

Sônia Cavalcanti Corrêa

Fundamentos da biomecânica

O corpo
em movimento



Editora
Mackenzie

Fundamentos da biomecânica

O corpo
em movimento



9

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Reitor: Benedito Guimarães Aguiar Neto

Vice-reitor: Marcel Mendes

COORDENADORIA DE PUBLICAÇÕES ACADÊMICAS

Coordenadora: Helena Bonito Pereira

EDITORA DA UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

Conselho Editorial

Helena Bonito Pereira (*Presidente*)

José Francisco Siqueira Neto

Leila Figueiredo de Miranda

Luciano Silva

Maria Cristina Triguero Veloz Teixeira

Maria Lucia Marcondes Carvalho Vasconcelos

Moises Ari Zilber

Valter Luís Caldana Júnior

Wilson do Amaral Filho

COLEÇÃO CONEXÃO INICIAL

Diretora: Maria Lucia Marcondes Carvalho Vasconcelos

Sônia Cavalcanti Corrêa

Fundamentos da biomecânica

O corpo
em movimento

© 2014 Sônia Cavalcanti Corrêa

Todos os direitos reservados à Editora Mackenzie.
Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida por qualquer meio ou forma sem a prévia autorização da Editora Mackenzie.

Coordenação editorial: Andréia Ferreira Cominetti

Capa: O Capista

Diagramação: Acqua Estúdio Gráfico

Preparação de texto: Carlos Villarruel

Revisão: Cláudia Silveira e Hebe Lucas

Ilustrações: Alex Silva

Fotos: Igor Aparecido de Andrade

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Corrêa, Sônia Cavalcanti

Fundamentos da biomecânica; o corpo em movimento /
Sônia Cavalcanti Corrêa. — 1. ed. — São Paulo: Editora
Mackenzie, 2014. — (Coleção conexão inicial; v. 9)

Bibliografia

ISBN: 978-85-8293-041-0

1. Biomecânica 2. Mecânica humana 3. Movimento I. Título.
II. Série.

14-06125

CDD-612.76

Índices para catálogo sistemático:

1. Homem: Movimento: Funções motoras: Ciências médicas	612.76
2. Mecânica humana: Funções motoras: Ciências médicas	612.76
3. Movimento humano: Bases biomecânicas:	
Fisiologia humana: Ciências médicas	612.76

EDITORA MACKENZIE

Rua da Consolação, 930

Edifício João Calvino

São Paulo – SP – CEP: 01302-907

Tel.: (5511) 2114-8774

editora@mackenzie.com.br

www.mackenzie.br/editora.html

Como adquirir o livro:

Livraria Mackenzie

Tel.: (5511) 2766-7027

livraria@mackenzie.br

Livraria virtual

www.livraria.mackenzie.br

*Dedico este livro ao grande entusiasta da pesquisa em Ciências do Movimento, **Dr. Maurício Leal Rocha**, fundador do Laboratório de Fisiologia do Exercício (Labofise) da Escola de Educação Física e Desportos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), pesquisador e amigo que guiou os meus primeiros passos na pesquisa e no ensino da biomecânica. E também a todos que desejam utilizar a biomecânica como um instrumental básico na análise de qualquer movimento.*

*Agradeço a todos que tornaram este sonho realidade: aos amigos, pesquisadores e professores de biomecânica, leitores iniciais desta obra – **Paula Hentschel Lobo da Costa, Rachel Saraiva Belmont e Luis Mochizuki** — que com seus palpites e correções fizeram deste texto uma leitura mais dinâmica e mais didática;*

*aos companheiros e amigos do Laboratório de Ciências do Estudo do Movimento (LACEM) da Universidade Presbiteriana Mackenzie, liderados pela minha ex-aluna, ex-estagiária, atual técnica do laboratório e para sempre amiga **Ana Paula Xavier**, que se organizaram para produzir as fotos de laboratório e de movimento apresentadas neste livro;*

*aos **meus alunos, em geral**, que ao longo destes anos de docência com suas dúvidas e perguntas me tornaram uma professora cada vez mais preocupada em trazer a biomecânica para perto da realidade deles;*

*à **Universidade Presbiteriana Mackenzie**, que com sua Coleção Conexão Inicial abriu as portas para os seus professores transformarem as aulas em livros, permitindo a divulgação para a comunidade acadêmica em geral;*

*e, finalmente, à **minha família e a Deus**, que me dão o apoio e a tranquilidade para prosseguir nesta caminhada, tanto acadêmica quanto pessoal, na tentativa de me tornar uma pessoa melhor.*

SUMÁRIO

Apresentação	9
1 Introdução à biomecânica	11
Definição de biomecânica	12
Objetivos da biomecânica	13
Formas de análise em biomecânica	21
Terminologia básica	27
Resumo do capítulo	37
Atividades propostas	38
2 Princípios básicos do movimento	41
Primeira lei de Newton	42
Segunda lei de Newton	47
Terceira lei de Newton	57
Atrito	60
Resumo do capítulo	65
Atividades propostas	66
3 Aplicação de força no movimento, em diferentes situações	69
Quantidade de movimento no movimento linear	69
Impulso no movimento linear	74
Relação quantidade de movimento e impulso no movimento linear	75
Torque	80
Relação quantidade de movimento e impulso no movimento angular	93

Equilíbrio	96
Resumo do capítulo	99
Atividades propostas	100
Referências	101
Bibliografia comentada	105
Glossário	107
Índice	109

APRESENTAÇÃO

A dificuldade de aplicação dos conhecimentos originários da biomecânica à prática profissional pode ser especialmente percebida na educação física escolar, mas também está presente nos profissionais que lidam com o alto nível. Ainda na universidade, é possível identificar que os graduandos de Educação Física, quando deparam com a biomecânica, demonstram, ao mesmo tempo, sentimentos de medo e incerteza, o que vem da própria definição de biomecânica como sendo a aplicação da física no movimento humano. Os alunos acabam sentindo esse medo até pelo fato de não terem boas experiências com a física na educação básica e também porque, na maioria das vezes, não conseguem contextualizar esses conhecimentos. Em várias situações, ensina-se a física aplicada e não a biomecânica, em que se esperaria uma ênfase na mecânica do movimento. Geralmente, parte-se das equações e se usa o movimento para exemplificá-las, quando o importante seria, a partir de um problema prático no movimento, utilizar as equações e os conceitos para chegar a conclusões vinculadas a erros ou melhorias a serem implementadas no movimento.

Na integração da biomecânica com a prática, o esporte de elite tem sido priorizado. No entanto, há várias razões para estudar a biomecânica na saúde da comunidade, pois existe um número cada vez maior de iniciativas para levar as pessoas a se tornar ativas e se mover. Mas, para isso, é importante que se movam corretamente, pois o uso da técnica correta pode levar a um aumento do prazer e da participação, reduzindo o número de lesões que podem ocorrer com a população inativa.

O conhecimento básico dos princípios que regem o movimento permite que o professor/técnico leve os seus alunos de uma forma

mais direta e precisa ao padrão correto de movimento. Já esse conhecimento transmitido pelo professor aos alunos, de qualquer nível, permite que estes se apropriem dele e o apliquem em sua vida diária, em qualquer movimento que venham a executar.

Com base no exposto, sem desconsiderar a importância da pesquisa básica, o objetivo deste livro é priorizar a produção de conhecimentos aplicados que aproximem a biomecânica do ambiente de intervenção profissional.

A autora
em julho de 2014.

