

# A Biomecânica em Educação Física e Esporte

Alberto Carlos AMADIO\*  
Júlio Cerca SERRÃO\*

\*Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo.

## Resumo

Trata o artigo da contextualização da biomecânica enquanto disciplina acadêmica que compõe o corpo de conhecimento da Educação Física e do Esporte. São discutidos aspectos relacionados à fundamentação metodológica da avaliação do movimento humano; aspectos históricos; e as perspectivas da aplicação dos conhecimentos de natureza biomecânica para a prática profissional na Educação Física e no Esporte. No que se refere às aplicações profissionais, especial ênfase é dada aos esforços objetivando a otimização do desempenho esportivo, a detecção de soluções para promover a qualidade de vida, e o controle das lesões.

UNITERMOS: Biomecânica; Desempenho esportivo; Qualidade de vida; Sobrecarga mecânica.

## Introdução

O objetivo central deste artigo é caracterizar a Biomecânica como uma área de conhecimento fortemente envolvida na identificação de parâmetros mecânicos capazes de influenciar o rendimento esportivo e a melhora da qualidade de vida. Para tanto, não pretende este artigo sistematizar todo o conhecimento acumulado ao longo do desenvolvimento da Biomecânica. A tarefa seria irrealizável. Não se espere portanto, detalhadas discussões acerca de aspectos metodológicos ou características mecânicas de determinado movimento. Antes de uma revisão, pretende-se que este texto seja um convite à reflexão. Uma reflexão

sobre o papel desempenhado pela Biomecânica, que enquanto área de conhecimento da Educação Física e do Esporte, pode influenciar de forma definitiva a elaboração e a implementação de programas voltados à promoção da saúde e de programas de treinamento esportivo. Reflexão que pode ser reputada como indispensável, especialmente para aqueles que iniciam seus estudos sobre o movimento humano. Vislumbrar as reais possibilidades de aplicação de uma disciplina acadêmica possibilita a revitalização de seu corpo de conhecimento, condição que fundamenta as bases para que seu desenvolvimento se perpetue.

## Fundamentos metodológicos da avaliação biomecânica do movimento humano

Antes que se possa considerar a possibilidade da Biomecânica influenciar a execução dos programas de atividade física voltados à promoção da saúde e da otimização do rendimento esportivo, torna-se indispensável caracterizá-la. O objetivo central da Biomecânica é o estudo do movimento humano. Ainda que esse seja um objetivo comum a muitas áreas que compõem o corpo de conhecimento da

Educação Física e do Esporte, a Biomecânica procede sua análise a partir de um prisma particular: o das leis da Física. Mais do que simplesmente aplicar as leis da Física, a Biomecânica leva ainda em consideração as características do aparelho locomotor. Para tanto, além da Física e da Matemática, enquanto disciplinas que fundamentam e suportam a análise do movimento humano, a Biomecânica

ainda utiliza-se dos conhecimentos da Anatomia e da Fisiologia, disciplinas que delimitam as características estruturais e funcionais do aparelho locomotor humano. Configura-se desta forma, uma disciplina com forte característica multidisciplinar, cuja meta central é a análise dos parâmetros físicos do movimento, em função das características anatômicas e fisiológicas do corpo humano. A análise biomecânica do movimento humano é operacionalizada a partir da adoção daquelas que são reconhecidas como as suas quatro grandes áreas de investigação: a cinemetria, a dinamometria, a eletromiografia e a antropometria (AMADIO, LOBO DA COSTA, SACCO, SERRÃO, ARAÚJO, MOCHIZUKI & DUARTE, 1999). A cinemetria objetiva a determinação da posição, do deslocamento, da velocidade e da aceleração, enquanto descritores das características cinemáticas dos segmentos e do próprio corpo humano. Tais parâmetros podem ser mensurados por intermédio de câmeras de vídeo, de sistemas opto-eletrônicos, de acelerômetros, ou dos eletrogoniômetros (DAINTY & NORMAN, 1987). A dinamometria é a área de investigação da Biomecânica cujo objetivo central é a determinação das forças que produzem o movimento. Em função de restrições metodológicas, a dinamometria se ocupa basicamente da medição das forças de origem externa, sendo as plataformas de força os instrumentos mais utilizados para mensurar aquela que é uma das mais importantes forças externas, a Força de Reação do Solo (FRS). Tal força age sobre o corpo humano durante a fase de contato com o solo, conforme regência básica das leis de movimento de Newton. As restrições quanto às medições de forças internas não são causadas por limitações instrumentais, e sim pelo caráter invasivo que o procedimento implica. São raros na literatura os relatos de medições de forças internas. Destacam-se os trabalhos clássicos de GREGOR, KOMI e JÄRVISEN (1987) e KOMI, SALOMEN, JÄRVISEN e KOKKO (1987), que através de procedimento cirúrgico implantaram um transdutor de força do tipo "strain-gauge" almejando a mensuração das forças transmitidas ao tendão de Aquiles durante a realização de alguns movimentos selecionados. As dificuldades na adaptação do transdutor ao tendão, em sua inserção cirúrgica, na sua calibração, e o conseqüente efeito retroativo gerado pelo procedimento experimental, caracterizam de forma exemplar as dificuldades de mensuração das forças internas. Entretanto, o desenvolvimento de técnicas e instrumentos menos invasivos, como os procedimentos baseados no

