

Produtos e Materiais Didáticos

Análise cinemática de um movimento de Kung-Fu: A importância de uma apropriada interpretação física para dados obtidos através de câmeras rápidas

(Kinematic analysis of a KUNG FU movement:

The importance of a proper physical interpretation of data obtained by high speed cameras)

O. Pinto Neto¹, M. Magini¹ e M.M.F. Saba²

¹Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, UNIVAP, São José dos Campos, SP, Brasil

²Departamento de Geofísica Espacial, Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Recebido em 23/2/2006; Aceito em 4/4/2006

A biomecânica é a ciência que estuda e quantifica o movimento humano, utilizando os princípios da mecânica. Sua aplicação em artes marciais ainda é pouco freqüente, especialmente para movimentos de Kung-Fu. O presente trabalho propõe um modelo para determinar o deslocamento da mão em função do tempo em um golpe de Kung-Fu. Para validar o modelo, três indivíduos tiveram seus golpes filmados por uma câmera rápida com uma taxa de 1000 Hz. A importância do uso de velocidades e acelerações instantâneas no estudo de movimentos fica muito bem evidenciada no presente trabalho que mostra a aplicação desses conceitos em um assunto que normalmente é de grande interesse dos alunos em geral. Os resultados confirmam a hipótese de que a força muscular resultante de um movimento de Kung-Fu Yau-Man é constante antes do impacto e mostram como diferentes análises dos mesmos dados podem implicar em resultados distintos.

Palavras-chave: biomecânica, força, Kung-Fu, análise física.

Biomechanics is the science that studies and quantifies human motion using the principles of mechanics. Its application to martial arts is not frequent, particularly for Kung Fu movements. The present paper proposes a model to obtain a space-time function for a Kung Fu strike. To validate the model, a high-speed camera at 1000 Hz filmed three strikes from three individuals. The importance of using instantaneous velocities and accelerations on the study of movement is very clear in the present paper, which shows an application of these concepts to a subject interesting for students in general. The results show that the resultant muscle force is constant during the Kung Fu strike and that different analysis of the same data can produce different results.

Keywords: biomechanics, force, Kung-Fu, physical analysis.

1. Introdução

A biomecânica é a ciência que estuda e quantifica o movimento humano, utilizando os princípios da mecânica [1]. Pode-se dizer que a cinesiologia é a precursora da biomecânica. A cinesiologia é o estudo do movimento humano [2], que vem fascinando através da história muitos pesquisadores e pensadores de diversas áreas do conhecimento. Um deles foi Aristóteles (384-322 a.C.), cujo fascínio resultou em tratados que descreviam as ações dos músculos e os submetiam a uma análise geométrica. Devido a esses tratados pioneiros, Aristóteles pode ser considerado como o fundador da cinesiologia [3]. O trabalho de Aristóteles serviu de base para vários trabalhos subsequentes, como os de Galeno (131-201), Galileu (1564-1643), Borelli (1608-

1679) e em especial Newton (1642-1727). Sir Isaac Newton é o responsável pela formulação da mecânica clássica, também conhecida como mecânica newtoniana ou simplesmente mecânica. A formulação das três leis do movimento mudou o mundo, gerou revoluções nas áreas exatas e biológicas, e possibilitou a ida do homem à Lua.

Embora a mecânica já seja conhecida desde o Séc XVII, apenas no século XX surgiu a biomecânica, que desde a década de 1960 percorre um caminho estreito entre o que se faz nos laboratórios e a sua aplicação prática na compreensão do movimento humano [4]. Todavia, a sua aplicação em artes marciais ainda é pouco freqüente especialmente no Brasil ou para movimentos de Kung-Fu [5]. Muitos benefícios propiciados pela arte marcial, tanto à saúde física quanto mental de seus pra-

¹E-mail: osmar@univap.br.

ticantes, são conhecidos através dos tempos. Tendo em vista esses benefícios, hoje em dia alguns estudos sobre artes marciais estão sendo realizados. Os estudos biomecânicos das artes marciais buscam sua compreensão e quantificação, para que futuramente possibilitem que as artes marciais possam ser aplicadas largamente na preparação física de atletas de outras modalidades, bem como na terapia de pessoas com problemas motores ou portadores de alguma necessidade especial.

