



Estudo dos componentes físicos implicados no ângulo de aterrissagem no movimento do rodante, executado no aparelho solo da ginástica artística

Edward Rasquinha¹, Carlos Alberto Kelencz² e Marcio Magini³

RESUMO

Introdução: A biomecânica pode ser considerada uma subárea da física responsável pelo estudo do movimento humano. No contexto do estudo do movimento, a ginástica artística é uma modalidade esportiva que intriga muito dos pesquisadores dessa área do conhecimento pela sua complexidade. Este trabalho analisa um dos movimentos mais importantes dessa modalidade, o rodante. **Objetivo:** Analisar os componentes físicos implicados na execução do movimento do rodante no aparelho solo, procurando estabelecer alguma relação entre essas e o ângulo de aterrissagem medido ao final desse elemento acrobático. **Métodos:** A amostra foi composta por sete ginastas, com idade variando entre 14 e 20 anos, com tempo de treinamento de no mínimo cinco anos. Esta pesquisa utilizou-se de ferramentas metodológicas fundamentadas em princípios da mecânica clássica, técnicas de fotogrametria e de tratamentos estatísticos. **Resultados:** Dentre as grandezas físicas implicadas na execução do rodante, o torque externo apresentou maior relevância para este estudo; assim, tratando este de uma pesquisa com seres humanos, a variabilidade dos resultados obtidos é compreensível; além desse fator, a diferença de nível técnico entre as ginastas e as oscilações da técnica empregada por uma mesma ginasta, observadas durante as execuções dos testes, foram responsáveis pela diversidade dos resultados obtidos. **Conclusões:** Por meio dos resultados obtidos no presente estudo foi possível concluir que, quanto menor o ângulo de aterrissagem do rodante, maior será o torque externo. Também foi verificado que a aceleração inicial, ou seja, o momento de corrida, influencia diretamente nesse ângulo e, por consequência, na produção do torque externo.

ABSTRACT

Study of the physical components implied with the angle of landing in the rolling movement executed at the floor apparatus in artistic gymnastic

Introduction: Biomechanics is a sub-area of physics responsible for the study of the human movement. The artistic gymnastics is a sport modality that intrigues the researchers, in this context; this work comes to analyze one of the movements most important of this modality, the rolling. **Scope:** To analyze the implied physical components with the execution of the movement of the

Palavras-chave: Biomecânica. Ginastas. Torque externo. Aceleração.

Keywords: Biomechanics. Gymnasts. External torque. Acceleration.

Palabras-clave: Biomecánica. Gimnastas. Torque externo. Aceleración.

rolling, looking for to establish some relation between these and the angle of landing measured to the end of this acrobatic element. **Methods:** The sample was composed for seven gymnasts, with age varying between 14 and 20 years, with a time of training of at the very least five years. This research was used of tools based on principles of the classic mechanics, techniques of photogrammetry and statistical treatments. **Results:** From the implied physics related with the execution of the rolling, the external torque presented greater relevance. The results were obtained from analysis of groups with distinct levels of experience. The variability of the experimental data was statically treated providing a set of conclusions relevant to this study. **Conclusions:** The results showed the relation between the values of angle and external torque. The increase of the torque was related with low values of the angle. It was verified the influence of the torque by the initial acceleration, according with preliminary works.

RESUMEN

Estudio de las componentes físicas implicadas con el ángulo de aterrizaje en el movimiento de rodamiento, ejecutado en el aparato solo de gimnasia artística