uso de fibra ótica (KOMI, 1995), tendem a tornar a medição das forças internas um procedimento mais exequível. Apesar das dificuldades metodológicas a medição das forças internas continua a representar uma alternativa metodológica viável, como evidencia o estudo de WILKE, NEEF, CAIMI, HOOGLAND e CLAES (1999), cujo objetivo central era a determinação das forças de compressão aplicadas a coluna durante movimentos selecionados. O caráter invasivo do procedimento tem estimulado a adoção de procedimentos voltados à determinação indireta das forças internas. A partir da adoção de um modelo físico-matemático do aparelho locomotor, associado à mensuração de parâmetros cinemáticos, dinâmicos e antropométricos procede-se o cálculo dessas forças por intermédio do método denominado dinâmica inversa. Entretanto, deve-se considerar que a formulação dos modelos físico-matemáticos não representa uma tarefa fácil. Enquanto simplificação esquemática do aparelho locomotor, voltada ao controle da indeterminação matemática, tais modelos ainda não permitem que a estrutura biológica seja representada em toda a sua complexidade (AMADIO, 2000a). A eletromiografia estuda a atividade dos músculos a partir da captação dos eventos elétricos vinculados à contração muscular. Por permitir a interpretação de parâmetros de natureza interna, a eletromiografia assume importante papel na determinação dos mecanismos de controle do sistema nervoso (DE LUCA, 1997). A captação do sinal pode ser feita por intermédio de eletrodos de superfície, quando o músculo a ser estudado apresenta seu ventre na superfície do corpo, ou por intermédio de eletrodos de fio ou agulha, quando ele se localiza abaixo de outros tecidos. Um exemplo dos procedimentos adotados na eletromiografia intramuscular ou profunda pode ser observado no estudo de BOJADSEN, MOCHIZUKI, SERRÃO, MOTA e AMADIO (2001), dedicado à análise da atividade dos m. multífidus, grupamento paravertebral que possui porções profundas, durante a marcha. A antropometria descreve, a partir de técnicas experimentais e ou analíticas, as características físicas dos segmentos corporais (AMADIO, 1989; BAUMANN, 1995). Além de fornecer subsídios para a formulação dos modelos físico-matemáticos destinados à determinação das forças internas, através dos procedimentos da dinâmica inversa, ela desempenha papel decisivo na determinação das características físicas do aparelho locomotor, como a massa, o peso, o centro de massa e de gravidade. Tais informações assumem destacada importância na interpretação do

movimento humano, bem como nas ações voltadas ao desenvolvimento de equipamentos auxiliares para a execução dos movimentos, como é o caso das mochilas e dos calçados. A partir da utilização de um destes procedimentos, ou da combinação deles, estratégia essa muito frequente em função da característica complexidade do movimento humano, torna-se possível cumprir aquela que é a meta central da Biomecânica: a análise física do movimento humano. Resta, no entanto, definir quais são os objetivos finais, ou metas específicas de tal análise. Figura como uma das mais importantes

metas específicas da Biomecânica, a identificação e a caracterização de parâmetros mecânicos cuja implementação permita que o movimento seja realizado da forma mais adequada e mais segura. Otimizar a execução de um movimento, permitindo a sua mais ampla possibilidade de expressão, sem que isto acabe por lesionar as estruturas que compõem o aparelho locomotor é condição indispensável para a realização de todas as manifestações do movimento humano, desde os movimentos cotidianos, como a marcha, até os mais elaborados, como é o caso dos gestos esportivos.

## Breve histórico da Biomecânica

A preocupação com a análise física do movimento humano é bastante antiga. Obras clássicas de pensadores como Aristóteles evidenciam que o interesse do homem em analisar o movimento, a partir de preceitos físicos, é antiquíssimo. Interesse esse que se aprofundou durante os séculos seguintes, como demonstram os estudos clássicos de Borelli (século XVI) e Marey (século XIX), e que continua em curso até os dias atuais (ARTWATER, 1980). Entretanto, apesar de o estudo do movimento ser antigo, a consolidação da Biomecânica como uma ciência e, posteriormente, como uma disciplina acadêmica é bastante recente (AMADIO & SERRÃO, 2004). Por conseguinte, a história da Biomecânica no Brasil começou a ser escrita há poucos anos. Esta trajetória foi fortemente influenciada pelo apoio que algumas instituições de ensino superior brasileiras receberam do governo alemão. Um dos marcos históricos desta relação deu-se em 1965, ano em que foi concretizado o convênio cultural entre o Brasil e a República Federal da Alemanha para a introdução da Biomecânica nos cursos de Educação Física no Brasil (DIEM, 1983). Como uma das ações previstas nesse convênio, no ano de 1976, o professor Hartmut Riehle ministrou cursos na Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo e na Universidade Federal de Santa Maria, com o intuito de fomentar o desenvolvimento da área, e estabelecer as bases para o curso de formação de especialistas em Biomecânica. Ainda como parte das atividades do acordo cultural, em 1979 o Prof. Dr. Wolfgang Baumann, então chefe do Institut für Biomechanik da Deutsche Sporthochschule Köln da Alemanha, veio ao Brasil com o objetivo de visitar Universidades estaduais e federais da região sudeste e sul, com o propósito de

