

A IMPORTÂNCIA DAS CARGAS MECÂNICAS DAS ACTIVIDADES DE FITNESS NA PRESCRIÇÃO DO EXERCÍCIO

Rita Santos Rocha

Escola Superior de Desporto de Rio Maior, Departamento de Condição Física e Saúde

RESUMO

As diversas actividades físicas praticadas no âmbito do Exercício e Saúde, produzem não só estímulos metabólicos, mas também estímulos mecânicos. Estes estímulos são benéficos para as estruturas músculo-esqueléticas quando associados a um determinado intervalo de intensidade. A quantificação das cargas mecânicas associadas às diversas modalidades praticadas, permitiria a sistematização das mesmas, relativamente à “intensidade” mecânica. Esta sistematização permite a melhor adaptação das linhas orientadoras da Prescrição do Exercício. Apresentamos alguns exemplos relativamente à actividade *Step*.

O EFEITO BIOPOSITIVO E BIONEGATIVO DA CARGA MECÂNICA

No seu sentido genérico, a relação entre o Exercício e a Saúde, permite-nos partir do pressuposto de que desenvolvemos e prescrevemos uma determinada actividade, no sentido de promover os benefícios que dela vão resultar para a Saúde Pública. Estes benefícios podem ser estudados em função das suas características quantitativas e qualitativas, dependendo do contexto da análise e dos instrumentos utilizados. Ou seja, os referidos benefícios traduzem-se nos efeitos da aplicação de determinados estímulos, que são diferenciados de acordo com as características histológicas e as propriedades materiais das diferentes estruturas músculo-esqueléticas. Como exemplo, considerando uma corrida de 30' a um ritmo confortável, este estímulo poderá significar, por um lado, “um esforço aeróbio com uma intensidade de cerca de 60% do consumo máximo de oxigénio”, e por outro, “um estímulo mecânico cuja componente vertical da força de reacção do apoio (FRA¹) poderá ser cerca de 2 BW”. Podemos referir no primeiro caso, os benefícios específicos nos sistemas cardio-respiratório e imunitário, e no segundo caso, no sistema osteo-articular.



¹ Força de Reacção do Apoio: mesma direcção e sentido oposto à força gerada pela gravidade a actuar no peso do corpo. Expressa em “unidades de peso do corpo” ou *Body Weight* – BW.

Nos últimos anos, no que se refere à **Prescrição do Exercício**, a investigação tem-se centrado essencialmente na quantificação de cargas que constituem estímulos que, em termos simplistas, conduzem ao aumento do consumo máximo de oxigénio, à melhoria da força e da flexibilidade, e à alteração da composição corporal. A forma de quantificar os efeitos dessas cargas consubstancia-se nas diversas formas de Avaliação das respectivas componentes da Condição Física.

Um dos principais objectivos das actividades físicas que integram a área socio-profissional do Exercício e Saúde, são atingir níveis adequados de carga fisiológica e **carga mecânica**, minimizando os efeitos negativos que desta possam advir. Os efeitos da carga mecânica aplicada ao Sistema Músculo-Esquelético podem ser biopositivos ou bionegativos. Os **efeitos bionegativos** podem resultar tanto de situações de carga insuficiente, como de carga excessiva. Antes da maturidade, a carga insuficiente pode resultar em situações de crescimento e desenvolvimento não normais do Sistema Músculo-Esquelético, e no adulto pode existir diminuição da capacidade funcional. A carga excessiva antes da maturidade pode também resultar em situações de crescimento e desenvolvimento anormais, além de lesões, independentemente da idade. Os **efeitos biopositivos** antes da maturidade incluem o crescimento e desenvolvimento harmonioso do Sistema Músculo-Esquelético, e o aumento da capacidade funcional em qualquer idade, (Watkins, 1999). Outro efeito essencial é o estímulo osteogénico provocado pelo Exercício, que vai promover a manutenção e/ou aumento da massa óssea.