Introducción: La biomecánica puede ser considerada una subárea de la física responsable por el estudio del movimiento humano. En el contexto del estudio del movimiento, la gimnasia artística es una modalidad deportiva que intriga mucho a los investigadores de esta área de conocimiento por su complejidad. Este trabajo analiza uno de los movimientos más importantes de esta modalidad, el rodamiento. **Objetivo:** Analizar las componentes físicas implicadas con la ejecución del movimiento de rodamiento en el aparato solo, buscando establecer alguna relación entre éstas y el ángulo de aterrizaje medido al final de este elemento acrobático. **Métodos:** La muestra fue constituida por siete gimnastas, con edades variando entre 14 y 20 años, con un tiempo de entrenamiento mínimo de cinco años. Esta investigación utilizó herramientas metodológicas fundamentadas en principios de mecánica clásica, técnicas de fotogrametría y de tratamientos estadísticos. **Resultados:** Entre las grandezas físicas implicadas con la ejecución del rodamiento, el torque externo presentó mayor relevancia para este estudio. Así, tratándose este estudio de una investigación con seres humanos, la variabilidad de los resultados obtenidos es comprensible, además de este factor, la diferencia de nivel técnico entre las gimnastas y las oscilaciones de la técnica empleada por una misma gimnasta, observadas durante las ejecuciones de los tests, fueron responsables por la diversidad de los resultados obtenidos. **Conclusiones:** Por medio de los resultados obtenidos en el presente estudio fue posible concluir que cuanto menor el ángulo de aterrizaje de rodamiento, mayor

1. Mestrando do Curso de Bioengenharia da Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP.

2. Mestrando em Engenharia Biomédica – UNIVAP, Professor da Universidade de Santo Amaro – UNISA.

3. Professor Doutor da Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP.

Recebido em 10/8/04. Versão final recebida em 27/10/05. Aceito em 24/4/06.

Endereço para correspondência: Marcio Magini, Universidade do Vale do Paraíba, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Av. Shishima Hifumi, 2.911, Urbanova – 12244-000 – São José dos Campos, SP, Brasil. E-mail: magini@univap.br

será el torque externo. También fue verificado que la aceleración inicial, es decir, el momento de corrida influencia directamente en este ángulo y por consecuencia en la producción del torque externo.

INTRODUÇÃO

Desde a Grécia Antiga, a biomecânica é uma área de pesquisa que interessa aos estudiosos; entre esses, Aristóteles pode ser considerado o primeiro estudioso em biomecânica da história⁽¹⁾. Essa área do conhecimento, de forte caráter multidisciplinar, pode ser caracterizada como uma subárea da física e fisiologia. Ela está relacionada diretamente com o esporte e o estudo do movimento humano e, mesmo com o passar dos anos, continua recebendo a dedicação de muitos pesquisadores^(2,3).

Um caso específico em que a biomecânica desempenha um importante papel é na ginástica artística, que se destaca pela complexidade de seus movimentos que chamam a atenção dos pesquisadores, os quais vêm produzindo inúmeros trabalhos científicos com a finalidade de aprimorar as técnicas e a execução dos diversos movimentos relacionados com essa modalidade^(4,5). Dentre os aparelhos dessa modalidade esportiva, o solo é um dos mais complexos, sendo, por definição, composto por elementos dinâmicos desenvolvidos pelos ginastas sobre uma superfície elástica⁽⁶⁾.

Dentre a grande complexidade dos movimentos pode-se destacar o *rodante*. Observando as variáveis físicas envolvidas nesse movimento, pode-se dizer que uma seqüência típica começa com uma corrida de aproximação, a qual pode ser quantificada através da grandeza *momentum linear*. Ao se iniciar o *rodante*, ocorre uma transformação de energia, ou seja, a energia inicial, que era unicamente cinética, é decomposta em duas outras formas de energia: cinética de rotação e potencial; essas transformações ocorrem juntamente com o surgimento de duas novas grandezas físicas, o *momentum angular* e o torque externo. Os movimentos rotatórios, que se relacionam com o centro de massa de um determinado corpo, têm grande influência no cálculo da energia atuante sobre este⁽⁷⁾; dessa forma, as forças externas atuantes sobre um ginasta durante a execução de seus movimentos no solo podem chegar à ordem de 5 a 17,5 vezes o peso de seu próprio corpo⁽⁸⁾. Tal fato explica a dificuldade enfrentada pelos ginastas durante a aterrissagem dos elementos acrobáticos⁽⁹⁾; além disso, é importante lembrar que, quanto maior o nível de dificuldade de uma dada acrobacia, maior o risco de lesão⁽¹⁰⁾, pois a ordem de grandeza das forças externa que atuam sob o atleta aumenta substancialmente seu peso. Assim, torna-se evidente a importância de conhecer a ordem de grandeza dos componentes físicos implicados na execução de cada elemento acrobático. O *rodante* é um elemento acrobático importantíssimo, pois é o precursor e propulsor de todas as seqüências acrobáticas realizadas para trás; assim, o estudo dos componentes físicos implicados em sua execução permite um aprimoramento de sua técnica, o que, por sua vez, auxiliará na realização das acrobacias subseqüentes a ele, diminuindo, dessa forma, as penalidades provenientes da banca de arbitragem^(11,12).