diagnosticar sua situação e avaliar a possibilidade de desenvolvimento de projetos de pesquisa na área de Biomecânica, bem como prover orientação especializada para construção ou ampliação de laboratórios e departamentos que pudessem desenvolver estudos científicos na área (DIEM, 1983). A partir do impulso oferecido pelo convênio Brasil-Alemanha, observou-se um expressivo aumento no número de pesquisadores dedicados ao estudo das questões biomecânicas. Tal condição levou a Biomecânica a se expandir para além do espaço disciplinar da Educação Física e do Esporte, gerando importantes relações multidisciplinares. Como evidência dessa expansão deve-se citar a estruturação dos primeiros encontros científicos brasileiros destinados à discussão da Biomecânica. Merece destaque, por se tratar do primeiro evento acadêmico da biomecânica brasileira, a realização do “I Encontro Nacional de Docentes de Cinesiologia e Biomecânica”, ocorrido em 1988, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Em sua terceira edição, no ano de 1991, o encontro passou a ser nomeado “Congresso Nacional de Biomecânica”. Foi durante a quarta edição deste evento, realizada em dezembro de 1992, que foi fundada, em Assembleia Geral, a Sociedade Brasileira de Biomecânica (SBB). A partir do quinto encontro, realizado no ano de 1993, o Congresso Nacional de Biomecânica passou a ser denominado “Congresso Brasileiro de Biomecânica” (CBB). Desde então o CBB é realizado bianualmente, sob a tutela da SBB. Em estudo que analisou o impacto das publicações do CBB para o desenvolvimento do meio acadêmico-científico, MOCHIZUKI, FRANCIULLI, BIONGIARI, ARAÚJO, SERRÃO e AMADIO (2005) demonstraram que o aumento de

trabalhos publicados nos Anais do CBB ao longo de seus encontros foi acompanhado pelo aumento no número de citações de trabalhos do evento, sugerindo a importância dos Anais na divulgação científica da Biomecânica do Brasil. A SBB foi criada com o objetivo de abrigar àqueles que possuíssem interesse pela área, assumindo a função de representante oficial da comunidade que atua nesse campo, respondendo pelo desenvolvimento da Biomecânica (AMADIO, 1992). A SBB é uma sociedade civil de direito privado, sem fins lucrativos, que tem por objetivo reunir os profissionais da biomecânica e ciências afins no território brasileiro, com as seguintes finalidades: promover e apoiar o aperfeiçoamento técnico e científico desses profissionais; estimular a criação de centros de pós-graduação através da colaboração com universidades e instituições de pesquisa; manter

vinculação com entidades do país e do exterior, agindo como representante oficial da biomecânica brasileira; zelar pelos aspectos éticos do exercício da biomecânica; e organizar a realização do CBB e de outros eventos científicos, promovendo a divulgação de conhecimentos sobre a área. Atualmente, a Revista Brasileira de Biomecânica - Brazilian Journal of Biomechanics (RBB) representa o órgão oficial de divulgação científica da SBB. Antes do seu lançamento, em novembro de 2000, os anais do CBB representavam o único meio de divulgação científica destinada exclusivamente à Biomecânica existente no Brasil. Desde o seu lançamento, a RBB atua como o órgão de divulgação científica oficial da SBB. Essa iniciativa teve o propósito de dotar a comunidade de um veículo de referência aos serviços, laboratórios e grupos de pesquisa (AMADIO, 2000b).

## **Perspectivas da aplicação dos conhecimentos de natureza biomecânica para a prática profissional na Educação Física e no Esporte**

### **A Biomecânica do Esporte: a constante busca pela superação dos limites do homem**

Saltar mais alto ou mais longe, correr a maior distância ou fazê-lo no menor tempo possível, converter o maior número de pontos. Qualquer que seja a modalidade esportiva, o objetivo central é sempre o mesmo: superar os limites do homem. Embora a otimização do rendimento esportivo seja fruto da combinação de fatores tão diversos como os genéticos e os sócio-afetivos, é inegável que a obtenção do máximo rendimento depende em grande monta da elaboração de estratégias de treinamento capazes de potencializar as capacidades e habilidades envolvidas no desempenho da modalidade. Associada a outras disciplinas, a Biomecânica é uma ferramenta indispensável na determinação dos fundamentos capazes de embasar o planejamento e a aplicação de um programa do treinamento esportivo. Com vistas a exemplificar tal possibilidade, tome-se o exemplo do estudo de BRENNECKE, GUIMARÃES, GAILEY, LEONI, CARDACI, OLIVEIRA, MOCHIZUKI, AMADIO e SERRÃO (2009), cujo objetivo central foi investigar, por meio da Eletromiografia, a efetividade de um método de treinamento de força bastante popular: a pré-exaustão. Tal estratégia de treinamento preconiza que os exercícios multiarticulares

devam ser precedidos, sem intervalos de descanso, por exercícios mono-articulares, objetivando a potencialização do trabalho dos músculos agonistas. Com vistas a analisar a efetividade deste método de treinamento, os autores determinaram parâmetros temporais e de intensidade da ativação muscular, utilizando os exercícios supino (multiarticular) e o crucifixo (monoarticular). A intensidade de ativação muscular do peitoral maior e do deltóide anterior não foi significativamente diferente quando da adoção do protocolo de pré-exaustão, contrariando a premissa básica que fundamenta este método de treinamento. Curiosamente, o tríceps braquial apresentou maior intensidade de ativação quando da aplicação do método de pré-exaustão. Os autores concluem que o método de pré-exaustão pode ser eficiente para impor maior estímulo neural sobre pequenos grupos acessórios na execução de um movimento e não sobre o grupo principal. Dados como este, são de fundamental importância para colaborar no julgamento da validade de métodos tradicionalmente utilizados no treinamento. A identificação das características mecânicas do gesto esportivo pode ser considerada outra grande contribuição da Biomecânica. Bom exemplo desta contribuição pode ser observado no estudo de BRAGA NETO (2008), que a partir da utilização de procedimentos da dinamometria, da cinemetria e