As cargas mecânicas resultantes dos **impactos**, irradiam do ponto de contacto entre o corpo e o apoio, propagando-se verticalmente ao longo do Sistema Osteo-Articular, através de vibração. O corpo humano dispõe de mecanismos de reflexo que provocam contracções musculares de forma a amortecer os efeitos biomecânicos do impacto na planta do pé. Como ocorre um atraso de cerca de um vigésimo de segundo entre o impacto inicial no solo e a produção desses reflexos protectores, o corpo fica mais vulnerável quando forças intensas são aplicadas com muita rapidez. É nas estruturas músculo-esqueléticas que estes impactos se vão reflectir. As forças que actuam numa estrutura, têm uma direcção e um sentido, produzindo momentos de força, no que se refere às articulações. A carga define-se pela soma de todas as forças e momentos. A magnitude desses momentos, determinam a carga interna (Nigg & Grimston, 1999). O conceito de **carga mecânica** não é independente da função e da estrutura de cada um dos componentes do Sistema Músculo-Esquelético. No âmbito da Biomecânica, a carga mecânica pode ser entendida como a carga interna ou conjunto de efeitos produzidos por determinados estímulos ou carga externa, associados ao Exercício. As estruturas músculo-esqueléticas são particularmente sensíveis a dois tipos de solicitações mecânicas: à actividade física, seja ela formal ou informal, e ao suporte do peso do corpo. Esta exerce a sua influência

essencialmente ao nível dos membros inferiores, devido à sua função de suporte de carga em oposição à força da gravidade, (Velo e col., 1999). Cumprindo o Princípio da Sobrecarga, estes estímulos diferenciados conduzem a efeitos específicos. Quando aplicados determinados estímulos, está associada uma determinada carga mecânica, uma vez que a actividade física provoca forças externas que geram forças internas de contracção muscular. Estas forças são transmitidas através das estruturas músculo-esqueléticas de diferentes formas, de acordo com a sua função mecânica, e com a sua composição biológica, por exemplo, num sentido distal-proximal, alterando a energia cinética dos segmentos. Parte desta energia é aproveitada para a produção de movimento, enquanto outra parte se dissipa. Os vários tipos de respostas biológicas dos tecidos, serão diferentes, consoante estes sejam rígidos (osso) ou deformáveis (cartilagem articular, ligamento ou tendão), e também atendendo à sua função mecânica e tamanho. Assim, a mesma carga provocará diferentes respostas biomecânicas em diferentes tecidos (Zernicke & Judex, 1999).

Ao longo da vida, ocorrem alterações e adaptações nos ossos, cartilagens, tendões, ligamentos e músculos. Factores como a actividade física e o Exercício, a imobilização e a dieta, podem afectar a qualidade e quantidade dos tecidos conjuntivos que suportam as cargas mecânicas (Whiting & Zernicke, 1998). Deste modo, as várias estruturas músculo-esqueléticas produzem diferentes **respostas biomecânicas**. Deste modo, o tecido ósseo confere a rigidez e a elasticidade necessárias para transmitir força sem dissipação significativa de energia, logo, a sua capacidade de deformação é relativamente pequena. Os tendões intervêm na produção de movimento pela eficiente transmissão das forças de contracção muscular através das articulações. Os ligamentos têm grande capacidade de deformação, dissipando a energia através de processos viscoelásticos, sendo a sua função mecânica, travar o movimento excessivo. As cartilagens articulares, também com grande capacidade de deformação, dissipam a energia através de processos poroelásticos, distribuindo as forças através das articulações (Anderson e col., 2000).