A *performance* de elementos acrobáticos mais complexos, como duplos mortais e mortais com pirueta, depende, quantitativamente, dos componentes físicos *momentum linear*, *momentum angular* e torque externo, gerados durante as fases de aproximação e saída do *rodante*⁽¹³⁾. Dentre essas, apenas o *momentum angular* e o torque externo relacionam-se diretamente com esse movimento, visto que somente esses componentes estão implicados na ação de rotação promovida pelo mesmo; porém, é o torque externo o componente mais relevante neste estudo, pois essa grandeza física representa a variação do *momentum angular* em função do tempo. Assim, tornou-se o objetivo deste estudo estabelecer uma relação entre esse componente físico e o ângulo de aterrissagem. Para tanto, foram realizados testes em grupos com diferentes níveis de aptidão técnica.

MÉTODOS

A maioria dos estudos atuais utiliza-se da tecnologia computacional para a realização de simulações virtuais, bem como de modelos matemáticos sofisticados dos movimentos em estudo^(14,15). Já o presente trabalho tem como finalidade realizar um estudo experimental simplificado, porém fortemente embasado em idéias teóricas dentro do contexto físico do movimento. Para tanto, utilizou-se de equações matemáticas, envolvidas com os componentes físicos, relacionados ao movimento do rodante, bem como de ferramentas estatísticas, para o tratamento dos resultados obtidos. Além disso, os instrumentos necessários para a realização das inferências dos dados relacionados com o cálculo do torque externo e com a mensuração do ângulo de aterrissagem foram bem simples, adequando-se ao objetivo deste estudo. Os valores referentes aos torques externos foram calculados através da equação (1)⁽¹⁶⁾.

$$\tau = m \cdot |a| \cdot r \cdot \text{sen}(\theta) \quad (1)$$

Onde τ representa o valor para o torque externo; m , o valor da massa; $|a|$, o módulo da aceleração pertinente à execução de cada movimento; r é o tamanho do seguimento da perna de cada ginasta; e θ , o ângulo de aterrissagem.

Os ângulos de aterrissagem foram obtidos por meio da técnica de fotogrametria, em que a imagem filmada do movimento foi congelada no vídeo, tornando-se, assim, possível a mensuração do ângulo de aterrissagem, denominado θ . A figura 1 demonstra esquematicamente como foi realizada essa mensuração.

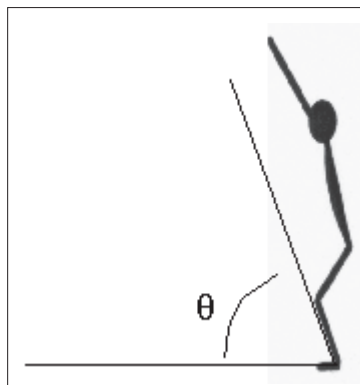


Figura 1 – Momento da aterrissagem no solo, quando a imagem filmada foi congelada, possibilitando a mensuração do ângulo θ , formado entre a horizontal e o segmento da perna de cada ginasta