da eletromiografia, analisou as características biomecânicas de dois dos mais utilizados movimentos do tênis: o “forehand” e o “backhand”. Em função do posicionamento dos pés, o “forehand” pode ser realizado de duas formas distintas: “forehand open stance” (FOS) e “forehand square stance” (FSS). Dados da literatura especializada apontam que o posicionamento dos pés pode ser determinante no desempenho do tenista. O “backhand” pode ser executado, em função do posicionamento das mãos na raquete, com uma (BK1) ou com duas mãos (BK2). Os resultados obtidos pelo autor apontam a ocorrência de uma maior ativação muscular para as técnicas FOS e BK2. Entretanto, durante a fase pré-impacto, os maiores valores de ativação muscular foram observados quando da utilização do FSS e BK1. Dados como os apresentados por BRAGA NETO (2008) exemplificam como a Biomecânica pode estabelecer uma significativa contribuição para a avaliação da influência da técnica de movimento no desempenho esportivo.

### **Biomecânica do Movimento Humano: buscando soluções para promover a qualidade de vida**

A forte relação da Biomecânica com o Esporte pode levar a enganosa ideia de que, dentre as diversas formas de expressão do movimento humano, as ações esportivas são as que mais despertam o interesse da Biomecânica. Embora a relação seja forte, ela não é exclusiva. A própria história da Biomecânica evidencia de forma clara e inequívoca, que seus interesses são muito mais amplos. A investigação de parâmetros relacionados à locomoção humana, um dos tópicos mais estudados na Biomecânica, é evidência do fato. Tome-se como exemplo o estudo da locomoção humana, um dos objetos de estudo que mais tem recebido atenção na Biomecânica. Das primeiras considerações de Aristóteles, da Vinci, Borelli, passando pelos clássicos estudos dos irmãos Weber, Marey, Braune & Fischer e Muybridge, até os estudos contemporâneos que se beneficiam dos recentes progressos nos processos de aquisição e processamento do sinal biológico, a locomoção sempre foi foco de atenção dos estudos biomecânicos (CAPOZZO, MARCHETTI & TOSI, 1992). Esta que é uma das formas mais elementares do movimento humano, de cuja realização depende a maioria das ações motoras humanas, é um bom exemplo do interesse da Biomecânica pelo estudo dos movimentos cotidianos. Historicamente, a preocupação

com a análise do movimento humano sempre esteve atrelada à necessidade de entender os mecanismos que regulam e controlam o movimento, como forma de buscar sua otimização. Como exemplo desta preocupação, considere-se o clássico estudo sobre a influência da postura na compressão dos discos intervertebrais realizado por NACHEMSON e ELFSTRÖM (1970). O estudo conduzido por estes autores apontou que a compressão discal aumenta sobremaneira na posição sentada, quando comparada à posição em pé. Em função da projeção ântero-posterior do centro de gravidade do corpo, aumenta-se o torque resistente aplicado à coluna, que por sua vez gera necessidade de aumentar a força produzida pelos músculos responsáveis pela estabilização da coluna, levando também ao aumento do torque potente. Sob efeito do aumento dos torques potente e resistente, os discos intervertebrais acabam sendo alvos de considerável sobrecarga mecânica. A partir de resultados como os de NACHEMSON e ELFSTRÖM (1970), pode-se entender a razão pela qual as lombalgias representam uma das mais importantes causas de afastamento do trabalho (SODERBERG, 1986). Evitá-las, permitindo que o sujeito possa trabalhar de forma confortável, condição fundamental ao bom desempenho de suas tarefas, torna-se possível a partir de adoção de estratégias bastante simples, como a introdução de pausas regulares durante a jornada de trabalho. Pausas que permitam alternar períodos na posição sentada, quando o estresse mecânico imposto à coluna é maior, com pequenos intervalos em pé, quando o estresse sofre considerável redução. Tal condição configura um bom exemplo de como é possível, a partir dos conhecimentos oriundos da Biomecânica, otimizar a realização de um movimento extremamente rotineiro, como trabalhar em posição sentada. Considerando que o movimento laboral é uma das mais importantes formas de movimento, visto o tempo despendido em sua execução, continuemos a utilizá-lo como exemplo da importância da Biomecânica na otimização do movimento cotidiano. Dentro desse contexto, ANDERSON, ÖRTENGREN, NACHEMSON e ELFSTRÖM (1974), estudaram a inclinação da cadeira como fator de interferência no estresse imposto à coluna vertebral. Após calcular o estresse gerados por diferentes inclinações do encosto, os autores concluíram ser possível reduzir sensivelmente a sobrecarga aplicada à coluna a partir da adoção de uma inclinação de 120°, associada a presença de uma estrutura capaz de apoiar a coluna lombar. O estudo da influência do mobiliário e dos materiais de trabalho é um claro exemplo de