A arte marcial chinesa (wushu), também conhecida como Kung-Fu, assim como a China tem uma história de milhares de anos. Ela nasceu da necessidade do ser humano de se defender dos ataques de predadores e de outros seres humanos [6]. Devido à extensa história de guerras entre diferentes reinos que hoje constituem a China e seus países vizinhos, as artes militares ou marciais sempre desempenharam um papel importante na civilização chinesa. Na tradição chinesa, um guerreiro preocupa-se primeiro em defender-se, e tem como principal objetivo instaurar a “grande paz” (taiping). Para isso, através da história, diferentes guerreiros desenvolveram diferentes sistemas ou estilos de autodefesa, cada sistema com particularidades próprias de idéias e de movimentos [7].

Muitos estilos diferentes de artes marciais surgiram na China no decorrer dos últimos 1500 anos e vários deles são praticados ainda hoje; a maioria deles evoluiu a partir das escolas fundadoras [8]. As duas principais escolas fundadoras estão ligadas a dois famosos centros religiosos da China, o Templo Shaolin (centro budista) e o monte Wudang (centro taoísta) [9]. O estilo Yau-Man (andarilho) foi criado durante a Dinastia Ch'ing (1644-1911) a partir do estudo dos conhecimentos das diversas escolas de artes marciais. Os movimentos do Kung-Fu Yau-Man têm como característica principal serem curtos (de pouca amplitude) e poderosos (alta força de impacto). Essas características fazem deles ideais para um estudo biomecânico. Nos estudos biomecânicos as avaliações cinemáticas são normalmente realizadas utilizando-se de diferentes sistemas. Esses sistemas normalmente são constituídos de uma ou mais câmeras de vídeo que possibilitam realizar avaliações 2D (plano sagital, plano frontal) ou 3D (planos sagital, frontal e transversal) em diferentes taxas de amostragem. Após a filmagem o movimento é digitalizado e reconstruído e quantificado através de softwares específicos para cada sistema.

No caso da análise de movimentos muito rápidos como os de Kung-Fu, uma análise cinemática só é possível com o uso de câmeras de resolução temporal acima de 1000 quadros por segundo (1000 Hz), o que a maioria dos sistemas biomecânicos, especialmente no Brasil ainda não possuem. Este trabalho faz uma análise biomecânica de um movimento de palma do Kung-Fu Yau-Man. Propõe um modelo para obter uma função que determine o deslocamento da mão, em um golpe de Kung-Fu, através do tempo. Visa mostrar que a força muscular resultante nesse movimento é constante e que na análise de movimentos rápidos diferentes

análises físicas dos mesmos dados podem implicar em resultados completamente diferentes.

2. Metodologia

Três indivíduos participaram do estudo, dois praticantes de Kung-Fu Yau-Man, e um não praticante. Cada praticante foi requisitado a golpear uma bola de basquete usando o movimento de Kung-Fu Yau-Man conhecido como “palma” [5].

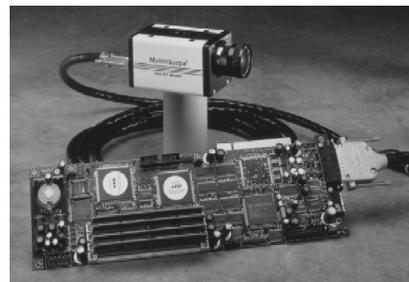


Figura 1 - Fotografia da câmera 8000S MotionScope com sua placa de interface com o PC.

Os movimentos foram filmados utilizando um Sistema de Aquisição de Imagem Digital de Alta Velocidade (ou câmera rápida) “MotionScope PCI” do fabricante Red Lake, modelo 8000S. As Figs. (1) e (2) mostram as fotografias do equipamento.