SISTEMATIZAÇÃO DO EXERCÍCIO RELATIVAMENTE À CARGA MECÂNICA PRODUZIDA

Nota-se por um lado, a escassez de informação no que se refere à relação entre as características das várias formas de Exercício e a respectiva carga mecânica produzida, e por outro, a necessidade de “sistematizar” este tipo de conhecimentos. A relação entre o Exercício e a carga mecânica poderá ser estudada através de determinados estudos transversais, que eventualmente permitirão sistematizar as diferentes formas de actividade física, no sentido de melhor poderem ser adaptadas aos praticantes, e contribuir para o alargamento do conhecimento Nas Ciências do Desporto. Deste modo, os estudos transversais permitem realizar a análise das cargas biomecânicas em várias estruturas músculo-esqueléticas, por efeito

do Exercício, no que se refere à quantificação de forças externas e de forças internas, estas últimas através da aplicação de modelos matemáticos. No que concerne às diferentes formas de quantificação da carga mecânica, verificamos que muitos autores se reportam ao estudo do impacto¹, e às forças activas² (geralmente a componente vertical da força de reacção do apoio), produzidos pelo movimento humano. Verificamos também que a Marcha e a Corrida são as actividades que constituem dois dos principais objectos de estudo. O sumário desses resultados ilustram que as forças externas máximas de impacto podem exceder 10 vezes o peso do corpo, enquanto as forças externas máximas activas não ultrapassam 5 vezes o peso do corpo, (Nigg, 1999). Como exemplos, alguns autores como Nigg, Cavanagh e Frederick (Nigg, 1999), calcularam que a força de reacção do apoio produzida no calcanhar pela Corrida a 4 m/s com sapatos, varia entre 2 e 3 vezes o peso do corpo. Baptista (1999) refere que o Exercício associado a cargas mecânicas de cerca de 2 BW, conferem um estímulo osteogénico. Actividades de **grande intensidade** estão associadas a FRA superiores a 4 BW; Actividades de **intensidade moderada** estão associadas a FRA entre 2 e 4 BW; Actividades de **intensidade ligeira** estão associadas a FRA inferiores a 2 BW (ACSM, 2001). A normalização dos valores de força em termos de peso do corpo (BW), permite a comparação entre diferentes habilidades motoras, entre diferentes condicionantes de execução, e entre diferentes actividades. Os resultados indicam que vários factores influenciam a magnitude do impacto, tais como: o tipo de calçado, a velocidade do movimento, e o tipo de movimento, (Nigg, 1999). No entanto, uma análise mais aprofundada da carga mecânica não se centra apenas na quantificação das forças externas, requerendo cálculos mais complexos relativamente às forças internas produzidas pelo movimento nos tecidos moles nele intervenientes, tais como, músculos, tendões e ligamentos. Deste modo, as forças externas podem também ser utilizadas para estimar as forças internas – tais como forças de tensão, de compressão e de corte - através da utilização de modelos³ músculo-esqueléticos, (Nigg, 1999).

A Marcha e a Corrida fazem parte do vasto leque de actividades físicas formais, actualmente disponível. No entanto, constituem também formas básicas de locomoção humana. Deste modo, a análise e quantificação em termos de carga mecânica, permitem que estas actividades sirvam de referência, facilitando a comparação com outras formas de Exercício. A comparação entre diferentes actividades, de forma transversal, contribuirá para uma análise facilitada de outras formas de Exercício mais generalizadamente praticadas, tais como determinadas actividades em grupo – como a Aeróbica e o *Step* – cujas técnicas parecem apresentar padrões de movimento semelhantes à Marcha e à Corrida.

1 As forças de impacto relativas à locomoção humana, são forças que resultam da colisão entre dois objectos, atingindo o seu máximo antes dos 50 ms depois do primeiro contacto entre os objectos, (Nigg, 1999).

2 As forças activas da locomoção humana são forças geradas pelo movimento que é inteiramente controlado pela actividade muscular, (Nigg, 1999).

3 Um "modelo" é a tentativa de representar a realidade de forma simplificada, (Nigg, 1999).

Em síntese, a quantificação das cargas mecânicas associadas às diversas modalidades praticadas, permitiria a sistematização das mesmas, relativamente à “intensidade” mecânica. Esta sistematização, por sua vez conduziria à melhor adaptação das linhas orientadoras da Prescrição do Exercício (ACSM, 2000).