como a Biomecânica pode influenciar de forma decisiva a realização dos movimentos empregados em nossa rotina. Identificar a forma mais adequada e segura de realizar as atividades cotidianas é o primeiro passo rumo a promoção de saúde. Além da possibilidade de realizar de maneira confortável e segura as atividades cotidianas, a manutenção e a promoção da saúde ainda dependem da prática regular e sistematizada de alguma forma de atividade física. Dentre as diferentes expressões do movimento disponíveis para este fim, a caminhada, em função da sua popularidade, merece especial destaque. Por além de ser um meio de locomoção, a caminhada figura atualmente como uma das mais populares formas de condicionamento físico, sendo largamente praticada por pessoas de diferentes idades e níveis de aptidão física. Ainda que represente uma das expressões mais elementares do movimento humano, trata-se de um movimento de característica complexidade. As dificuldades enfrentadas por uma criança até que adquira um padrão maduro de marcha e os problemas sofridos por aqueles que, expostos a uma lesão traumática não mais conseguem manter tal padrão, representam exemplos muito concretos de tal complexidade. Complexidade que, retratada pela análise de parâmetros mecânicos, pode fornecer importantes subsídios, não somente para a caracterização de uma das mais importantes expressões do movimento humano, como também para o entendimento dos mecanismos de controle e gerenciamento desta importante forma de condicionamento físico. Desta forma, a análise das características biomecânicas da locomoção nos diferentes estágios da vida: a infância (LOBO DA COSTA, 2000), a idade adulta (BRUNIERA, 1994), e a terceira idade (SERRÃO & AMADIO, 1994), subsidiam, por além do entendimento dos mecanismos envolvidos no gerenciamento mecânico do movimento humano, a estruturação de programas de intervenção destinados a estes grupos. A importância dos parâmetros biomecânicos no planejamento de programas de atividade física também pode ser exemplificada por intermédio dos estudos que focaram a análise do comportamento biomecânico do movimento de grupos que demandam atenção especial como os portadores de doenças neurológicas (PINHO, FONSECA, OLIVEIRA, VILLASBOAS, SERRÃO, AMADIO & SOUSA, 2008), os diabéticos neuropatas (SACCO & AMADIO, 2003), os amputados (CERQUEIRA SOARES, 2005), os portadores de pé torto congênito (SOARES, 2007), e os indivíduos que sofreram lesão ligamentar (MOTA, AMADIO, HERNANDEZ & DUARTE, 2002; LIMA, 2006).

Qualquer programa para estes grupos não pode ser levado a termo sem que se considere as características biomecânicas dos movimentos do grupo a que se destina. Vale lembrar que para pessoas que compõem estes grupos especiais, a prática do exercício físico é condição indispensável à manutenção de sua qualidade de vida, fato que reforça a necessidade da elaboração de um programa extremamente bem adaptado às características biomecânicas de seus movimentos. Importante observar que os mesmos subsídios biomecânicos que respaldam a elaboração de estratégias voltadas à maximização do rendimento esportivo, são igualmente úteis no planejamento e implementação de atividades voltadas à promoção da saúde. A análise da contribuição dos músculos do membro inferior no controle da sobrecarga e na geração da energia mecânica (HAMNER, SETH & DELP, 2010) pode bem exemplificar tal condição. Da mesma forma como tais informações são úteis na elaboração de um programa de treinamento para um atleta que utiliza a corrida durante o desempenho de suas atividades esportivas, elas o são quando a corrida é utilizada como estratégia para desenvolver as capacidades físicas necessárias à promoção da saúde. Diante do exposto torna-se evidente a necessidade de considerar as características biomecânicas dos movimentos a serem utilizados num programa cuja objetivo é a promoção da saúde, de modo de adequá-lo às características e necessidades do grupo a que se destina.

### **Cargas mecânicas geradas pelo movimento humano e as lesões**

A tendência cada vez mais intensa de popularizar o exercício físico, além dos conhecidos benefícios para a promoção e manutenção da saúde, tem também ocasionado uma indesejável consequência: o aumento das lesões. A somatória das cargas geradas pelo movimento é apontada por muitos autores como a causa mais provável das lesões degenerativas que acometem o aparelho locomotor (WINTER & BISHOP, 1992). Ainda que não seja possível, à luz do atual estágio de desenvolvimento dos procedimentos de medição e análise do sinal biológico, determinar os reais limites de tolerância do aparelho locomotor, informações acerca das solicitações mecânicas geradas pela somatória das forças aplicadas ao aparelho locomotor podem ser de extrema utilidade para os profissionais da Educação Física e do Esporte. Tome-se como exemplo as medições da intensidade das cargas externas, por intermédio da determinação da Força de Reação do

Solo (FRS). A partir do conhecimento destes dados, um profissional da área interessado em analisar o estresse mecânico gerado por uma atividade como a corrida, pode comparar a magnitude máxima da FRS gerada nessa condição, que atinge valores médios equivalentes a 2,3x PC para uma velocidade de deslocamento de 5 m/s (MUNRO, MILLER & FUGLEVAND, 1987), a valores referências como os da marcha e do salto. Tal comparação revelaria que as cargas externas (1,2 vezes o peso corporal do executante) impostas ao aparelho locomotor durante a realização da corrida, estão muito próximas da marcha, e bastante distantes das cargas produzidas nos saltos atléticos (AMADIO, 1989; BRUNIERA, 1994; RAB, 1994; WINTER, 1990). Em função dessa hierarquização de valores, seria procedente afirmar que o estresse gerado pela corrida enquadra-se num espectro que oscila entre a baixa e a moderada solitação mecânica, configurando, portanto, uma situação compatível com os limites de tolerância do aparelho locomotor. Ainda que seja possível hierarquizar as forças externas geradas pelas diferentes formas de movimento humano, como uma das estratégias de interpretação da sobrecarga mecânica, deve-se considerar que a sobrecarga é um parâmetro de natureza acentuadamente complexa, e como tal requer a determinação de outros indicadores, especialmente os de natureza interna. Desta forma, embora os dados disponíveis não sejam tão numerosos como o são para as forças externas, considerações acerca da sobrecarga dependem da determinação não somente das forças externas, como também das internas. Tome-se como exemplo, os momentos líquidos calculados para a articulação do joelho em algumas formas de movimento. A mesma hierarquização estabelecida durante a análise das forças externas, pode agora ser procedida à luz das forças internas. Seja em função da análise das forças externas ou das forças internas, torna-se imperativo, conhecer a magnitude das cargas impostas ao aparelho locomotor durante a realização do movimento. Desconsiderá-la durante o planejamento de um programa de atividade física ou de treinamento esportivo poderia gerar condições potencialmente propícias ao surgimento das lesões do aparelho locomotor. Em função de sua potencial capacidade de causar lesões no aparelho locomotor,