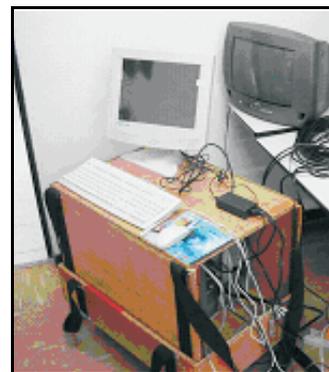


Figura 2 - Sistema instalado no módulo móvel.

Este sistema baseia-se em um sensor CCD (Charge Couple Device) para a captura das imagens. Ele adquire e grava uma seqüência de imagens digitais de um evento a uma taxa ajustável de 60 a 8000 Hz (quadros por segundo), sendo que os arquivos de saída podem ser visualizados em um PC.

A taxa de aquisição da câmera rápida para o nosso experimento foi ajustada para 1000 Hz. Não foi usada a taxa máxima (8000 Hz) porque há um compromisso entre a taxa de aquisição e a qualidade de imagem e o ângulo de abertura (ou, equivalentemente, área utilizável do CCD). Assim, a 1000 Hz, a resolução da imagem é de 240 x 210 pixels (a total do sensor CCD é de 656 x 496 pixels), onde cada pixel possui 7,4 mm x 7,4 mm. Para esta taxa, os ângulos de abertura são 23,72° na vertical e 26,99° na horizontal; o tempo total

de gravação é de 2,0 s; uma taxa de aquisição maior comprometeria a análise das imagens tornando muito difícil a identificação das marcas nos antebraços dos indivíduos e na bola.

Mesmo na resolução utilizada, em algumas situações é muito difícil identificar o exato pixel que representa a mesma marca em diferentes quadros. Se na obtenção da distância percorrida pelo braço em 5 ms ocorrer um erro na determinação do pixel, e o pixel exatamente ao lado que seria o correto for o escolhido para análise, isso acarretaria em um erro médio de 0,25 cm na medida da distância. Embora esse erro não seja desejado, muitas vezes ele não pode ser evitado.

Este sistema é operado basicamente da seguinte forma: (1) a câmera é direcionada para o indivíduo e a bola de basquete. (2) A luminosidade é ajustada para que se tenha um contraste luminoso adequado do cenário. (3) O indivíduo prepara-se para golpear a bola. (4) Ao visualizar o golpe, um operante aperta um botão de trigger (acionamento) do sistema; aqui, é utilizado um recurso computacional chamado Fila Circular, que consiste em gravar dados continuamente em uma determinada região de memória e, quando o ponteiro (que indica a posição de memória a ser utilizada) chega na sua última posição, o programa aponta para a primeira posição da memória. Assim, ao se acionar o pulso de trigger, as imagens serão gravadas, consistindo de imagens passadas e futuras em relação ao momento do trigger. Ou seja, ao configurar o trigger em 50%, a gravação do filme registrará 1,0 s de imagens anteriores e 1,0 s de imagens posteriores ao momento do trigger. A partir desse dois segundos de gravação são selecionados os aproximadamente 200 ms correspondentes ao golpe que é salvo em um arquivo para análise posterior [10]. A Fig. (3) mostra uma imagem obtida pela câmera rápida.



Figura 3 - Imagem do impacto registrada pela câmera rápida. Os contrastes de cores no braço e na bola indicam os pontos usados como marcas para obtenção de posições na análise. Os contrastes de cores na régua foram usados para determinar a escala de conversão de pixels em cm da imagem.

2.1. Análise física

O presente trabalho propõe um modelo para obter uma função que determine o deslocamento da mão, em um golpe de Kung-Fu, através do tempo, a partir de algumas hipóteses que serão confirmadas pelos resultados. A primeira hipótese é que devido ao movimento “palma” ter duração na ordem de 100 ms, a força muscular resultante que gera esse movimento é constante. A segunda é que a resistência do ar, Eq. (1), é pequena o bastante para ser desprezada.

$$F_{ar} = \frac{1}{2} \rho C_x A v^2, \quad (1)$$

onde ρ é a densidade do ar, C_x é o coeficiente de penetração aerodinâmica, A é área da maior seção voltada para o movimento, e v é a velocidade do movimento. A insignificância da resistência do ar baseia-se no fato de que supondo a palma da mão como uma placa quadrada ($C_x = 1,2$) com área da ordem de 0,02 m², obtém-se valores para esta força menores que 1 N [11]. Assim, pode-se equacionar o problema usando-se da terceira lei de Newton na forma diferencial Eq. (2).

$$F_m = m \frac{d^2x}{dt^2}, \quad (2)$$

com condições iniciais $v_0 = 0$ e $x_0 = 0$, pois o movimento parte do repouso e da origem e mostra a relação da distância com o tempo e a aceleração $x = \frac{1}{2}at^2$.