O instrumental utilizado nesta pesquisa foi composto de uma trena para mensurar os deslocamentos e o comprimento do segmento da perna de cada ginasta; uma balança de uso doméstico para que essas fossem pesadas; dois cronômetros digitais, de uso comum, para realizar a medida dos tempos referentes aos deslocamentos; uma filmadora e um sistema de reprodução, em que se aplicou a técnica fotogramétrica, para mensurar o ângulo de aterrissagem de cada rodante. O grupo de estudo foi formado por sete ginastas, com idade entre 14 e 20 anos, com tempo de treinamento de no mínimo cinco anos. Cinco ginastas realizaram quatro testes cada e duas, oito testes cada, sendo neste caso incluídos os quatro testes-piloto realizados por cada uma, o que resultou em um total de 36 testes realizados. A figura 2 demonstra esquematicamente a execução desse movimento, bem como os instantes referenciais e etapas de segmentação do movimento, de que foram extraídos os dados relacionados aos deslocamentos e tempos implicados com este.

Na etapa A, constituída por uma corrida de impulso, foram medidos o tempo e o deslocamento do instante 0, em que a ginasta encontra-se em sua posição fundamental, ao 1, onde esta toca o solo com as suas mãos, caracterizando o início do movimento do rodante. Na etapa C foram mensurados os valores referentes aos tempos e deslocamento necessários para realizar o movimento

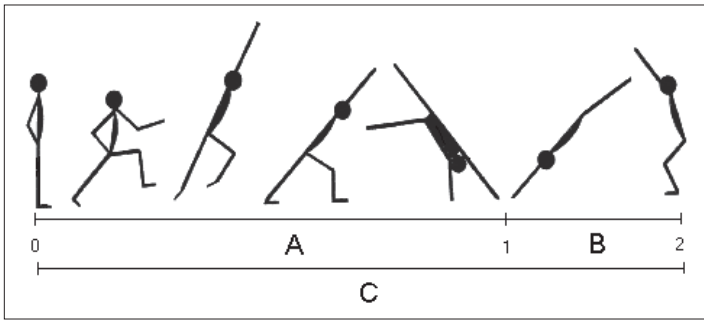


Figura 2 – Simulação esquemática da execução do rodante no solo, com as etapas de segmentação e instantes referenciais adotados neste estudo

completo, ou seja, do instante 0 ao 2, em que a chegada dos pés da ginasta ao solo determina seu final. Calculando-se a diferença entre os valores obtidos para as etapas A e C, podem-se conhecer os valores para o deslocamento e tempo referentes à execução exclusiva do rodante, caracterizado pela etapa B. Com a manipulação desses dados, pode-se obter o valor da aceleração pertinente a cada movimento, o que, finalmente, possibilitou o cálculo do torque externo envolvido com a execução de cada rodante.

RESULTADOS

Os valores calculados para os torques externos (τ) e mensurados para os ângulos de aterrissagem (θ) foram então concentrados na tabela 1.

TABELA 1
Valores calculados para o torque externo, representado pela letra grega τ , em newton.metro (Nm) e dos ângulos de aterrissagem mensurados, representados pela letra grega θ . As ginastas representadas pelas letras A, B, C, D, E, F, G são as que participaram da experiência

Ginastas	θ	τ (Nm)	Ginastas	θ	τ (Nm)
A	50°	110	D	53°	79
	54°	33		50°	41
	60°	73		65°	45
	63°	176		56°	54
	54°	90	E	60°	16
	51°	183		65°	96
	50°	57		63°	115
B	55°	83	F	63°	32
	48°	61		50°	86
	52°	67		40°	101
	50°	15		45°	195
	54°	175	43°	159	
	52°	54	G	57°	66
	48°	284		41°	309
50°	76	40°		161	
C	51°	77	46°	171	
	58°	100			
	61°	56			
	64°	75			
	61°	60			

Ao observar-se a tabela 1, nota-se grande dispersão dos valores apresentados para o ângulo de aterrissagem θ e, conseqüentemente, dos valores calculados para o torque externo τ . Este comportamento dos dados fica ainda mais evidente ao se observar o gráfico 1. Essa dispersão é esperada em razão de a técnica empregada no experimento apresentar resultados com essa variabilidade devido à imprecisão das medidas em alguns ensaios.