muitos poderiam razoar que melhor seria afastar-se da prática sistemática da atividade física. Escolha perigosa. Tão nociva quanto a sobrecarga gerada pela execução de uma atividade mal planejada e ou implementada é a sua ausência. Assim como a sobrecarga mecânica é capaz de causar lesões, a ausência ou aplicação insuficiente de cargas mecânicas é capaz de debilitar de forma significativa o desempenho mecânico de importantes estruturas do aparelho locomotor como os ossos (BERGMANN, BODY, BOONEN, BOUTSEN, DEVOGELAER, GOEMAERE, KAUFMAN, REGINSTER & ROZENBERG, 2011), as articulações (MAGNUSSON, LANGBERG & KJAER, 2010; VAILAS, TIPTON, MATTHES & GART, 1981; VAILAS, ZERNICKE, MATSUDA, CURWIN & DURIVAGE, 1986), e os músculos (AAGAARD, SUETTA, CASEROTTI, MAGNUSSON & KJAER, 2010). A debilidade funcional de tais estruturas terá como consequência imediata a restrição das possibilidades de movimentação do indivíduo, limitando severamente sua possibilidade de executar exercícios físicos e até mesmo, em condições extremas, inviabilizando a realização de movimentos necessários à manutenção de suas atividades diárias. Portanto, as cargas mecânicas geradas pelo movimento humano devem ser encaradas como um estímulo necessário ao desenvolvimento e manutenção das estruturas biológicas que dão suporte ao movimento humano. E como tal, devem ser cuidadosamente controladas para que não atinjam magnitudes excessivas a ponto de causar lesões nas estruturas biológicas, tampouco sejam insuficientes a ponto de impedir a manutenção ou desenvolvimento de suas funções. A partir destas breves considerações, pode-se evidenciar que o planejamento de um programa de atividades físicas e ou esportivas, independente do objetivo ou do público ao qual se destina, deve necessariamente levar em consideração a somatória das forças geradas pelos movimentos a serem utilizados, bem como as possíveis estratégias para minimizá-la. Para tanto, deve-se somar a já bem enraizada preocupação com o estresse fisiológico gerado exercício físico, a preocupação como estresse mecânico por ele gerado. Indubitavelmente, um programa construído a partir de sólidas bases da Biomecânica tem mais chance de lograr êxito do que outro que, desconsiderando tais fatores, baseia-se apenas em aspectos subjetivos.

## Considerações finais e perspectivas da área

Diante do exposto, pode-se considerar que a Biomecânica é uma ferramenta indispensável no planejamento e implementação de programas de atividades físicas voltados à promoção da saúde. Aliada as demais disciplinas que compõem o corpo de conhecimento da Educação Física, a Biomecânica fornece subsídios para que o professor possa buscar estratégias que permitam selecionar os movimentos mais adequados e seguros ao desenvolvimento de habilidades e capacidades físicas. Quanto se pensa na participação esportiva, a otimização do gesto e a segurança assumem igual relevância. Buscar a mais perfeita execução do gesto esportivo, significa em última análise otimizar o desempenho atlético. Permitir que esse desempenho seja alcançado sem comprometer a integridade física do atleta, é condição indispensável ao prolongamento da participação esportiva do atleta. No entanto, mesmo diante das inúmeras possibilidades oferecidas pela Biomecânica, não se pode desconsiderar as expressivas limitações na aplicação dos conhecimentos teóricos. Limitações que assumem diferentes facetas, dentre as quais se destacam o estágio de desenvolvimento da área.

Ainda que a história da Biomecânica seja bastante antiga, não se pode ignorar que uma das condições definitivas para o avanço das pesquisas na área foi o progresso na aquisição e processamento dos sinais biológicos. Como exemplo, pode-se citar as medições dinâmicas dos movimentos de locomoção anteriores à década de 70. Nesse período, pode-se encontrar na literatura esforços isolados para caracterizar tais movimentos a partir de estudos que apresentavam sérias limitações metodológicas. Vale lembrar que a primeira análise dinâmica da corrida, contemplando frequências de amostragem compatíveis com o movimento, amostra representativa e diferentes técnicas de movimento foi publicada num passado não muito distante, no clássico estudo de CAVANAGH e LAFORTUNE (1980). O paradoxal se mostra verdadeiro: a Biomecânica é velha ainda que jovem. E perante sua juventude, são muitas as lacunas existentes. Sem ignorar a grande contribuição da Biomecânica ao longo de sua breve história, torna-se crucial lançar bases que permitam desbravar os muitos caminhos que ainda precisam ser percorridos na busca de um mais amplo entendimento do movimento humano.