2.2. Análise de dados

Os três movimentos foram analisados de maneira a gerar posições a cada 5 ms desde o início dos movimentos até o instante antecedendo o impacto. Foi feito então uma regressão polinomial dos pontos obtidos pela análise de vídeo. A partir do polinômio gerado obteve-se a velocidade final, ou a velocidade que antecede o impacto. Essa velocidade foi dividida pela duração do movimento gerando o valor da aceleração a ser usada nas equações propostas pelo modelo. Foi obtido então os valores de posição e velocidade através da solução da equação diferencial proposta. Essas posições foram correlacionadas com as posições obtidas pela análise de vídeo, através da correlação de Pearson a fim de validar ou não o modelo proposto. Foram calculados valores de R^2 e p para mostrar a significância das correlações. Os dados de posição obtidos através da análise dos vídeos foram então usados para gerar valores de velocidades médias e acelerações médias para intervalos de 5 ms.

3. Resultados

Para o movimento do primeiro indivíduo praticante, a regressão polinomial de quinta ordem ajustou-se perfeitamente aos dados de deslocamento obtidos pela

análise do vídeo ($R^2 = 1$). A partir da derivada do polinômio gerado, obteve-se 6,57 m/s para o valor da velocidade da mão no instante que antecedeu o impacto. Os valores de deslocamento obtidos pela equação $x = \frac{1}{2}at^2$ apresentaram alta correlação com os valores de deslocamento obtidos pela análise de vídeo ($R^2 = 0,9998$; $p < 0,0001$). A Fig. (4) confirma essa correlação e mostra os valores de deslocamento obtidos pelos dois métodos.

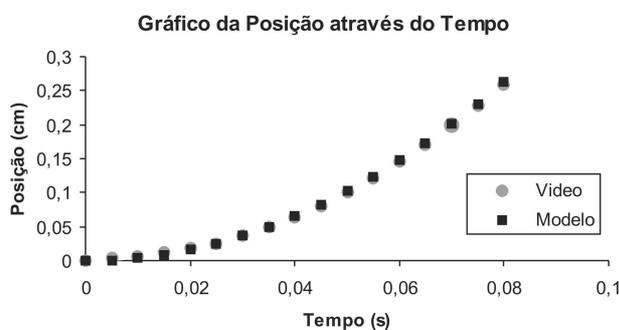


Figura 4 - Gráfico dos deslocamentos em função do tempo obtidos a partir da análise de vídeo e da solução da equação do modelo proposto para o movimento de um dos indivíduos praticantes.

A Fig. (5) mostra os valores de velocidade média obtidos pela análise dos vídeos e os valores de velocidade gerados a partir do modelo.

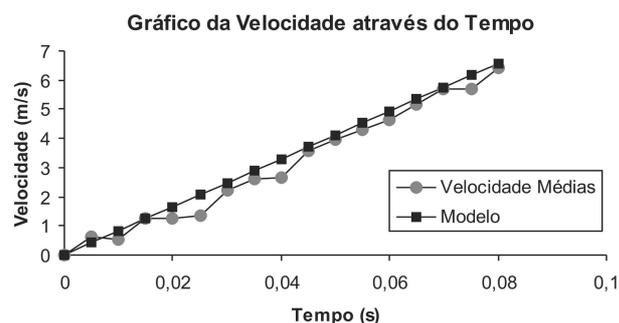


Figura 5 - Gráfico dos valores de velocidade média obtidos pela análise dos vídeos e os valores de velocidades gerados a partir do modelo.