Introdução à biomecânica

Em uma análise de movimento, o ideal é integrar várias disciplinas acadêmicas, pois os problemas são multifacetados. As diversas áreas do saber podem e devem ser integradas, de modo que possam contribuir para o desenvolvimento e o aprimoramento dos indivíduos em relação à sua forma de ver o mundo e viver nele. Essa relação interdisciplinar supera a visão restrita de mundo e proporciona a compreensão da complexidade da realidade. Knudson e Morrison (2001) descrevem bem a natureza interdisciplinar da análise qualitativa do movimento, apresentando em detalhes como pode ser feita a integração de várias subdisciplinas, como biomecânica, desenvolvimento motor, pedagogia, aprendizagem motora, fisiologia etc. Não será possível neste primeiro livro fazer essa integração na análise qualitativa, mas acredito que essa deva ser a tendência a ser seguida pelos profissionais interessados em fazer a integração real com a prática.

A biomecânica, portanto, é uma das ferramentas de análise do movimento, cujo propósito é alcançar a eficiência do movimento, isto é, realizar o movimento correto com uma melhor relação entre gasto metabólico e gasto mecânico. Mas o que significa mover-se corretamente? Seguir as regras predeterminadas para os movimentos esportivos básicos? Não. Mover-se corretamente significa compreender e realizar a sequência correta de transferências de velocidade entre os diversos segmentos corporais para uma habilidade básica (por exemplo, arremessar) com um gasto menor de energia mecânica, utilizando uma postura específica que estabeleça o equilíbrio corporal e leve a um número menor de lesões.

Entretanto, para que o aluno/atleta aprenda isso, é necessário que o professor/técnico conheça, *a priori*, os princípios mínimos que devem ser aplicados aos movimentos básicos e saiba como levar o indivíduo a descobrir esses conhecimentos e incorporá-los à sua vida diária. Só assim esse conhecimento será útil para ele. Mas o que é biomecânica e quais são os seus objetivos?

DEFINIÇÃO DE BIOMECÂNICA

Podemos partir de definições mais abrangentes como:

- A biomecânica descreve, analisa e modela os sistemas biológicos, com o propósito de explicar como as formas de movimento dos corpos dos seres vivos acontecem na natureza a partir de parâmetros cinemáticos e dinâmicos.

Essa definição serve para qualquer profissional de biomecânica, como o dentista que estuda as forças que devem ser exercidas pelo aparelho dental sobre os dentes dos indivíduos, de modo a colocá-los no lugar correto; o ortopedista que analisa as forças exercidas sobre os ossos de um indivíduo, de modo a recomendar uma prótese; o fisioterapeuta que estuda as forças a serem exercidas pelos aparelhos de tração, para levar a uma recuperação de uma determinada amplitude articular; o biólogo que estuda as forças e energias geradas por animais, para que estes possam se locomover; o engenheiro que estuda as forças geradas em diversos movimentos, de modo a adaptar o mobiliário. Todos são biomecânicos.

Uma definição mais específica voltada para os profissionais de Educação Física pode ser:

- A biomecânica estuda os movimentos (cinemática) e o que os gera (força cinética) a partir dos parâmetros da mecânica.

Pela própria definição, a biomecânica está vinculada à física. No entanto, ainda hoje existem cursos em que a biomecânica tem uma abordagem muito mais vinculada à anatomia funcional e outros em que se fala puramente da mecânica. Isso se deve ao fato de a biomecânica como disciplina ter sido introduzida nas décadas de 1960 e 1970 nos cursos de graduação nos Estados Unidos, onde já se estudava, desde o início, a cinesiologia (HAMILL; KNUTZEN, 1999). A cinesiologia fundamentalmente aborda a eficiência do movimento a partir do ponto de vista anatômico, estudando o sistema musculoesquelético (força) e o movimento articular que é gerado. Ambas as abordagens são importantes e, na realidade, complementares na análise do movimento (Figura 1), mas este livro irá tratar principalmente da mecânica aplicada ao movimento.

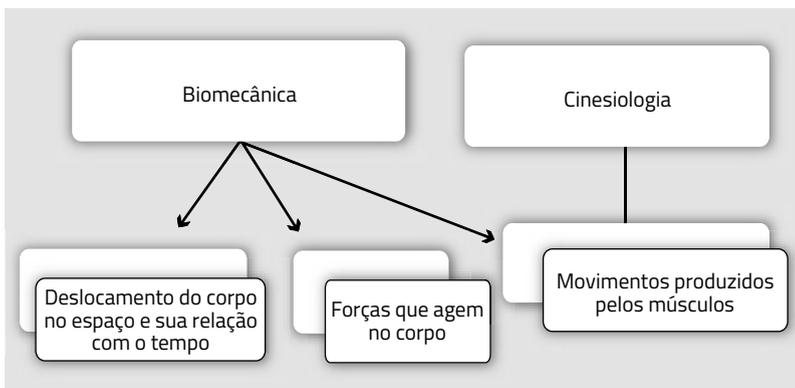


Figura 1 – Tipos de análise do movimento.
Fonte: Elaborado pela autora.

OBJETIVOS DA BIOMECÂNICA

Avaliação diagnóstica do movimento

Para estudar o padrão de movimento, o professor/técnico deve inicialmente fazer uma avaliação para poder então sugerir qualquer

modificação. Essa avaliação é muito importante para definir o foco principal de onde foi gerado o erro. Às vezes, o profissional iniciante vê o efeito, mas não percebe a causa. Um exemplo interessante vem da natação. Um erro comum é o nadador iniciante apresentar um nado em que oscila muito o quadril, o chamado nado “rebolado”. Uma das primeiras correções sugeridas, e focada no membro inferior, é aumentar a frequência de pernada, o que ajuda, mas não resolve, pois o erro não está nos membros inferiores. O erro pode ser ocasionado por dois parâmetros no membro superior: cruzar o braço além da linha média do tronco ou virar a cabeça demais para o lado que o nadador não respira. Trata-se de um exemplo simples de erro cometido em um diagnóstico falho do movimento.

Um erro comum de avaliação é enfatizar o resultado negativo apresentado pelo executante sem dar uma dica específica de onde está o problema. Com relação ao exemplo mencionado, seria profissional dizer que o aprendiz está “rebolando”, mas não indicar o que este deve alterar. Como o aprendiz vai alterar o movimento?

Em uma avaliação diagnóstica de um movimento qualquer, o profissional deve ser capaz de descrever o movimento correto (CARR, 1998). É importante que isso seja feito por escrito, pois muitas vezes achamos que sabemos o movimento, mas, na realidade, só temos claro algumas fases dele. Essa descrição deve ser feita por fases e com os elementos mais importantes da ação (elementos-chave) sublinhados, como o exemplo do saque por baixo descrito por Crisóstomo (2005, p. 92, grifo nosso).

a) Fase preparatória: Em pé, de frente para a quadra adversária, o atleta deverá se posicionar com o tronco ligeiramente inclinado à frente, com as pernas em afastamento antero-posterior a perna contrária ao lado do braço, que irá sacar, deverá estar à frente, num distanciamento lateral mais ou menos igual à largura dos ombros. O peso do corpo estará recaindo

mais sobre a perna de trás. A bola deverá ser segura com a mão que não irá sacar, de modo que esteja quase que totalmente estendido. O braço que golpeará a bola estará estendido para trás.

b) Fase de execução: A bola será lançada para cima, à frente do corpo, a uma altura de, no máximo, 30 cm, e será golpeada com o braço contrário daquele que a lançou, que realizará todo o movimento em direção à bola estando estendido. O peso do corpo é transferido todo para a perna da frente. A mão, ao golpear a bola, tomará um posicionamento arredondado, com os dedos unidos e quase estendidos. A contração da musculatura da mão tornará a área de impacto mais sólida para facilitar o envio da bola a distâncias maiores.

c) Término do movimento: Com o golpe na bola e a transferência do peso do corpo para a perna da frente, há uma tendência natural da perna de trás ser lançada para a frente, que deve ser aproveitada para o passo que introduzirá o sacador na quadra de jogo.