## Abstract

The Biomechanics in Physical Education and Sports

The paper discusses the context of biomechanics as an academic discipline that composes the body of knowledge of Physical Education and Sports. This review discusses methodological aspects related to the basis of evaluation of human movement, historical aspects, and perspectives of applying knowledge of biomechanics to the nature of professional practice in Physical Education and Sport. Concerning to professional applications, particular emphasis is given to efforts aiming at the optimization of sports performance, the detection of solutions to improve the quality of life, and the control of injuries.

UNITERMS: Biomechanics; Sports performance; Quality of life; Mechanical overload.

## Referências

- AAGAARD, P.; SUETTA, C.; CASEROTTI, P.; MAGNUSSON, S.P.; KJAER, M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. **Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports**, Copenhagen, v.20, n.1, p.49-64, 2010.
- AMADIO, A.C. **Fundamentos da biomecânica do esporte**: considerações sobre a análise cinética e aspectos neuromusculares do movimento. 1989. 119p. Tese (Livre Docência) - Escola de Educação Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

- \_\_\_\_\_. Metodologia biomecânica para o estudo das forças internas ao aparelho locomotor: importância e aplicações no movimento humano. In: AMADIO, A.C.; BARBANTI V.J. (Orgs.). **A biodinâmica do movimento humano e suas relações interdisciplinares**. São Paulo: Estação Liberdade, 2000a. p.45-70.
- \_\_\_\_\_. Nota do editor. In: CONGRESSO NACIONAL DE BIOMECÂNICA, 4., São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo: SBB, 1992.
- \_\_\_\_\_. Nota do editor. **Revista Brasileira de Biomecânica**, São Paulo, v.1, p.5-6, 2000b.
- AMADIO, A.C.; LOBO DA COSTA, P.H.; SACCO, I.C.N.; SERRÃO, J.C.; ARAÚJO, R.C.; MOCHIZUKI, L.; DUARTE, M. Introdução à análise do movimento humano: descrição e aplicação dos métodos biomecânicos de medição. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v.3, n.2, p.41-5, 1999.
- AMADIO, A.C.; SERRÃO, J.C. **Biomecânica**: trajetória e consolidação de uma disciplina acadêmica. **Revista Paulista de Educação Física**, São Paulo, v.18, p.45-54, 2004. N. esp.
- ANDERSON, G.B.J., ÖRTENGREN, R., NACHEMSON, A., ELFSTRÖM, G. Lumbar disc pressure and myoelectric back muscle activity during sitting. **Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine**, Stockholm, v.3, p.128-33, 1974.
- ARTWATER, A.E. Kinesiology/biomechanics: perspectives and trends. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Washington, v.51, p.193-218, 1980.
- BAUMANN, W. Métodos de medição e campos de aplicação da biomecânica: estado da arte e perspectivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 6., Brasília, 1995. **Anais...** Brasília: SBB, 1995.
- BERGMANN, P.; BODY, J.J.; BOONEN, S.; BOUTSEN, Y.; DEVOGELAER, J.P.; GOEMAERE, S.; KAUFMAN, J.; REGINSTER, J.Y.; ROZENBERG, S. Loading and skeletal development and maintenance. **Journal of Osteoporosis**, New York, p.1-15, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3010667/pdf/JOSTEO2011-786752.pdf>>.
- BOJADSEN, T.W.A.; MOCHIZUKI, L.; SERRÃO, J.C.; MOTA, Y.L.; AMADIO, A.C. Estudo eletromiográfico dos mm. multífidos na coluna lombar e torácica durante a fase de apoio da marcha. **Revista Brasileira de Biomecânica**, São Paulo, v.2, n.2, p.53-60, 2001.
- BRAGA NETO, L. **Características dinâmicas e eletromiográficas do forehand e backhand em tenistas**: uma perspectiva biomecânica para avaliar o desempenho. 2008. Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008
- BRENNECKE, A.; GUIMARAES, T.M.; GAILEY, A.W.; LEONI, R.; CARDACI, M.; OLIVEIRA, A.P.S.; MOCHIZUKI, L.; AMADIO, A.C. ; SERRÃO, J.C. Neuromuscular activity during bench press exercise performed with and without pre-exhaustion method. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign, v.23, p.1933-40, 2009.
- BRUNIERA, C.A.V. **Estudo biomecânico da locomoção humana**: análise de variáveis descritivas para o andar e correr. 1994. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Universidade de São Paulo, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
- CAPOZZO, A.; MARCHETTI, M.; TOSI, V. **Bioloemotion**: a century of research using moving pictures. Rome: Promograph, 1992.
- CAVANAGH, P.R.; LAFORTUNE, M.A. Ground reaction forces in distance running. **Journal of Biomechanics**, New York, v.13, n.5, p.397-406, 1980.
- CERQUEIRA SOARES, A.S.O. **Análise de parâmetros biomecânicos da locomoção de atletas amputados transtibiais**. 2005. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- DAINTY, D.A.; NORMAN, R.W. **Standardizing biomechanical testing in sports**. Champaign: Human Kinetics, 1987.
- DE LUCA, C.J. The use of surface electromyography in biomechanics. **Journal of Applied Biomechanics**, Champaign, v.13, p.135-63, 1997.
- DIEM, L. **Sportfoerderung in Brasilien**: Bericht ueber die Foerderung des Sports in dernFoederativen Republik Brasilien durch die Bundesrepublik Deutschland 1963 bis 1982. Sankt Augustin: Hans Richarz, 1983.
- GREGOR, R.J.; KOMI, P.V.; JÄRVISEN, M. Achilles tendon forces during cycling. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.8, n.9, p.9-14, 1987.
- HAMNER, S.R.; SETH, A.; DELP, S.L. Muscle contributions to propulsion and support during running. **Journal of Biomechanics**, New York, v.43, p.2709-16, 2010.
- KOMI, P.V. Slected issues in neuromuscular performance. In: HÖGFORS, C.; ANDRÉASSON, G. (Eds.). **Proceedings of the Ninth Biomechanics Seminar**. Göteborg: [s.ed.], 1995. p.120-33.
- KOMI, P.V.; SALOMEN, M.; JÄRVISEN, M.; KOKKO, O. In vivo registration of aquilles tendon forces in man: methodological development. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.8, n.3, p.41-50, 1987.