ESTUDOS BIOMECÂNICOS REALIZADOS NO ÂMBITO DO EXERCÍCIO E SAÚDE – O EXEMPLO DA ACTIVIDADE STEP

As modalidades, ditas recentes, como a Aeróbica - praticada há cerca de 20 anos - e o *Step* - que conta apenas 13 anos desde a sua criação - são actividades que têm beneficiado de desenvolvimento ao nível das respectivas metodologia e didáctica, embora a literatura científica não seja vasta (Franco & Santos, 1999). Deste modo, sendo actividades “massificadas” surge a necessidade de investigar sobre os efeitos mecânicos por estas proporcionados, passíveis de resultar em benefícios ou malefícios para a Saúde.

Várias actividades têm sido alvo deste tipo de estudos, o que nos permite, cada vez mais, melhorar a noção de “intensidade mecânica”. Como exemplo, a actividade *Step*, é uma das modalidades mais praticadas em todo o mundo, envolvendo milhares de praticantes de todas as idades. No quadro 1 são apresentados, em síntese, os resultados de alguns estudos realizados nacional e internacionalmente. Note-se que durante a aula de *Step*, existem três formas principais de alterar a intensidade da mesma: 1) aumentar ou diminuir a altura da plataforma; 2) aumentar ou diminuir a velocidade da música (cadência); e 3) simplificar ou complexificar a coreografia adoptada (coordenação motora).



Quadro 1 - Forças de Reacção do Apoio (em BW) estimadas para a fase de descida (recepção) da perna de liderança, associadas à actividade *Step*, executada em diferentes condições (velocidade da música e altura da plataforma).

Altura da Plataforma	Velocidade da Música	FRA	Autores
10 cm	122 bpm	1,57 BW	Santos-Rocha; Veloso; Franco & Pezarat-Correia (2001)
15 cm	120 bpm	1,60 BW	Bezner; Chinworth; Drewlinger; Kern; Rast; Robinson & Wilkerson (1996)
20 cm	120 bpm	1,66 BW	Bezner; Chinworth; Drewlinger; Kern; Rast; Robinson & Wilkerson (1996)
15 cm	122 bpm	1,66 BW	Santos-Rocha; Veloso; Franco & Pezarat-Correia (2001)
15 cm	120 bpm	1,71 BW*	Alcoforado-Santos & Veloso (2002)
15 cm	130 bpm	1,71 BW	Santos-Rocha; Veloso; Franco & Pezarat-Correia (2001)
20 cm	122 bpm	1,75 BW	Santos-Rocha; Veloso; Franco & Pezarat-Correia (2001)
25 cm	120 bpm	1,76 BW	Bezner; Chinworth; Drewlinger; Kern; Rast; Robinson & Wilkerson (1996)
15 cm	138 bpm	1,77 BW	Santos-Rocha; Veloso; Franco & Pezarat-Correia (2001)
25 cm	120 bpm	1,83 BW	Reebok University (1994)
20,3 cm	100 bpm	1,90 BW	Hecko & Finch (1996)
20 cm	120 bpm	2,24 BW	Newton & Humphries (1991)
25 cm	120 bpm	2,43 BW	Newton & Humphries (1991)
30 cm	120 bpm	2,9 BW	Newton & Humphries (1991)

*Mulheres pós-menopáusicas.

Durante o ciclo de um passo básico de *Step*, o momento que origina maior carga mecânica, é quando o primeiro pé desce da plataforma (Reebok University, 1994; Hecko & Finch, 1996). Deste modo, os estudos anteriormente apresentados incidiram sobre esta fase do ciclo. Como exemplo, Newton e Humphries (1991) estimaram valores de 1,75 BW para a marcha estacionária, e de 3,07 BW para a corrida estacionária. Verificamos, após a análise dos estudos apresentados, que os valores encontrados na actividade *Step* se situam entre os da marcha e da corrida. Assim, praticada com determinadas condições de execução relativamente à cadência da música e altura da plataforma, parece que esta actividade poderá constituir um estímulo mecânico desejável.