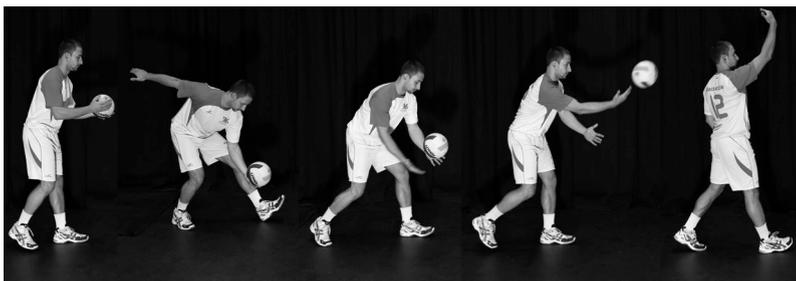


Figura 2 – Sequência da execução do saque por baixo¹.

A proposta de dividir o movimento em fases é importante para que o profissional possa se fixar em pontos específicos do que pretende

¹ Crédito das fotos constantes no livro: Igor Aparecido de Andrade.

analisar, de modo a organizar mentalmente a sequência correta e localizar o erro mais facilmente.

No caso do saque por baixo, suponhamos que o aluno não consiga passar a bola para o outro lado da quadra. Na tentativa de corrigir um movimento, o técnico faz geralmente as seguintes recomendações: “Aplique mais força na bola” ou “Rode o braço com mais velocidade”. Essas dicas provavelmente não levarão à correção do movimento. Quais são então as causas do erro? Esse deve ser o nosso objetivo na avaliação das fases.

O erro pode estar na fase de preparação com o não afastamento anteroposterior da perna. Esse erro impossibilita o uso completo da velocidade das articulações do ombro e do quadril, e, com isso, ocorre uma diminuição da velocidade da mão que toca na bola e consequentemente da velocidade de saída da bola propriamente dita. Já na fase de execução, tanto a extensão do joelho de trás como o balanço do membro superior à frente interferem diretamente na velocidade obtida, assim como o início do passo para dentro da quadra, que fica caracterizado na fase de término. A função diagnóstica do profissional é identificar em que fase o indivíduo se afastou do padrão eficiente de movimento, mas, mais do que isso, é importante saber por que essas ações interferem diretamente na *performance* final. A ferramenta que possibilita esse conhecimento aplicado ao movimento é a biomecânica.

Hay (1981) e Hay e Reid (1985) propuseram um sistema de análise qualitativa do movimento baseado na análise biomecânica que se divide em quatro passos básicos: 1. o desenvolvimento de um modelo de blocos que mostre a relação entre os fatores que produzem o resultado, 2. a observação da *performance* e identificação dos erros, 3. a avaliação da importância relativa desses erros e 4. o *feedback* para o executante.

Um exemplo prático apresentado por esses autores é a análise do salto em altura. A partir do resultado esperado – a altura alcan-

çada no salto em altura –, foi feito um diagrama de blocos, com a altura a ser alcançada pelo atleta dividida em três fases: a altura na impulsão; a altura que se eleva a partir da impulsão até o pico do salto (fase de voo); e a diferença entre a altura máxima alcançada pelo atleta e a altura do sarrafo. Para cada fase, determinaram os parâmetros mecânicos que interferiam na altura alcançada. Por exemplo, na fase de voo os parâmetros foram velocidade vertical na impulsão e resistência do ar. Com base nisso, decompueram a velocidade vertical nos parâmetros que interferiam nela, até chegarem às várias velocidades articulares que geram a velocidade do indivíduo. Na Figura 3, pode-se observar um diagrama de blocos para a análise do rodante em ginástica artística, como proposto por Simões (2006).

A avaliação diagnóstica não é fundamental apenas no ambiente escolar/clube, mas também para o profissional que trabalha em academias, para aquele que lida com ginástica laboral e para o *personal trainer*. É difícil um indivíduo ser um excelente professor de todos os movimentos que podem ser englobados pela educação física, mas, por meio de um bom livro de descrição dos movimentos e com o conhecimento básico dos conceitos da mecânica, o profissional poderá corrigir movimentos de forma consciente mesmo não sendo um *expert*.

Estudo da sobrecarga

A sobrecarga é fundamental para o desenvolvimento do indivíduo. Se uma pessoa ficar muito tempo doente em uma cama, isto é, não se expuser à sobrecarga natural gerada pelo andar, ela terá dificuldades na locomoção e certamente precisará de ajuda de um profissional da saúde. Às vezes, as pessoas não têm consciência do valor da sobrecarga gerada por movimentos normais do nosso dia a dia. Por exemplo: uma pessoa parada cuja massa é de 70 kg estará exposta à aceleração da gravidade (g em torno de 10 m/s^2) e, portanto, terá um peso de 700 N ($P = m \cdot g$). Se estiver apoiada igualmente

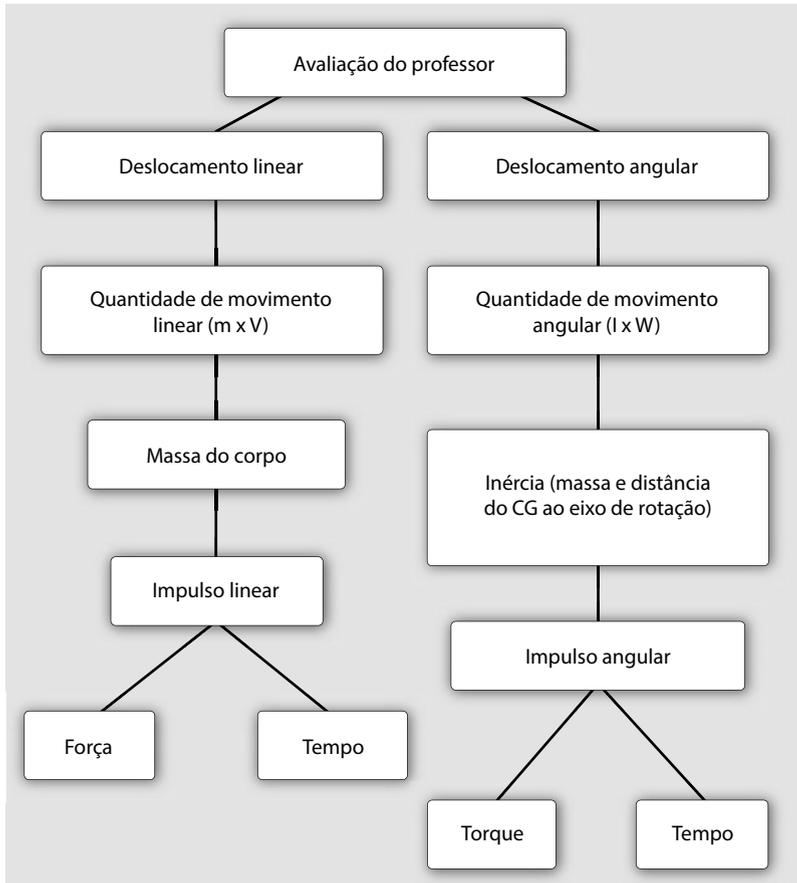


Figura 3 – Estrutura em blocos do rodante.

Fonte: Simões (2006).

em ambas as pernas, exercerá uma força de 350 N em cada contato com o solo e naturalmente sofrerá a ação de uma força igual e contrária no mesmo ponto. No entanto, a partir do momento em que essa pessoa se desloca, isto é, anda, a força de reação do solo não depende mais somente da aceleração da gravidade, mas passa a sofrer também a influência da aceleração dos segmentos. Quanto mais veloz for o movimento, maior será a ação sofrida pelo indivíduo. Numa

simples caminhada diária, esses valores representam em torno de 1,2 a 1,5 vez o peso corporal. Nos saltos, chegam a dez vezes, e, no salto triplo, na segunda batida do pé no solo, alcançam 18 vezes.

Portanto, um indivíduo de 70 kg de massa, ao andar em velocidade confortável, estará recebendo, no mínimo, um impacto em torno de 840 N (1,2 vez o peso corporal) em cada batida de pé no solo.