- LIMA, C.S. **Comparação entre dois protocolos de reabilitação após reconstrução do ligamento cruzado anterior através de análise biomecânica.** 2006. Tese (Doutorado em Educação Física) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- LOBO DA COSTA, P.H. **Aspectos biomecânicos da locomoção infantil:** grandezas cinemáticas no andar e no correr. 2000. Tese (Doutorado em Educação Física) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- MAGNUSSON, S.P.; LANGBERG, H.; KJAER, M. The pathogenesis of tendinopathy: balancing the response to loading. **Nature Reviews Rheumatology**, v.6, n.5, p.262-68, 2010.
- MOCHIZUKI, L.; FRANCIULLI, P.M.; BIONGIARI, A.; ARAÚJO, R.C.; SERRÃO, J.C.; AMADIO, A.C. Análise do impacto das publicações do Congresso Brasileiro de Biomecânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOME-CÂNICA, 11., João Pessoa, 2005. **Anais...** João Pessoa: SBB, 2005.
- MUNRO, C.F.; MILLER, D.I.; FUGLEVAND, A.J. Ground reaction forces in running: a reexamination. **Journal of Biomechanics**, New York, v.20, n.3, p.147-55, 1987.
- MOTA, Y.L.; AMADIO, A.C.; HERNANDEZ, A.J.; DUARTE, M. Análise biomecânica da locomoção de indivíduos com e sem lesão no ligamento cruzado anterior. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Paulo, v.6, n.1, p.9-16, 2002.
- NACHEMSON, A.L.; ELFSTRÖM, G. Intravital dynamic pressure measurements in lumbar discs: a study of common movements, maneuvers and exercises. **Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine**, Stockholm, v.1, p.1-40, 1970. Supplement.
- PINHO, J.P.; FONSECA, M.C.O.; OLIVEIRA, G.; VILLASBOAS, J.P.; SERRÃO, J.C.; AMADIO, A.C.; SOUSA, F.M. Análise cinemática da marcha do indivíduo com Síndrome de Down adulto: a influência da obesidade no padrão de marcha. **Revista Brasileira de Biomecânica**, São Paulo, v.9, p.138-47, 2008.
- RAB, G.T. Human locomotion. In: ROSE, J.; GAMBLE, J.G. **Human walking.** Baltimore: Williams & Wilkins, 1994. p.101-21.
- SACCO, I.C.N.; AMADIO, A.C. Influence of the diabetic neuropathy on the behavior of electromyographic and sensorial responses in treadmill gait. **Clinical Biomechanics**, Bristol, v.18, p.426-434, 2003.
- SERRÃO, J.C.; AMADIO, A.C. Análise de características dinâmicas do andar em idosos e sua influência na seleção de atividades físicas. In: Conference of EGREPA, 1., Oeiras, 19994. **Proceedings...** Oeiras: EGREPA, 1994. p.438-45.
- SOARES, R.J. **Análise de parâmetros biomecânicos na locomoção de crianças portadoras de pé torto congênito.** 2007. Tese (Doutorado em Educação Física) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- SODERBERG, G.L. **Kinesiology:** application to pathological motion. Baltimore: Williams & Wilkins, 1986.
- VAILAS, A.C.; TIPTON, C.M.; MATTHES, R.D.; GART, M. Physical activity and its influence on to repair process of medial collateral ligaments. **Connective Tissue Research**, London, v.9, p.25-31, 1981.
- VAILAS, A.C.; ZERNICKE, R.F.; MATSUDA, J.; CURWIN, S.; DURIVAGE, J. Adaptation of rat knee meniscus to prolonged exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.60, p.031-4, 1986.
- WILKE, H.J.; NEEF, P.; CAIMI, M.; HOOGLAND, T.; CLAES, L.E. New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. **Spine**, Philadelphia, v.24, n.8, p.755-62, 1999.
- WINTER, D.A. **Biomechanics and motor control of human movement.** New York: John Wiley, 1990.
- WINTER, D.A.; BISHOP, P.J. Lower extremity injury: biomechanical factors associated with chronic injury to the lower extremity. **Sports Medicine**, Auckland, v.14, n.3, p.149-56, 1992.

ENDEREÇO

Júlio Cerca Serrão  
Escola de Educação Física e Esporte - USP  
Av. Prof. Mello Moraes, 65  
05508-030 - São Paulo - SP - BRASIL  
e-mail: jcserrao@usp.br