CONCLUSÃO

A carga mecânica associada ao movimento corporal produz forças de reacção do apoio (FRA), que podem ser medidas através da plataforma de forças. Estas forças, expressas em unidades de peso corporal (BW) constituem um indicador de carga mecânica produzida por um determinado exercício, permitindo a fácil comparação com as cargas produzidas por movimentos básicos de locomoção, como a marcha e a corrida.

O aumento das FRA, provavelmente está relacionado com maiores adaptações no sistema músculo-esquelético, no que se refere a: activação muscular, posição dos segmentos, e deslocamento angular das articulações, no sentido de realizarem a transferência das forças. O controlo motor permite também que o corpo se prepare antes do contacto, aumentando a pré-activação muscular.

Bibliografia

- ACSM** (2000). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 6th edition. Baltimore: Williams & Wilkins.
- ACSM** (2001). *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 4th edition. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Anderson, DD; Adams, DJ & Hale, JE** (2000). Mechanical Effects of Forces Acting on Bone, Cartilage, Ligaments and Tendons. In Nigg, B; MacIntosh, B & Mester, J (Eds), *Biomechanics and Biology of Movement* (Ch 16). Champaign: Human Kinetics.
- Baptista, F** (2000). *Exercício Físico e Metabolismo Ósseo – Resultados do Programa de Actividade Física para a Pessoa Idosa do Concelho de Oeiras*. Lisboa: Edições FMH.
- Bezner, SA, Chinworth, SA, Drewlinger, DM, Kern, JC, Rast, PD, Robinson, RE, & Wilkerson JD** (1996). *Step Aerobics: a Kinematic and Kinetic Analysis*. Denton: Texas Women's University (pp 252-254).
- Correia, PP, Silva, PA & Espanha, M** (1999). Adaptações Musculares ao Exercício Físico. In Correia, PP (Ed), *Anatomofisiologia. Tomo II – Função Neuromuscular* (pp 157-183). Lisboa: Edições FMH.
- Espanha, M; Correia, PP; Silva, PA & Pascoal, AG** (1999a). Tecido Conjuntivo do Aparelho Locomotor. In Espanha, M (Ed), *Anatomofisiologia - Tomo I – Sistema Osteo-Articular*. Lisboa: Edições FMH.
- Espanha, M; Pascoal, AG; Correia, PP & Silva, PA** (1999b). Noções Fundamentais de Artrologia. In Espanha, M (Ed), *Anatomofisiologia - Tomo I – Sistema Osteo-Articular*. Lisboa: Edições FMH.
- Francis, P; Francis, L; Miller & Hurst** (1992). Effects of Choreography, Step Height, Fatigue and Gender of Step Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5), Abstract 69.
- Franco, S** (1999). *Análise do Padrão de Participação Neuromuscular da Actividade de Step. Efeito da Altura da Plataforma*. Tese de Mestrado. Lisboa: Faculdade de Motricidade Humana.
- Franco, S & Santos, R** (1999). *A Essência da Ginástica Aeróbica*. Rio Maior: Edições ESDRM.
- Franco, S; Santos, R; Pezarat-Correia, P & Veloso, A** (2000). *Influence of Bench Height on Muscle Participation Pattern in Step Exercise*. 5th Annual Congress of the European College of Sport Science (pp 269), Jyväskylä, Finlândia.
- Hecko, K & Finch, A** (1996). Effects of Prolonged Bench Stepping on Impact Forces. In Abrantes, J (Ed), *XIV International Symposium on Biomechanics in Sports - Proceedings*. Lisboa: Edições FMH.
- Machado, ML & Abrantes, J** (1998). Basic Step vs. Power Step: Peak Values of Vertical GRF Analysis. In Hartmut, Riehle, Manfred & Vieten (Eds), *Proceedings of the XVI International Symposium on Biomechanics in Sports*. UVK – Universitatverlag Konstanz GmbH. (pp 514-517)
- Maybury, MC & Waterfield, J** (1997). An Investigation into the Relationship Between Step Height and Ground Reaction Forces in Step Exercise: a Pilot Study. *British Journal of Sports Medicine*, 31:109-113.
- Newton, R & Humphries, B** (1991). Peak Ground Reaction Forces During Step Aerobics, Walking and Jogging. In Tant, C; Patterson, P & York, S (Eds), *Biomechanics in Sport IX* (pp 67-71). Ames: Iowa State University.
- Nigg, BM & Grimston, SK** (1999). Bone. In Nigg, BM & Herzog, W (Eds), *Biomechanics of Musculo-skeletal System*, 2nd edition (ch 2.3). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Nigg, BM** (1999). Force. In Nigg, BM & Herzog, W (Eds), *Biomechanics of Musculo-skeletal System*, 2nd edition (ch 3.3). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Reebok University** (1994). *Step Reebok – Introduction*. Reebok International, Ltd.
- Santos, R** (1999). *Análise do Padrão de Participação Muscular no Exercício de Step. Influência da Cadência da Música*. Tese de Mestrado. Lisboa: Faculdade de Motricidade Humana.
- Santos, R ; Franco, S; Correia, PP & Veloso, A** (1999). *Influência da Cadência da Música no Padrão de Participação Neuromuscular no Exercício de Step*. I Congresso Internacional sobre Investigação em Exercício e Saúde (pp 34). Rio Maior: Escola Superior de Desporto de Rio Maior.
- Santos, R; Franco, S; Pezarat-Correia, P & Veloso, A** (2000). *Influence of Music Tempo on Muscle Participation Pattern in Step Exercise*. 5th Annual Congress of the European College of Sport Science (pp 644), Jyväskylä, Finlândia.
- Santos-Rocha, R; Veloso, A; Franco, S & Pezarat-Correia, P** (2001). Biodinamics of Step Down Phase of Step Exercise. Influence of Music Speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise, Volume 33:5 Supplement - 48th Annual Meeting of the American College of Sports Medicine*, May/June 2001, Baltimore, Maryland, USA.
- Santos-Rocha, R; Veloso, A; Franco, S & Pezarat-Correia, P** (2001a). Biodinamics of Step Down Phase of Step Exercise. *Biodinamics of Step Down Phase of Step Exercise. Influence of Bench Height*. 6th Annual Congress of the European College of Sport Science, July 2000, Cologne, Germany, Proceedings, pp 801.
- Santos-Rocha, R; Franco, S & Pimenta, N** (2003). *Prescrição do Exercício – Documentação de apoio*. Documento não publicado. Escola Superior de Desporto de Rio Maior. www.esdrm.pt

