Conc. 60+X% de 1RM para Exc.	3 min.	2s Concêntrico 2s Excêntrico

A definição da carga de treinamento é realizada de acordo com estudos prévios de Peixoto (2007), de tal forma que a expectativa é que todos os voluntários concluam o protocolo de treinamento. A diferença entre os protocolos será um aumento da carga mecânica durante a ação muscular excêntrica. O acréscimo na ação excêntrica ainda será determinado no projeto piloto. Desta forma, para realizar a comparação entre os protocolos de treinamento, todos os voluntários deverão ser capazes de realizar ambos protocolos de treinamento.

O voluntário começará a execução do movimento em extensão completa de joelhos, e um anteparo localizado na base do aparelho indicará a amplitude de movimento necessária e será a referência para considerar a repetição válida. Um examinador ditará o ritmo com auxílio de metrônomo para que o voluntário execute cada repetição no tempo de 2s para ação concêntrica e 2s para a ação excêntrica e também fornecerá reforço verbal para incentivar o voluntário. Será utilizado um goniômetro eletrônico para monitorar a amplitude de movimento na articulação do joelho e para controlar a duração real de cada ação muscular (concêntrica e excêntrica) e consequentemente da repetição.

Para verificar se está havendo uma maior ativação durante a ação excêntrica será realizado durante o teste a captação de sinais eletromiográficos. Para a captação de sinais eletromiográficos serão utilizados eletrodos ativos de superfície (Prata/Cloreto de Prata - Midi-Trace® 2000 Foam, Graphic Controls Corporation - Canadá) com amplificadores (até 5000 vezes) e de configuração bipolar. Estes eletrodos são adesivos e serão colocados paralelos às fibras musculares. Serão posicionados eletrodos na parte posterior da coxa e no gastrocnêmio medial, de acordo com as normativas da SENIAM. O eletrodo de referência será posicionado sobre o maléolo lateral.

Os locais de fixação dos eletrodos serão previamente tricotomizados e higienizados com álcool a 96° e marcados com caneta hidrocor. A distância entre os eletrodos utilizada no experimento será de aproximadamente 3 cm. Este espaçamento será utilizado para que não haja sobreposição dos eletrodos, devido ao perímetro de suas partes aderentes. As marcas do posicionamento dos eletrodos realizadas no primeiro protocolo de treinamento serão reforçadas, com a mesma caneta, periodicamente visando à reprodução do posicionamento desses na execução do segundo protocolo de treinamento.

O sistema de aquisição de sinais será composto por um microcomputador portátil, com o programa DASYlab 10.0 (Dasytech Laboratories, 32 bits). As variáveis a serem investigadas serão a amplitude e frequência mediana do sinal. A transformação matemática do sinal será realizada por dois procedimentos: raiz quadrática da média e a integral.