Os dados mostram uma clara distinção entre as curvas, e que a curva das velocidades médias é não linear. A Fig. (6) mostra os valores de aceleração média obtidos pela análise dos vídeos e pelo modelo.

As duas análises apresentadas na Fig. (6) mostram resultados extremamente diferentes. Enquanto o modelo prevê uma aceleração constante, as acelerações médias calculadas a partir da análise os vídeos oscilaram obtendo-se valores positivos e negativos. Por outro lado, o valor da velocidade média nos últimos 5 ms antecedendo o impacto calculado a partir da análise os vídeos foi de 6,414 m/s, o que representa um diferença aproximada de 2,5% em relação ao valor obtido pelo modelo. Para o movimento do outro indivíduo praticante e do indivíduo não praticante, os resultados foram similares aos anteriores, sendo que em ambos os

casos os dados de deslocamento ajustaram-se significativamente ($R^2 = 0,9999$) à regressão polinomial. A partir da derivada dos polinômios gerados obtiveram-se os valores da velocidade da mão antes do impacto de 5,56 m/s para o indivíduo praticante e de 4,42 m/s para o não praticante.

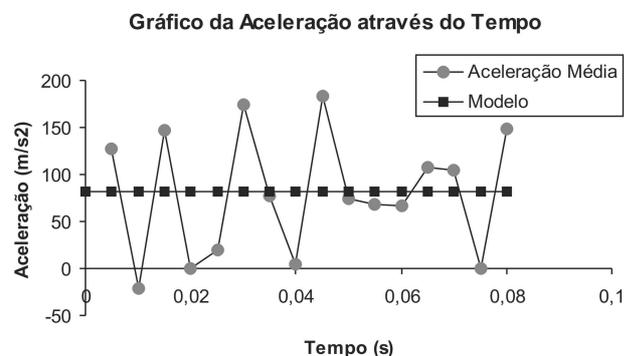


Figura 6 - Gráfico dos valores de aceleração média obtidos pela análise dos vídeos e pelo modelo.

Os valores de deslocamento obtidos pela equação apresentaram alta correlação com os valores de deslocamento obtidos pelas análises de vídeo ($R^2 = 0,9982$; $p < 0,0001$ para o indivíduo treinado; $R^2 = 0,9973$; $p < 0,0001$ para o indivíduo não treinado). Os valores das velocidades médias calculados para os movimentos dos dois indivíduos seguiram um padrão similar aos mostrados na Fig. (5). Os valores das acelerações médias oscilaram muito em ambos os casos de forma muito similar aos mostrados na Fig. (6). O valor da velocidade média nos últimos 5 ms antecedendo o impacto foi de 4,24 m/s para o indivíduo praticante e de 4,38 m/s para o não praticante, o que representa diferenças aproximadas de 7,5% e 1,6%, respectivamente, em relação ao valor obtido através da derivada do polinômio de ajuste.

4. Discussão

A grande correlação entre os dados obtidos pela análise dos vídeos e pelo modelo proposto confirma as hipóteses que a força muscular é constante durante o movimento, e que a resistência do ar pode realmente ser desprezada. Esse resultado implica que as velocidades instantâneas dos movimentos são linearmente crescentes. Isto não está em concordância com resultados prévios de estudos de Karate, onde os gráficos obtidos para velocidade mostravam curvaturas e picos antes do momento do impacto [12, 13]; não é possível saber através destes estudos se os gráficos apresentados são de velocidades instantânea ou médias. Contudo, comparações visuais entre o gráfico reportado por Wilk *et al.* [12] e os gráficos de velocidade média obtidos pelo presente estudo mostram muita similaridade. A análise dos dados através das médias mostrou-se errônea e gerou resultados de velocidades não linearmente crescentes e de

forças musculares que oscilaram muito durante o movimento. O erro em usar médias deve-se principalmente ao fato de que, em média para esse tipo de movimento, o incremento da deslocamento a cada 5 ms é da mesma ordem de grandeza que o erro das medidas. Isso acarreta curvaturas no gráfico das velocidades médias, e oscilações bruscas no gráfico das acelerações médias.