Esse é um conhecimento fundamental para qualquer profissional do movimento, pois, se a sobrecarga for maior do que o suportável pela estrutura musculoesquelética do indivíduo, ocorrerá a fratura. Essa é também uma das razões por que se fala que o atleta de esporte de alto nível não é um ser saudável. Como ele lida com altos impactos de forma sistemática, em alguma hora acontecerá a lesão. É só uma questão de retardar o seu aparecimento. Como fazer isso?

Primeiro podemos pensar no atleta quando criança ainda na escola. Deve existir uma preocupação do professor em alertar esse atleta em potencial sobre a importância do fortalecimento muscular. Quanto mais rápido for o indivíduo, tanto de membros superiores como de inferiores, mais deverá ser cobrado dele em termos de execução de exercícios de fortalecimento, pois a musculatura deverá ser capaz de suportar cargas muito grandes no choque com qualquer objeto, independentemente de ser uma bola, o chão ou o corpo do adversário.

Para muitos, o choque da mão ou do pé com a bola não é tão preocupante quanto a queda no solo. Mas, se pensarmos que a bola pode sair com uma velocidade de até 200 km/h em um saque de tênis e que a força exercida sobre a bola, pela lei da ação e reação, retorna para o indivíduo, especificamente para o membro superior, se a pessoa que faz esses movimentos não estiver com um bom padrão de alinhamento do corpo, poderá sofrer lesões de punho, cotovelo ou ombro.

Para as crianças em geral, quando se exige a execução de movimentos muito velozes que levem a quedas, deve haver uma preocupação em colocar colchões que amortecem a queda. Por exemplo:

quando se cobra a execução de um salto em distância, dentro de uma quadra, se houver um estímulo à competição, o uso de colchões será primordial. Além disso, devem-se ensinar, desde a tenra idade, exercícios de amortecimento, como flexionar os joelhos na queda, rolar quando cair e, ao receber uma bola, deixar o segmento acompanhar a tendência do movimento sem freadas bruscas.

Quanto aos adultos, deve existir uma ênfase no trabalho de musculação, tanto para os atletas quanto para os sedentários que desejam executar uma atividade explosiva. Muitas pessoas não gostam do trabalho de musculação, e os atletas em especial relutam muito em realizá-lo. Portanto, é função do profissional de educação física alertá-los sobre o valor da sobrecarga nas articulações, oferecer dados da literatura e apresentar exemplos sobre a vida curta de determinados atletas extremamente velozes que não se preocuparam com isso. No caso de sedentários que resolvem correr ou praticar exercícios velozes, sem preparo anterior adequado, é fundamental orientá-los sobre o aparecimento de microlesões musculoesqueléticas que poderão provocar, caso pisem em um pequeno buraco, o rompimento de vários ligamentos ou músculos.

Recomendação para melhoria do movimento

Após uma avaliação diagnóstica bem-feita e um estudo da sobrecarga a que o corpo em movimento está exposto, passa-se à fase de recomendação para a melhoria do movimento. Nessa fase, existe uma ligação clara entre a biomecânica, os conceitos da aprendizagem motora e de desenvolvimento motor, a pedagogia e a psicologia. Essa integração é muito bem descrita por Knudson e Morrison (2001), que apresentam vários exemplos práticos de correções baseadas numa avaliação biomecânica, que levam em conta o estágio típico de desenvolvimento em que o indivíduo está, utilizam um plano de ensino apoiado no fornecimento adequado de correções e procuram entender a motivação do indivíduo para a execução do movimento.

Desenvolvimento de métodos

A partir da compreensão do movimento, é possível propor alterações tanto na mecânica do movimento quanto nos equipamentos envolvidos em sua execução. Por exemplo: é o biomecânico que está envolvido nas alterações propostas nos blocos de saída de natação e atletismo, assim como na determinação de novos tênis específicos que auxiliam na *performance*, novos barcos a remo que deslizam melhor, novas varas para salto com vara que são mais leves e com maior elasticidade, e assim por diante.

Há ainda o desenvolvimento de novos equipamentos e de novas sequências pedagógicas, as quais são baseadas não apenas no conceito do movimento mais fácil para o mais complexo, mas também na aplicação dos conceitos mecânicos envolvidos na sua execução.

FORMAS DE ANÁLISE EM BIOMECÂNICA

De acordo com Amadio (2000), os métodos utilizados pela biomecânica para abordar as diversas formas de movimento são: cinemetria, dinamometria, antropometria e eletromiografia.

Cinemetria

A forma mais básica de análise de movimento é a cinemetria ou o uso da filmagem. Atualmente, o acesso a uma câmera de filmagem é muito fácil, e o valor desse aparelho como *feedback* para os alunos ou atletas é indiscutível. Em Knudson e Morrison (2001), há um capítulo dedicado à utilização do videoteipe na análise qualitativa. Para isso, pode-se utilizar desde a câmera de um celular até diversas câmeras posicionadas de modo a permitir observar todos os ângulos do movimento. Em geral, para uma análise dos segmentos e articulações, fazem-se algumas marcações em pontos anatômicos específicos do indivíduo (Figura 4a).

Após a digitalização das coordenadas dos pontos de cada imagem do movimento, os dados são armazenados. Nesse momento da análise, o indivíduo passa a ser considerado “um boneco de linhas” (Figura 4b), e são feitos cálculos de ângulos articulares, deslocamentos das marcas, velocidades lineares e angulares, isto é, de qualquer variável cinemática.

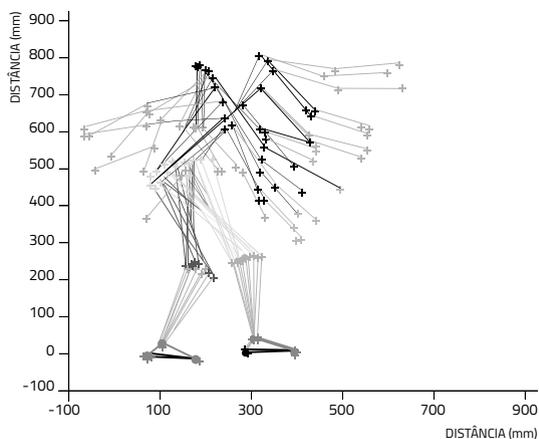


Figura 4 – (a) Corredor com marcações em pontos anatômicos específicos.
 (b) Boneco de linhas representando o saque por baixo no voleibol.

Fonte: Elaborado pela autora.

Devido à complexidade no manuseio, os outros métodos não são muito utilizados no cotidiano dos profissionais de educação física, mas cabe aqui uma breve descrição de cada método.

Dinamometria

Pela dinamometria, pode-se obter o valor da força externa no contato. A forma mais comum de equipamento para medir esse tipo de força é a plataforma de força, a qual fornece um sinal elétrico proporcional à força aplicada. Uma das mais comuns é a plataforma de força AMTI, capaz de medir as forças, os momentos e o deslocamento do centro de pressão em torno dos eixos x, y e z (Figura 5).

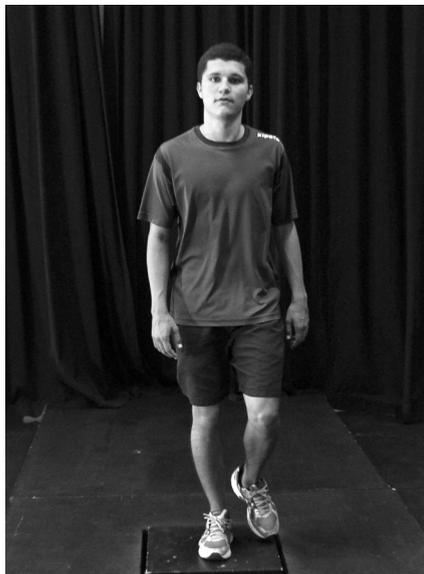


Figura 5 – Apoio simples no andar sobre uma típica plataforma de força.