3. CONCLUSÃO

Diante do que foi apresentado, observa-se que o dispositivo mecânico vem atendendo aos requisitos estabelecidos nos teste preliminares. Espera-se que este venha alcançar a funcionalidade desejada através da maior ativação dos flexores do joelho, quando for utilizado o protocolo de treinamento que proporciona uma ação excêntrica com maior peso do que a ação concêntrica.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os Programas de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e em Educação Física da UFMG, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- Aagaard, P, Simonsen, E.B., Andersen, J.L., Magnusson, S.P., Halkjær-Kristensen, J., Dyhre-Poulsen, P., 2000, "Neural Inhibition during Maximal Eccentric and Concentric Quadriceps Contraction: Effects of Resistance Training", *Journal Ap. of Physiology*, vol. 89, pp. 2249-2257.
- Abbruzzese, G., Morena, M., Spadavecchia, L., Schieppati, M., 1994, "Response of Arm Flexor Muscles to Magnetic and Electrical Brain Stimulation During Shortening and Lengthening Tasks in Man", *Journal of Physiology*, vol. 2, pp. 481.
- Barroso, R., Tricoli, V., Ugrinowitsch, C., 2005, "Adaptações Neurais e Morfológicas ao Treinamento de Força com Ações Excêntricas", *Revista Brasileira Ciência. e Movimento*, vol. 13(2), pp. 111-122.
- Berger, R., 1965, "Effect of Varied Weight Training Programs on Strength", *Res. Quart.*, n. 33, pp.44-54.
- Berger, R., Hardage, B., 1967, "Effect of Maximum Loads for Each of Ten Repetitions on Strength Improvement", *Res. Quart.*, n. 38, vol. 4, pp.715-8.
- Bowers, E.J., Morgan, D.L., Proske, U., 2004, "Damage to the Human Quadriceps Muscle from Eccentric Exercise and the Training Effect", *Journal of Sports Sciences*, vol. 22, pp. 1005–1014.
- Chapman, D., Newton, M., Sacco, P., Nosaka, K., 2006, "Greater Muscle Damage Induced by Fast Versus Slow Velocity Eccentric Exercise", *J. Sports Med.*, vol. 27, pp.591-598.
- Enoka, R.M., 1996, "Eccentric Contractions Require Unique Activation Strategies by the Nervous System", *J Appl Physiol.*, n. 81, pp.2339-2346.
- Farthing, J.P., Chilibeck, P.D., 2003, "The Effects of Eccentric and Concentric Training at Different Velocities on Muscle Hypertrophy", *Eur J Appl Physiol*, n. 89, pp. 578–586.
- Herzog, W., Leonard, T. R., 2002, "Force Enhancement Following Stretching of Skeletal Muscle: A New Mechanism", *The Journal of Experimental Biology*, vol. 205, pp. 1275-1283.
- Higbie, E.J., 1996, "Effects of Concentric and Eccentric Training on Muscle Strength, Cross-Sectional Area and Neural Activation", *J. Appl. Physiol.*, vol. 81, n. 5, pp. 2173-2181.
- Hortobagyi, T., 1996, "Adaptive Responses to Muscle Lengthening and Shortening in Humans", *J. Appl. Physiol.*, vol. 80, n. 3, pp. 765-772.
- Kokkonen, J., Nelson, A.G., Cornwell, A., 1998, "Acute Muscle Stretching Inhibits Maximal Strength Performance", *Res. Q. Exerc. Sport.*, vol. 69, n. 4, pp. 411-415.
- Mabie, H.H., Ocvirk, F.W., 1981, "Mecanismos", 2ª Edição, Rio de Janeiro, LTC, pp.272.
- Nardone, A., Romano, C., Schieppati, M., 1989, "Selective Recruitment of High-Threshold Human Motor Units During Voluntary Isotonic Lengthening of Active Muscles", *Journal of Physiology*, 409, pp. 451-471.
- Norton, R.L., 2004, "Projeto de Máquinas – Uma Abordagem Integrada", 2ª Edição, Porto Alegre, Bookman, pp. 462.
- Paschalis, V., Koutedakis, Y., Jamurtas, A. Z., Mougios, V., Baltzopoulos, V., 2005, "Equal Volumes of High and Low Intensity of Eccentric Exercise in Relation to Muscle Damage and Performance", *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 19, n. 1, pp. 184–188.
- Peixoto, G.H.C., Moreira Júnior, L.A., Bergamini, J.C., Bhering, E.L., Menzel, H.J., Pertence, A.E.M. Chagas, M.H., 2007, "The Cronic Effect of Strength and Flexibility Training on Stiffness And Range of motion. In: 25th International Symposium on Biomechanics in Sports, pp. 436-439.
- Pincivero, D.M., Gandhi, V., Timmons, M.K., Coelho, A.J., 2006, "Quadriceps Femoris Electromyogram during Concentric, Isometric and Eccentric Phases of Fatiguing Dynamic Knee Extensions", *Journal of Biomechanics*, vol. 39, pp. 246-254.
- Proske, U., Morgan D.L., 2001, "Muscle Damage from Eccentric Exercise: Mechanism, Mechanical Signs, Adaptation and Clinical Applications", *Journal of Physiology*, vol. 537, n. 2, pp. 333–345.
- Provenza, F., 1981, "Mecânica Aplicada", Volume III, São Paulo, Pro-Tec, pp. 250.
- Shigley, J.E., 1980, "Elementos de Máquinas", Volume 2, Rio de Janeiro, LTC, pp. 350.
- Thomas, J.R., Nelson, J.K., 2002, "Métodos de Pesquisa em Atividade Física", 3ª Edição, São Paulo, Artmed, pp. 419.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

DEVELOPMENT OF A MECHANICAL DEVICE FOR WORKOUT EQUIPMENT OBJECTIFYING CONTROL OF MECHANICAL LOADING DURING ECCENTRIC MUSCLE ACTION

Marcel Bahia Lanza, marcellanza@yahoo.com.br¹
Renato Guilherme Trede Filho, renato.trede@gmail.com¹
Mauro Heleno Chagas, mauroh@effto.ufmg.br¹
Antônio Eustáquio de Melo Pertence, pertence@demec.ufmg.br¹

¹Federal University de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário, CEP 31270.901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

***Abstract.** Several studies have shown that the human being is capable of producing during eccentric muscle action (negative work) higher strength values than during the concentric muscle action (positive work). Most of the equipment traditionally used for training in bodybuilding, which provide a mechanical operation characterized by a system of ropes and pulleys, has the limitation of not being able to control the mechanical load imposed on the individual in a different way during the performance of different muscle actions, ie, the mechanical load is the same for the positive and negative work. Thus, a machine used for training in the gym to provide a device capable of changing the mechanical resistance during the eccentric muscle action can bring great benefits to the practitioners of physical activity and fitness can allow a prescription for physical training most appropriate for athletes seek a maximum increase of muscular strength. Thus, the purpose of this paper is the development of a mechanical device adapted to a traditional fitness machine, which allows the increase of the mechanical load imposed during eccentric action and also permits graduating this increase in load mechanics.*

***Keywords:** Mechanical device, bodybuilding equipment, eccentric muscle action.*