- Teriet, C & Finch, A** (1997). Effects of Varied Music Tempos and Volumes on Vertical Impact Forces Produced in Step Aerobics. In Wilkerson, JD; Zimmermann, WJ; & Ludwig, K (Eds), *XV International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp 148). Woman's University Press.
- Veloso, A; Espanha, M; Pascoal, AG; Silva, PA & Correia, PP** (1999). Efeitos da Actividade Física nos Tecidos Não Contrácteis. In Espanha, M (Ed), *Anatomofisiologia - Tomo I – Sistema Osteo-Articular*. Lisboa: Edições FMH.
- Watkins, J** (1999). *Structure and Function of the Musculoskeletal System* (ch 11). Champaign: Human Kinetics.
- Winter, DA** (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, 2nd edition (ch 4). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Whiting, WC & Zernicke, RF** (1998). Tissue Biomechanics and Adaptation. In Whiting, WC & Zernicke, RF (Eds), *Biomechanics of Musculoskeletal Injury* (ch 4). Champaign: Human Kinetics.
- Zernicke, RF & Judex, S** (1999). Adaptations of Biological Materials to Exercise, Disuse and Aging. In Nigg, BM & Herzog, W (Eds), *Biomechanics of Musculo-skeletal System*, 2nd edition (ch 2.8). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.