Trata-se de um método muito importante na avaliação da sobrecarga nas articulações e na medida das forças necessárias para a produção dos movimentos. A Figura 6 mostra um exemplo da variação das forças vertical e horizontal na corrida de velocidade.

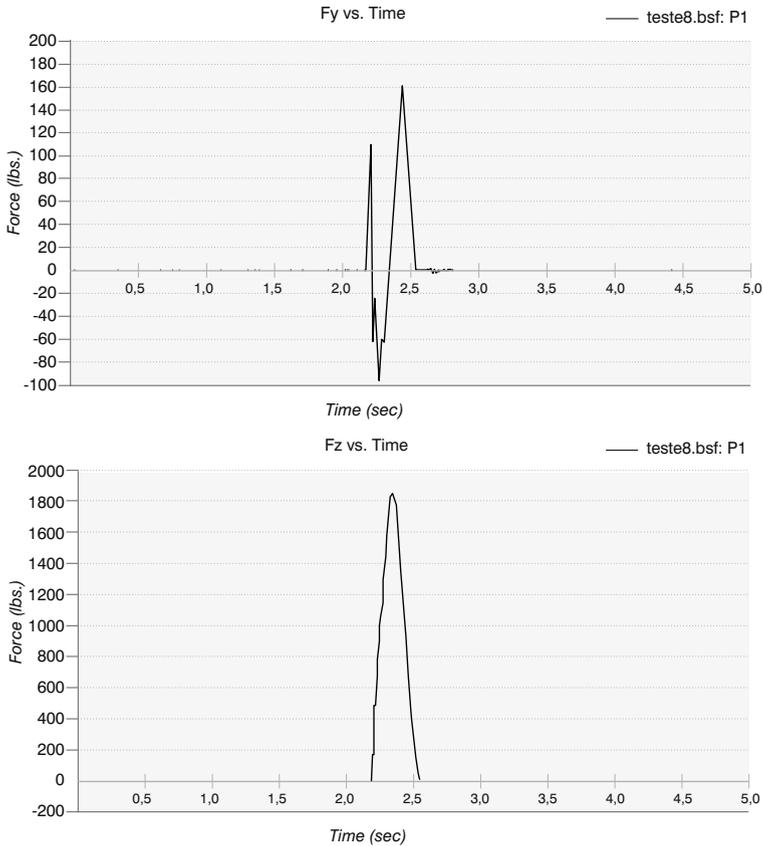


Figura 6 – Componentes da força de reação do solo (a) horizontal e (b) vertical na corrida de velocidade.

Fonte: Elaborado pela autora.

Antropometria

Por meio de modelos antropométricos, é possível, com base no peso e na altura do indivíduo, calcular comprimento, massa, centro de gravidade dos segmentos e centro de gravidade do corpo como um todo. O centro de gravidade (CG) é definido como o ponto em que se concentra o efeito da gravidade sobre a massa do segmento ou, quando especificado, sobre a massa total do indivíduo.

Existem diversos modelos teóricos, mas, na Figura 7, podemos observar dois modelos diferentes: métodos de Dempster (WINTER, 1987) e de radioisótopos (ZATSIORSKY, 1983).

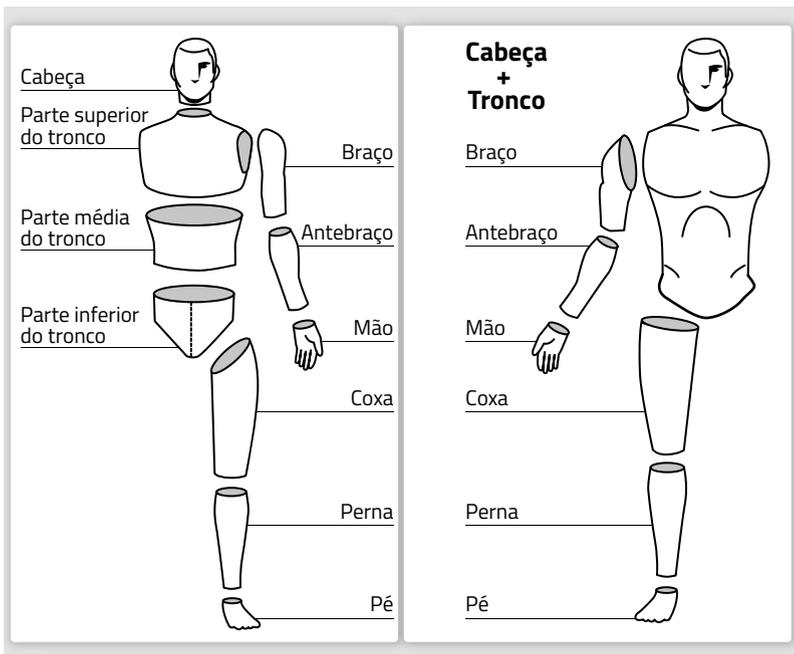


Figura 7 – Modelos antropométricos: (a) método de radioisótopos e (b) método de Dempster.

Fontes: Redesenhado a partir de Corrêa (1996).*

Os dados percentuais para a massa (%*m*) e o raio do centro de gravidade (%*l*) do segmento, segundo Zatsiorsky (1983), são apresentados a seguir para o segmento cabeça.

%*l* %*m*

{ 49,98; 6,94;} /* SEG_CABEÇA */

* As ilustrações e redesenhos constantes no livro são de Alex Silva.

Isso quer dizer que o centro de gravidade da cabeça está situado praticamente no centro da cabeça (a 49,98% do vértice) e a massa é de quase 7% da massa corporal total.

Como os percentuais variam de acordo com o modelo utilizado, a escolha do modelo é fundamental quando se realiza uma análise biomecânica mais complexa. Além disso, existem modelos antropométricos para populações específicas, como crianças e idosos.

Eletromiografia

A eletromiografia (EMG) é o estudo da função muscular por meio do registro do sinal elétrico do músculo. O registro é obtido pelo uso de eletrodos de superfície ou de agulha, conforme a necessidade. Para movimentos do esporte em geral, a EMG de superfície permite que o indivíduo seja avaliado de forma indolor e não invasiva, e, por isso, é o método mais utilizado. A Figura 8 apresenta um eletromiógrafo acoplado a um computador.



Figura 8 – Uso de um eletromiógrafo típico para coleta de dados na execução de uma manchete.

O sinal de EMG é baseado nos potenciais de ação resultantes da despolarização e repolarização que ocorrem nas membranas das fibras musculares. Pode-se dizer que o sinal de EMG reflete diretamente as características de recrutamento e disparo das unidades motoras dentro do músculo analisado (KONRAD, 2005). Um sinal bruto de EMG seguido de um processamento adicional, como sugerido por Marchetti e Duarte (2006), pode ser visto na Figura 9.

Como no caso da antropometria, deve-se utilizar o processamento sugerido pelos autores que trabalham na mesma área, pois, do contrário, não é possível comparar os resultados obtidos.

TERMINOLOGIA BÁSICA

Movimentos linear e angular

Quando se analisa o movimento do corpo humano ou de um implemento (bola, por exemplo), pode-se estudar o movimento linear (de translação) ou angular (rotação) desse corpo. O movimento linear refere-se ao deslocamento de um ponto no espaço, ao longo de uma trajetória reta ou curva. Em vários movimentos de saltos e quedas, o foco de análise pode ser somente o movimento linear, em que primordialmente, em biomecânica, se estuda o deslocamento e velocidade do CG do indivíduo (Figura 10).

O movimento angular supõe sempre a existência de um eixo em torno do qual ocorre o movimento de rotação. O giro gigante na barra é um exemplo de movimento angular, em que o corpo todo gira em torno do apoio na barra (Figura 11b), sendo este um eixo externo. Quando se pensa nas articulações ou no CG como eixos de movimento, estes são internos (Figura 11a).