Através da análise do comportamento dos dados no gráfico 1, apesar da dispersão na curva de tendência representada, pode-se observar marcante inclinação descendente. Alguns dados apre-

sentam-se distantes dessa curva; assim, para estabelecer mais claramente a relação entre as variáveis ângulo e torque externo, optou-se por uma seleção utilizando-se de técnicas estatísticas conhecidas, na tentativa de clarificar o comportamento dessas variáveis para os diferentes grupos de atletas estudados. Os dados foram selecionados em intervalos e foram calculadas as médias de torque externo por intervalo, assim como a dispersão desses valores nesses mesmos intervalos. Essa técnica de agrupamento por intervalo gera padrões de comportamento mais claros. Não é necessário, para este caso, um teste estatístico mais bem elaborado, tendo em vista que as medidas sofrem pouca influência de variáveis externas.

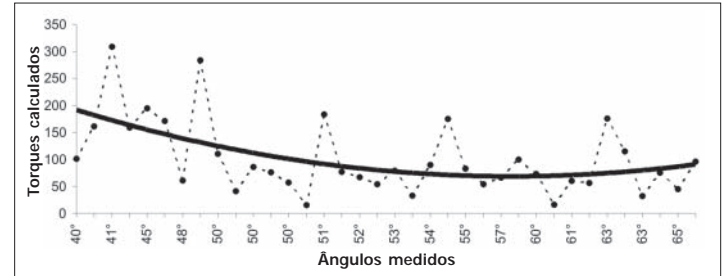


Gráfico 1 – Variação do torque externo calculado em função do ângulo de aterrissagem mensurado (curva com pontos). Curva de tendência dos dados experimentais (linha contínua). No eixo horizontal encontram-se os valores dos ângulos medidos experimentalmente e, no eixo vertical, os valores dos torques externos calculados para cada ângulo.

Na tabela 2 é mostrado o valor dos torques externos para diferentes ângulos. O gráfico 2 mostra a representação dos dados apresentados na tabela 2. Os valores em cinza foram desconsiderados para análise.

TABELA 2
Selecionamento dos dados pelo desvio-padrão aplicado à média. Os valores que não atenderam ao intervalo de cada conjunto amostral estão grifados em cinza. Onde θ representa o ângulo de aterrissagem médio; $\sigma(\theta)$, o desvio-padrão dessa média. Os ângulos e torques externos são representados, respectivamente, pelas letras θ e τ

Ginastas	$\bar{\theta}$	$\sigma(\theta)$	θ	τ	Ginastas	$\bar{\theta}$	$\sigma(\theta)$	θ	τ			
A	50° 60°	55° ± 5°	50°	110	D	50° 62°	56° ± 6°	53°	79			
			54°	33				50°	41			
			60°	73				65°	45			
			63°	176				56°	54			
			54°	90	E	60°	16	E	61° 65°	63° ± 2°	60°	16
			51°	183		65°	96					
			50°	57		63°	115					
B	49° 53°	51° ± 2°	55°	83	F	41° 49°	45° ± 4°	45°	195			
			48°	61				43°	159			
			52°	67				57°	66			
			50°	15	G	38° 54°	46° ± 8°	41°	309			
			54°	175		40°		161				
			52°	54		46°		171				
			48°	284								
C	59° 63°	61° ± 2°	50°	76								
			51°	77								
			58°	100								
			61°	56								
			64°	75								
			61°	60								

Analisando a representação apresentada pelo gráfico 2, observa-se menor dispersão dos valores em relação à curva de tendência. Mesmo existindo essa dispersão, a curva de tendência apresenta comportamento similar. O segundo passo do tratamento

por intervalo é o cálculo do torque externo médio por intervalo; esses valores são mostrados na tabela 3. Neste caso, os valores não são separados por atleta.