Da interpretação dos resultados a partir da análise desses gráficos, conclui-se que a força muscular resultante do movimento é oscilatória, o que não tem sentido fisiológico. Quando se usa o gráfico do deslocamento através do tempo para fazer as análises, as variações na medida em cada 5 ms passam a ter uma importância muito menor. Além disso, a equação do ajuste polinomial corrige pequenas imperfeições nos dados. Fica claro, a partir da Fig. (4), que o deslocamento através do tempo é uma parábola, o que implica em velocidades linearmente crescentes e acelerações e forças resultantes constantes. Usar o modelo ou as derivadas de equações de ajuste, quando não se tem um modelo, são as maneiras corretas de analisar os dados. Pode ser especulado que, para outros movimentos de artes marciais, a força muscular resultante responsável pelo movimento até o momento de impacto também seja constante. A presente metodologia pode ser aplicada a outros movimentos para confirmar ou não essa especulação. Os resultados mostram também que o uso de velocidades médias nos últimos 5 ms para estimar a velocidade que antecede o impacto também apresentou erros de 1,6% a 7,5%. Novamente em estudos biomecânicos de artes marciais, que busquem a velocidade da mão no instante antes do impacto, a maneira correta de obter essa velocidade é através da derivada no tempo da função de deslocamento neste instante. Os resultados mostraram também que os dois atletas praticantes apresentaram maiores velocidades de mão que o não praticante.

Finalmente, os resultados ilustram um ótimo exemplo para professores de física abordarem ao tentar explicar os possíveis erros associados à medida de velocidades médias, mesmo que essas sejam velocidades médias de intervalos pequenos de tempo, no caso 0,005 s. Ilustra também a grande importância da obtenção de uma equação que determine o deslocamento em função do tempo para um determinado movimento e a importância dos conceitos de velocidade instantânea e aceleração instantânea para análises de movimentos, em uma situação real e de interesse a alunos em geral.

5. Conclusões

O presente trabalho mostra a importância do uso de velocidades e acelerações instantâneas no estudo de movimentos rápidos e uma aplicação desses conceitos em um assunto que normalmente é de grande interesse a alunos em geral. Os resultados confirmam a hipótese que a força muscular resultante de um movimento de Kung-Fu Yau-Man é constante antes do impacto e mostram como diferentes análises dos mesmos dados podem implicar em resultados distintos.

6. Agradecimentos

Este trabalho teve apoio do CNPq.

Referências

- [1] P.M. McGinnis, *Biomecânica do Esporte e Exercício* (Editora Armed, Porto Alegre, 1999).
- [2] D.V. Knudson e C.S. Morrison, *Análise Qualitativa do Movimento Humano* (Ed. Manole Ltda, São Paulo, 2001).
- [3] R.M. Enoka, *Bases Neuromecânicas da Cinesilogia*, (Editora Manole Ltda São Paulo, 2000).
- [4] C.S. Carpenter, *Biomecânica* (Sprint, Rio de Janeiro, 2005).
- [5] O. Pinto Neto, M. Magini and M.M.F. Saba, *Bulletin Fiep* **76**, 15 (2006).
- [6] D. Chow and R. Spangler, *Kung Fu, History, Philosophy and Technique* (Unique Publications, California, 1982).
- [7] C. Despeux, *Tai-Chi Chuan Arte Marcial Técnica de Longa Vida* (Ed. Círculo do Livro S.A., São Paulo, 1981).
- [8] H. Reid and M. Croucher, *The Way of the Warrior: The Paradox of the Martial Arts* (Century Publishing Co. Ltd., London, 1983).
- [9] A. Clark, *The Complete Illustrated Guide to Tai Chi* (Ed. Element Books, London, 2001).
- [10] M.G. Ballarotti, M.M.F. Saba and O. Pinto Jr., *Geophys. Res. Lett.* **32**, L23802 (2005).
- [11] J.L. Meriam, *Dinâmica* (Editora Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, 1976).
- [12] S.R. Wilk, R.E. McNair and M.S. Feld, *Am. J. Phys.* **51**, 783 (1983).
- [13] J.D. Walker, *Am. J. Phys.* **43**, 845 (1975).