Como referência de análise de movimento articular ou do corpo como um todo, divide-se o deslocamento em três planos (Figura 12). O plano sagital divide o corpo na metade direita-esquerda, e os movimentos primários que acontecem nele são a flexão e a extensão. O

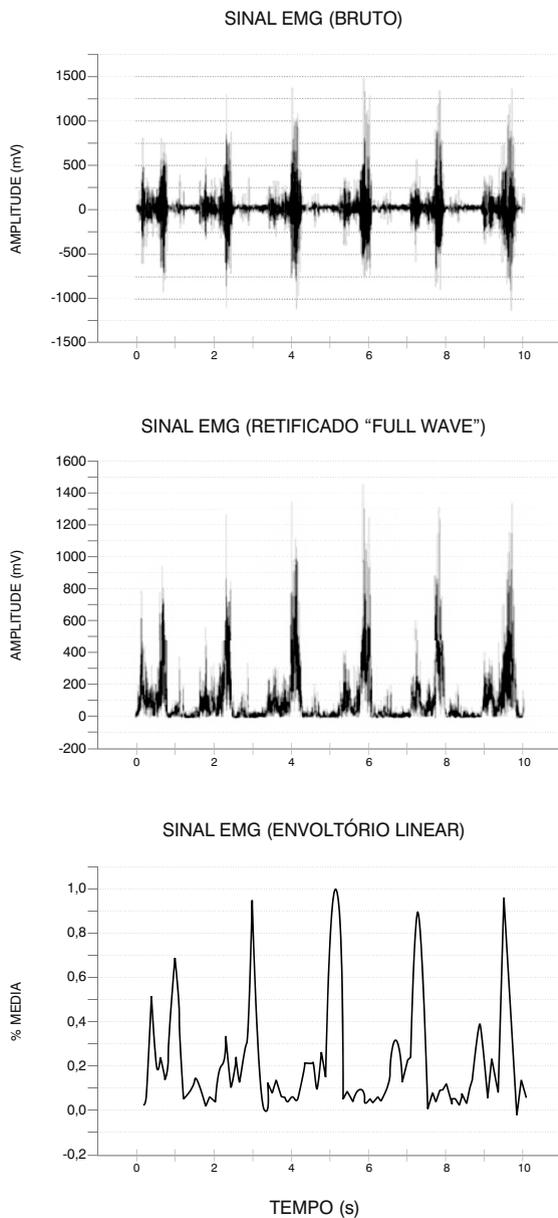


Figura 9 – Exemplos das fases do processamento do sinal eletromiográfico.

Fonte: Elaborado pela autora.

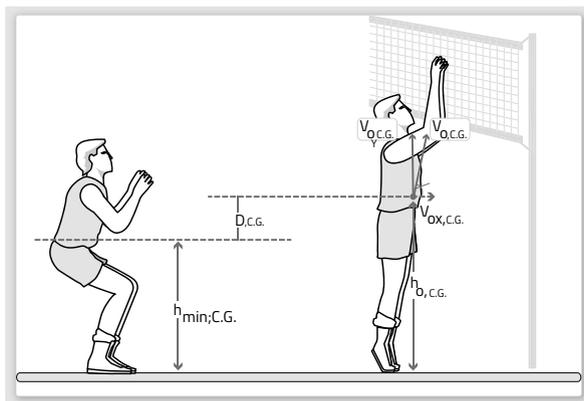


Figura 10 – Deslocamento e velocidade do centro de gravidade na saída para o bloqueio do voleibol: $h_{\text{min,CG}}$ (altura mínima do centro de gravidade); D_{CG} (deslocamento do CG); $h_{0,CG}$ (altura de saída do CG para o bloqueio); $V_{0,CG}$ (velocidade total do CG); $V_{0x,CG}$ (componente da velocidade no eixo x do CG); $V_{0y,CG}$ (componente da velocidade no eixo y do CG).

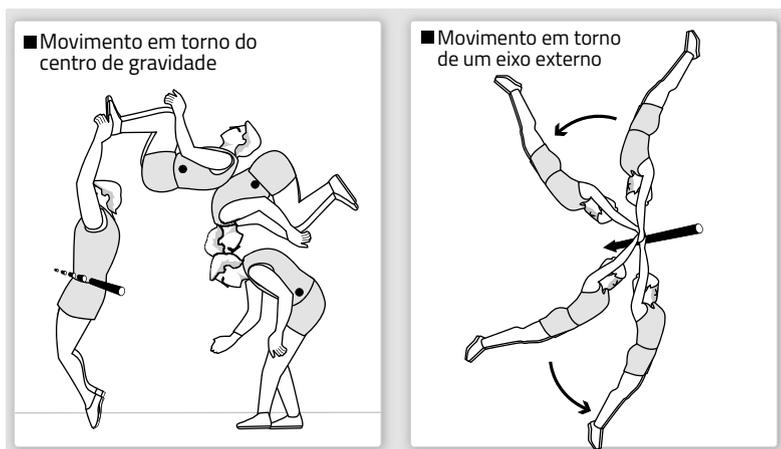


Figura 11 – Movimento angular em torno de um eixo interno — CG (a) e em torno de um eixo externo (b)

plano frontal divide o corpo verticalmente em metades anterior e posterior, e os movimentos primários são de adução e abdução. O plano

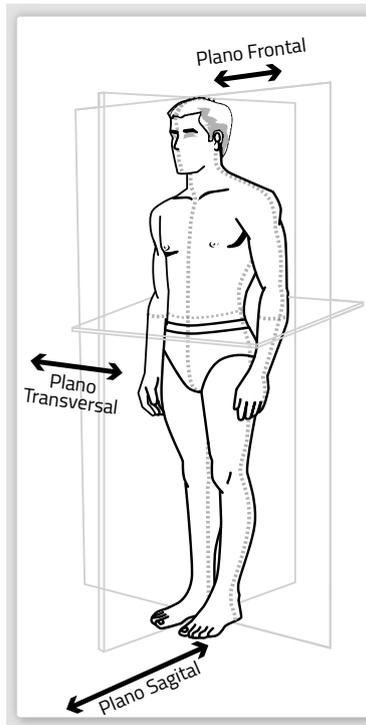


Figura 12 – Os três planos do corpo humano.

transversal ou horizontal divide o corpo em metades superior e inferior, e os movimentos associados são os de rotação em torno do eixo longitudinal, como supinação e pronação do antebraço.

O movimento linear é medido em centímetros ou metros (e), e o movimento angular nas articulações, em graus (θ). Para analisá-lo, é necessário, inicialmente, determinar um sistema de referência espacial. Existem três eixos de referência, e cada um está sempre associado ao mesmo e único plano – ao qual o eixo é perpendicular (HALL, 2005).

Esse sistema pode ser bidimensional ou tridimensional. Um sistema de referência bidimensional possui dois eixos imaginários arranjados perpendicularmente um ao outro (Figura 13). Os dois eixos (x,y) são geralmente posicionados de modo que um fique longitudinal ou

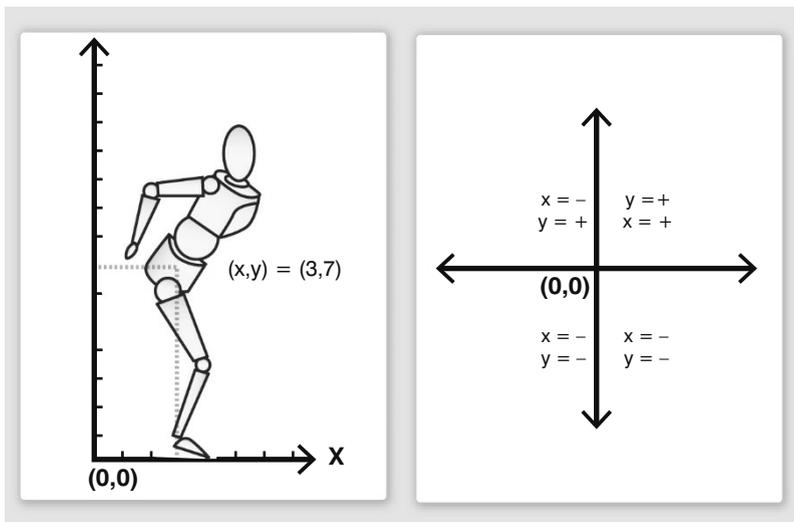


Figura 13 – Sistema de coordenadas cartesianas.