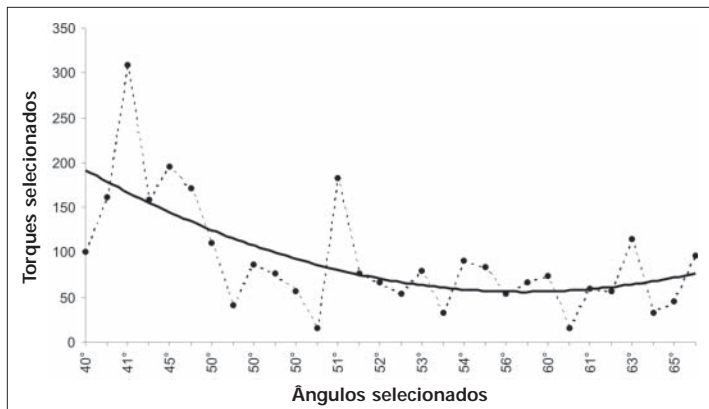


Gráfico 2 – Variação do torque externo em função dos ângulos selecionados. A linha tracejada representa a curva dos valores selecionados, enquanto que a linha contínua, a curva de tendência destes. Novamente, no eixo horizontal encontram-se as medidas dos ângulos e, no eixo vertical, os valores do torque externo calculados para esses ângulos.

TABELA 3

Intervalos angulares e a média representativa dos torques externos pertinentes a estes, representados por $\bar{\tau}$ dado em newton.metro (Nm)

Intervalo angular	$\bar{\tau}$ (Nm)
40° — 44°	183
44° — 48°	183
48° — 52°	81
52° — 56°	68
56° — 60°	60
60° — 64°	59
64° — 68°	71

O gráfico 3 mostra a representação dos dados mostrados na tabela 3. Os intervalos angulares estão no eixo horizontal e os valores das médias dos torques externos, representados por τ , no eixo vertical.

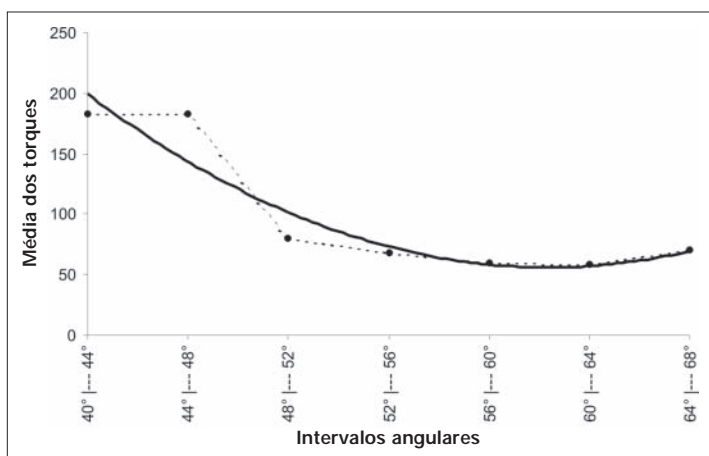


Gráfico 3 – Variação das médias dos torques externos em função dos intervalos angulares

O gráfico 3 apresenta um comportamento assintótico mais evidente, quando comparado com os gráficos anteriores. O resultado mostra um contra-senso: o seno, $\text{sen}(\theta)$, do ângulo medido tende a aumentar quando seu valor aumenta no intervalo em que é feita a medida; tal comportamento pode ser observado pelo gráfico 4.