Fonte: Elaborado pela autora.

vertical (y) e outro anteroposterior (x). Usa-se esse tipo de sistema quando o movimento como um todo ocorre em um único plano. Acrescenta-se o eixo z à análise quando a noção de profundidade (mediolateral) precisa ser adicionada às componentes vertical (para cima e para baixo) e horizontal (para a frente e para trás).

Um movimento básico em que se podem observar claramente os dois movimentos – linear e angular – é o andar. Se observarmos uma marca em qualquer parte do corpo do indivíduo, como no centro de gravidade, constataremos que, quando o indivíduo se desloca, a marca se desloca tanto para a frente (eixo x) como para cima e para baixo (eixo y), e também para a lateral (eixo z), dada a oscilação natural do andar. Ao mesmo tempo, ocorre uma rotação dos segmentos em torno das articulações do tornozelo, joelho, quadril e ombro. Esses movimentos acontecem prioritariamente no plano sagital, com alguns movimentos de afastamento da linha média do corpo (plano frontal) e com possível rotação medial da perna (plano transversal)

Em outro movimento mais complexo, como a estrela na ginástica artística, no momento do apoio da mão no chão, pode-se observar uma rotação do corpo como um todo em torno do eixo punho e, ao mesmo tempo, analisar um deslocamento de qualquer ponto do corpo, como uma marca colocada no calcanhar.

Todavia, mais importante do que identificar os movimentos lineares e angulares em um movimento, é perceber que em geral, no movimento humano, os movimentos angulares determinam o que acontece com os lineares. No exemplo do andar, só conseguimos deslocar o nosso CG, isto é, fazer o movimento linear, devido às rotações ocorridas nas articulações.

Essa é a grande diferença dos conceitos da mecânica vistos no ensino médio e os desenvolvidos pelos biomecânicos na graduação. No ensino médio, estudam-se os conceitos lineares e angulares de uma forma bem separada: para o linear, estudam-se a trajetória e a velocidade de um trem ou de uma bala de canhão; para o angular, pensa-se no arremesso de martelo, mas apenas no que acontece com o objeto. Não existe a preocupação em estabelecer uma relação de causa e efeito, aspecto primordial na análise biomecânica do esporte.

Vejam como ocorre essa relação de causa e efeito em um saque por baixo, já descrito em suas fases no item “Avaliação diagnóstica do movimento”. O objetivo é gerar o movimento linear da bola por meio da transferência de movimento da mão para ela, o que em geral é transmitido ao aluno como “aplicar força na bola”. Mas é claro que isso não depende somente do que é feito pela mão, pois, se assim fosse, não seriam descritas as posições dos membros inferiores, do tronco e dos membros superiores como um todo. O movimento de rotação em torno das articulações determina em parte o movimento linear da mão, a menos que, em alguma fase do movimento, haja uma frenagem completa do movimento ou um erro de sincronização do movimento. Por exemplo, em um erro comum cometido por iniciantes, o indivíduo realiza todo o movimento correto com o mem-

bro superior que golpeará a bola até a fase de tocar nela e, nesse instante, freia esperando pelo arremesso da bola pela mão contrária. Tudo que foi gerado pelos movimentos angulares nas outras articulações é perdido e só será utilizado o gerado pela articulação do ombro. Nesse caso, a bola não apresentará certamente grande movimento linear e terá dificuldade em passar da rede.

Portanto, é importante identificar os movimentos angulares e a sequência a ser realizada em cada movimento, verificando a correta transferência entre as articulações, pois isso determinará o sucesso ou fracasso do movimento linear a ser obtido.

Velocidades linear e angular

Quando os conceitos de movimento e tempo são combinados, chega-se à velocidade.

Pode-se definir velocidade linear (v) como o espaço percorrido pelo tempo gasto para percorrê-lo (e/t) e velocidade angular (ω) como o ângulo percorrido pelo tempo gasto para percorrê-lo (θ/t).

No dia a dia, os profissionais de educação física, ao analisarem um movimento, não irão calcular numericamente o valor da velocidade. Até podem calcular a velocidade média desenvolvida, por exemplo, nos 100 metros, quando corridos em 10 segundos, como uma forma rápida de comparar resultados. Os profissionais podem usar isso como uma forma de integração com a física e a matemática, mostrando o que significa na realidade os 10 m/s calculados. No entanto, o conceito de pedir ao aluno que aumente a velocidade linear ou a angular no movimento é bem mais comum, assim como utilizar a relação entre elas. Quando se pede ao aluno que se desloque mais rápido até determinado ponto, a intenção é que ele diminua o tempo de execução e, com isso, aumente a velocidade linear de seu CG. Quando se pede que o indivíduo faça uma “extensão de quadril vigorosa”, isso significa que o quadril deve percorrer o mesmo ângulo em menor tempo, isto é, com maior velocidade angular.

Um exemplo em que podemos observar os dois parâmetros é a análise da abdução em torno da articulação do ombro com a extensão completa do cotovelo a partir da posição neutra, em que um ponto é marcado no punho e outro no cotovelo (Figura 14). Parte-se da posição estendida ao longo do corpo e termina-se o movimento com um ângulo de 90° de abdução.

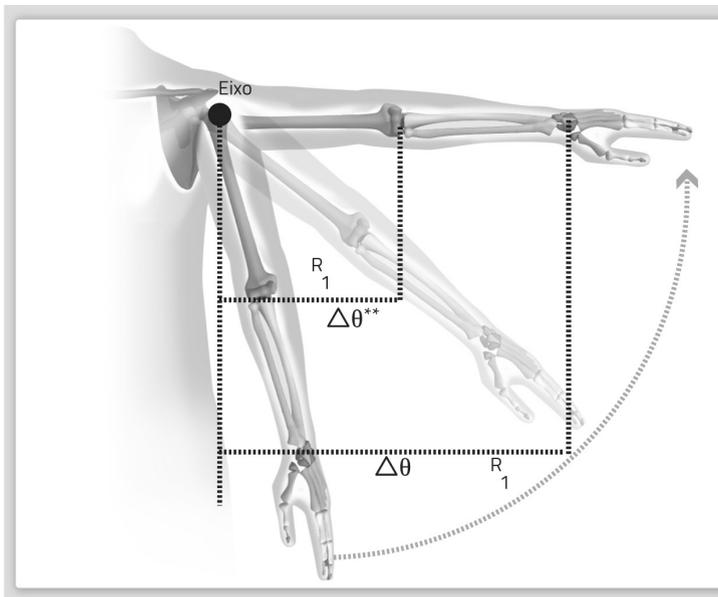


Figura 14 – Abdução em torno da articulação do ombro com a extensão completa do cotovelo: (a) posição inicial e (b) posição final, sendo R a distância de uma marca até o eixo ombro e o ângulo percorrido.

Suponha que o tempo necessário para o deslocamento de 90° seja de 2 s, a marca do punho tenha percorrido 0,6 m para cima (no eixo y) e a marca do cotovelo tenha percorrido 0,4 m no mesmo eixo y. A velocidade angular de ambas as marcas é de $90^\circ/2$ ($\omega = \theta/t$), isto é, 45° por segundo, e a velocidade linear ($v = e/t$) da marca do punho no eixo y é de 0,3 m/s, enquanto a do cotovelo é de 0,2 m/s.