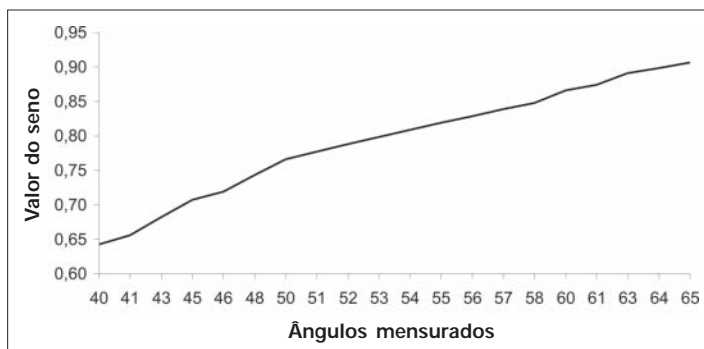


Gráfico 4 – Variação do valor dos senos para os ângulos mensurados no experimento proposto

DISCUSSÃO

Os valores para o torque externo deveriam comportar-se da mesma forma, pois, como pode ser observado na equação (1), o torque externo é diretamente proporcional ao valor do seno do ângulo. Isso se deve, pois, a outras variáveis que influenciam de forma mais direta o valor do torque externo no caso do movimento do rodante. Como a massa e o comprimento do segmento da perna de cada ginasta são constantes, essas duas variáveis não influenciam o valor do torque externo. A variável remanescente é a aceleração. Essa variável não é constante e, dessa forma, pode apresentar alguma relação direta com os valores de torque externo apresentados. A fim de solucionar e de confirmar esse fato, optou-se por uma análise através da representação gráfica do comportamento da média das acelerações relativa aos respectivos intervalos angulares, que pode ser observada pelo gráfico 5.

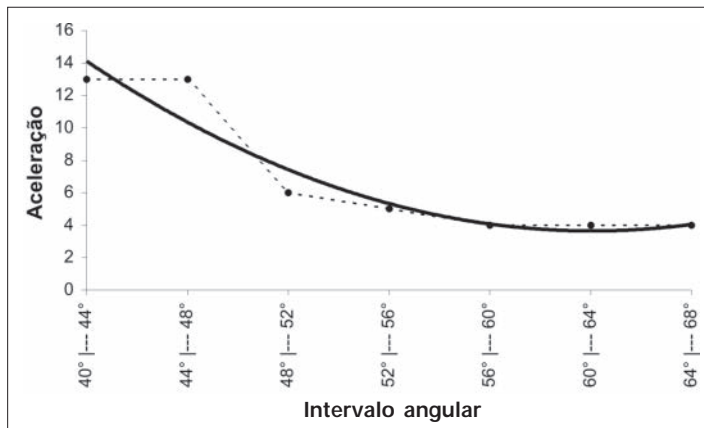


Gráfico 5 – Variação da aceleração em função do intervalo angular. No eixo horizontal são encontrados os valores dos ângulos medidos separados por intervalo. No eixo vertical encontram-se os valores médios das acelerações nesses intervalos.

Analisando o gráfico 5, é possível observar que a aceleração decresce quando o intervalo angular aumenta. Logo, os valores da aceleração mostram ter mais relevância para o comportamento dos valores de torque externo final, pois têm comportamento similar. Em outras palavras, quando a variável aceleração decresce, o torque externo também decresce, mesmo que os valores de seno aumentem no intervalo angular em que a medida é feita.

O gráfico 5 estabelece uma relação indireta entre o ângulo de aterrissagem e a aceleração. Através dessa relação pode-se observar que aceleração alta proporciona um valor máximo para o torque externo resultante e um valor mínimo para o ângulo de aterrissagem. Isso gera como consequência para o movimento, como um todo, forte dependência marcante da corrida de aproximação e da aceleração imposta pela ginasta ao próprio movimento para sua execução⁽¹⁶⁾.

Tal resultado ratifica os resultados em bibliografias consultadas, apresentando importantes implicações biodinâmicas para o movimento, pois no caso de uma seqüência acrobática em que se espera ter o melhor aproveitamento do *rodante*, é relevante implementar valores de aceleração que sejam mais adequados aos objetivos subseqüentes ao movimento. Por exemplo: quando se deseja finalizar uma seqüência, a desaceleração ou aceleração de menor valor deverá ser objetivada para sua finalização, como constatado por este estudo. A angulação também é determinante, pois serve de balanço entre a aceleração quando se quer obter valores de torque que são inversamente proporcionais aos valores de crescimento do valor do ângulo de aterrissagem. As relações observadas entre os componentes físicos através dessa análise cinemática determinam um conjunto de relações entre tais variáveis que é pouco descrito em bibliografias especializadas.

Podemos observar que os resultados obtidos nos saltos das ginastas apresentam uma dispersão muito grande, o que pode ser atribuído à redução ou aumento da aceleração durante a fase de corrida, o que pode modificar o ângulo de entrada do salto. Como se trata de um exercício acrobático, qualquer mudança nesse sentido pode modificar muito o ângulo de aterrissagem e, por consequência, na execução correta do movimento. Como este

estudo se limita a medir o ângulo de aterrissagem e o torque externo, não foi observada neste trabalho a influência do ângulo de entrada do salto em relação a sua finalização.

CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos no presente estudo foi possível concluir que, quanto menor o ângulo de aterrissagem do rodante, maior será o torque externo. Também foi verificado que a aceleração inicial, ou seja, o momento de corrida, influencia diretamente esse ângulo e, por consequência, a produção do torque externo.

Concluimos, ainda, que o melhor ângulo de aterrissagem obtido entre as ginastas estudadas foi de 40° a 48° e que, se o objetivo do atleta for dar seqüência ao conjunto de movimentos que se iniciam após o rodante, ele deve observar o balanço entre aceleração e angulação com o intuito de obter valores de torque externo mais elevados.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Martin RB. A genealogy of biomechanics. 23rd Annual Conference of the American Society of Biomechanics. University of Pittsburgh, 1999.
2. Nagano A, Komura T. Longer moment arm results in smaller joint moment development, power and work outputs in fast motions. *J Biomech* 2003;36:1675-81.
3. Ertan H, Kentel B, Tümer ST, Korkuzus F. Activation patterns in forearm muscles during archery shooting. *Human Mov Sci* 2003;22:37-45.
4. Yeadon MR, Brewin MA. Optimized performance of the backward longswing on rings. *J Biomech* 2003;36:545-52.
5. Brewin MA, Yeadon MR, Kerwin DG. Minimizing peak forces at the shoulders during backward longswings on rings. *Human Mov Sci* 2000;19:717-36.
6. Sands WA. Injury prevention in women's gymnastics. *Sports Med* 2000;30:356-73.
7. Lucksted EF, Satran AL, Patel DR. Sport injury profiles, training and rehabilitation issues in American sports. *Pediatr Clin North Am* 2002;49:753-67.
8. McNitt-Gray JL, Hester DME, Mathiyakom W, Munkasy BA. Mechanical demand and multijoint control during landing depend on orientation of the body segments relative to the reaction force. *J Biomech* 2001;34:1471-82.
9. Schade F, Arampatzis A, Brüggemann GP. Influence of different approaches for calculating the athlete's mechanical energy on energetic parameters in the pole vault. *J Biomech* 2000;33:1263-8.
10. Pierce BE, Burton B. Scoring the perfect 10: investigating the impact of goal-setting styles on a goal-setting program for female gymnasts. *Sport Psycho* 1998; 12.
11. Plessner H. Expectation biases in gymnastics judging. *J Sport Exerc Psycho* 1999;21.
12. Yeadon MR, Kerwin DG. Contributions of twisting techniques used in backward somersaults with one twist. *J Appl Biomech* 1999;15.
13. Koh MTH. Dynamic optimization: inverse analysis for the Yurchenko layout vault in women's artistic gymnastics. *J Biomech* 2003;36:1177-83.
14. Arampatzis A, Brüggemann GP. A mathematical high bar-human body model for analyzing and interpreting mechanical-energetic processes on the high bar. *J Biomech* 1998;31:1083-92.
15. Tipler PA. Física para cientistas e engenheiros. 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000;v1:651p.
16. Arampatzis A, Brüggemann GP, Metzler V. The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *J Biomech*. 1999;32(12):1349-53.