Ambas as marcas percorreram 90° no mesmo tempo, portanto têm a mesma velocidade angular (ω), mas a marca do punho percorreu maior distância linear no mesmo tempo da marca do cotovelo e, portanto, tem uma velocidade linear maior (v). O que determina essa velocidade linear maior é a distância da marca até o eixo de rotação (r), que, no caso, é o ombro. Se comparássemos a marca do cotovelo com uma terceira marca no ombro, a marca do cotovelo teria uma velocidade linear maior do que a do ombro e assim por diante. Em resumo, quanto maior a distância do ponto até o eixo de rotação, maior a velocidade linear desse ponto.

Em termos de fórmula, podemos dizer que a velocidade linear de um ponto sobre um corpo em rotação é o produto da distância daquele ponto até o eixo de rotação pela velocidade angular do corpo em torno do eixo ($V = \omega r$).

Voltando ao exemplo do saque por baixo, em que já tínhamos estabelecido a importância do número de articulações envolvidas, a sequência a ser adotada e a transferência entre as articulações, podemos incorporar agora as velocidades angulares e finalmente a maior distância do ponto de contato até o eixo, que é a extensão máxima da articulação do cotovelo. Portanto, deve-se pedir ao aluno que realize todo o movimento em direção à bola com o cotovelo estendido, porque, com isso, há um aumento da distância do ponto de contato com a bola até o eixo (r) e, por consequência, da velocidade linear da mão. A importância de aumentar essa velocidade é que esta será primordialmente transferida para a bola, somada, é claro, como já comentado, às velocidades angulares das outras partes do corpo, que deverão ser transferidas para a mão no momento final do contato.

A outra variável possível de ser alterada é a velocidade angular. Suponhamos que dois jogadores de voleibol executem uma cortada e um deles tenha maior envergadura. Consideremos apenas a variável raio (a distância do ponto de contato até o eixo, no caso ombro): na execução da cortada, o jogador de maior envergadura deve obter uma saída mais veloz de bola após o contato, mas, se o outro, cuja

envergadura é menor, tiver maior velocidade de rotação do braço em torno do eixo ombro (maior velocidade angular), poderá, ao final do contato, até obter maior velocidade linear (v) de saída de bola.

Esse mesmo conceito pode ser aplicado no arremesso de dardo, no chute do futebol, no arremesso de handebol, no saque do tênis etc. Em todos os casos, o profissional deve pedir ao executante que, ao final, estenda as articulações do segmento que faz o contato com o implemento, para que este ganhe a maior velocidade possível na saída (Figura 15).

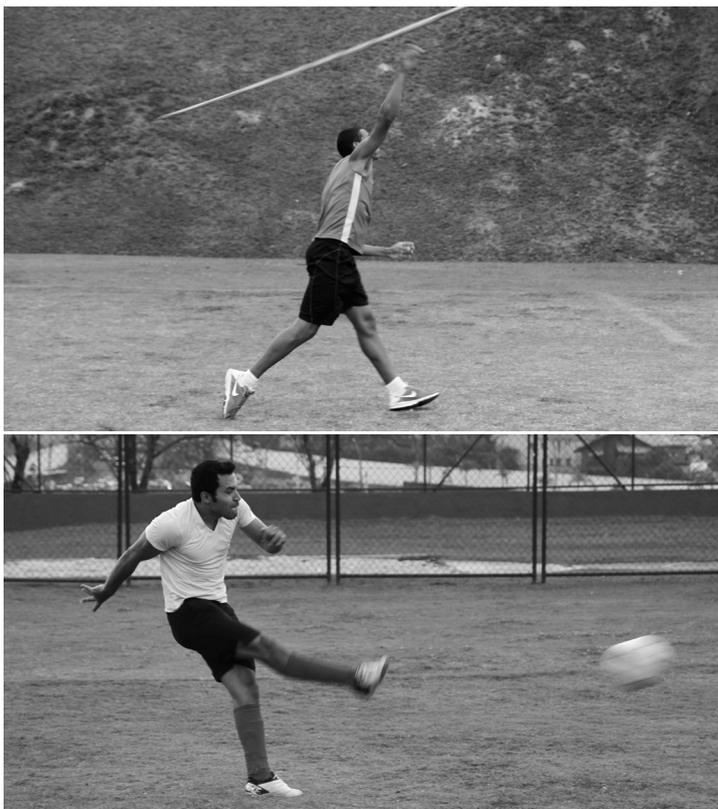


Figura 15 – Exemplos de movimentos em que se procura aumentar a distância até o eixo, estendendo todas as articulações envolvidas no movimento desejado.

Um último parâmetro a ser incorporado para o aumento da velocidade linear de um implemento é a velocidade linear do CG. Se o CG do indivíduo tem uma velocidade na mesma direção e sentido que se deseja dar ao implemento, essa velocidade é acrescida à velocidade do segmento que está realizando o movimento. Isso se observa no saque por baixo quando se pede para o indivíduo transferir o peso do corpo todo para a perna da frente e dar o passo que o introduzirá na quadra de jogo.

Esse mesmo conceito serve quando se fala para soltar a bola de basquete na fase ascendente do arremesso, colocar o pé de apoio do lado da bola de futebol etc.

Quando se considera o indivíduo como o objeto a ganhar velocidade linear, deve-se levar em conta a maior extensão possível do joelho e quadril no caso de um salto ou, até mesmo, da impulsão final da corrida. Os objetivos desse procedimento são: aumento do raio – a distância do contato no solo até o eixo quadril –, obtenção de maior velocidade linear do CG e aproveitamento das velocidades angulares geradas e transferidas em todo o corpo.

Resumo do capítulo

A biomecânica como uma ferramenta da análise de movimento estuda o movimento e as forças que o geram, com o objetivo de estabelecer uma avaliação diagnóstica do movimento, analisar a sobrecarga, propor melhoria do movimento e desenvolver métodos. Os principais métodos utilizados pela biomecânica para abordar as diversas formas de movimento são: cinemetria, dinamometria, antropometria e eletromiografia. Quando se analisa o movimento do corpo humano ou de um suplemento (bola, por exemplo), pode-se estudar o movimento linear (de translação) ou angular (rotação) desse corpo. Entretanto, mais importante do que identificar os movimentos lineares e angulares em um movimento, é perceber que, em geral, no movimento humano, os movimentos angulares determinam o que

acontece com os movimentos lineares. Além disso, quando os conceitos de movimento e tempo são combinados, chega-se à velocidade, sendo que aqueles podem ser aplicados ao corpo do indivíduo (CG), que ganha velocidade linear pela transferência de velocidades angulares das articulações, como um implemento – bola – que ganha velocidade linear pela transferência de velocidade linear de um segmento – mão ou pé –, que a obteve por meio da transferência de velocidade angular entre todas as articulações do corpo envolvidas no movimento.

Atividades propostas

1. Escolha um movimento qualquer e, após determinar o objetivo da habilidade, descreva o movimento em fases com os elementos-chave sublinhados.
2. Filme o movimento proposto com uma única câmera. Importante: antes de iniciar essa atividade, determine o plano da filmagem, os pontos de colocação de marcas e três possíveis erros do movimento a serem filmados.
3. Avalie visualmente o movimento correto e os erros, e proponha um modelo simples inicial (em blocos) de análise biomecânica do movimento. Esse modelo deverá ser refeito ao final da leitura do livro.
4. Verifique no movimento escolhido:
 - a) Em que fases os deslocamentos linear e angular são mais importantes.
 - b) No caso do deslocamento linear, em que fase a velocidade linear é fundamental.
 - c) No caso do deslocamento angular, em torno de que articulações ocorre esse deslocamento e qual é a sequência de transferência de velocidade angular entre elas.
 - d) Em que fase é fundamental a transferência de velocidade angular em linear e que parâmetros interferem na geração de uma maior velocidade linear final.

- e) Se algum dos erros propostos está vinculado ao conceito de transferência de velocidade.
5. Utilize a eletromiografia ou a plataforma de força para comparar o movimento correto com pelo menos um dos erros sugeridos.