

CINEMÁTICA DE VARIÁVEIS DE TÉCNICA-CHAVE NOS FLIC FLACS DE GINASTAS DE ELITE



KINEMATICS OF KEY TECHNIQUE VARIABLES IN THE BACKWARD HANDSPRINGS OF ELITE GYMNASTS

Nicola Lovecchio¹
Gianpiero Grassi¹
Yuri Francesca Shirai¹
Domenico Galante¹
Gaia Grandi¹
Virgilio Ferruccio Ferrario¹
Chiarella Sforza¹

1. Centro de Pesquisa de Anatomia Funcional (FARC), Laboratório de Anatomia Funcional do Aparelho Locomotor, Departamento de Ciências Biomédicas da Saúde, Università degli Studi di Milano, Milano, Itália.

Correspondência:

Chiarella Sforza
Dipartimento di Scienze Biomediche per la Salute
Via Mangiagalli 31 I-20133
Milano – Italy.
chiarella.sforza@unimi.it

RESUMO

Introdução: A ginástica é o esporte de habilidades fechadas mais antigo e espetacular. Contudo, parâmetros técnicos de execução geralmente são somente ensinados por treinadores experientes. Desta maneira, existe uma lacuna de informações objetivas sobre o desempenho de ginastas (referências cinemáticas). **Objetivo:** No presente estudo, tentamos quantificar movimentos de inversão linear e de hiperextensão durante a execução de *flic flacs*. **Métodos:** Foi efetuada uma detecção não invasiva de *flic flacs* com o auxílio de um instrumento óptico eletrônico 3D. Treze marcadores esféricos retrorreflexivos (1 cm de diâmetro) foram posicionados no corpo de 9 ginastas experientes: maléolos laterais direito e esquerdo, cabeça da fíbula, trocanter maior, acrômio, olecrano, processo estilóide da ulna e vértex. Na mesma sessão e após um período de aquecimento, cada participante executou 15 repetições de *flic flacs*. Dez repetições foram analisadas, e os trajetos 3D das 13 manobras medidos. **Resultados:** Em média, os homens obtiveram altura vertical maior (mulheres, 62% da altura; homens, 58%). O alinhamento dos membros inferiores foi homogêneo entre os ginastas: ângulos posteriores de joelho variaram entre 80° e 118°. Nenhuma abdução de membro inferior foi observada: a largura de joelho foi 7 cm menor do que a largura intertrocanter; a largura de tornozelo foi 8 cm menor do que a largura de joelho. Na saída do movimento, o ângulo tronco-coxa apresentou excelente alinhamento corporal, com valores bem próximos de 180°. As mulheres executaram a fase de apoio das mãos com pulsos mais próximos do que os homens (homens, 134% de largura de ombro; mulheres, 121%). **Conclusão:** Os resultados podem fornecer informações para melhor conhecimento, definindo assim, a execução de padrão-ouro obtida de ginastas de elite com poucas lesões.

Palavras-chave: análise esportiva, *flic flac*, habilidades fechadas, ginástica artística.

SUMMARY

Introduction: *Gymnastics is the most ancient and spectacular closed skills sport. Nonetheless, technical parameters of performance are often taught only by experienced trainers. Thus, there is a lack of objective data about gymnastics performance (kinematics references). Objective:* In the current study, we tried to quantify linear and hyperextension back movements during performance of backward handsprings. **Methods:** A noninvasive detection of backward handsprings was made using a 3D optoelectronic instrument. Thirteen spherical retro-reflective markers (1-cm diameter) were positioned on the body of 9 experienced gymnasts: right and left lateral malleolus, fibular head, greater trochanter, acromion, olecranon, styloid process of the ulna; vertex. In the same session and after a warm-up period, each participant performed 15 repetitions of backward handsprings. Ten repetitions were analyzed, and the 3D tracks of the 13 landmarks measured. **Results:** On average, men performed longer backward handsprings than women (men, 122% of height; women, 98%); women attained larger vertical height (women, 62% of height; men, 58%). Lower limb arrangement was homogenous among the gymnasts: posterior knee angles ranged between 80° and 118°. No lower limb abduction was observed: knee width was 7 cm smaller than intertrochanter width; ankle width was 8 cm smaller than knee width. At take-off, the trunk-thigh angle presented excellent body alignment, with values very close to 180°. Women performed the handstand phase with closer wrists than men (men, 134% of shoulder width; women, 121%). **Conclusion:** The results may offer data to improve understanding, defining gold-standard execution taken from high level gymnasts with few injuries.

Keywords: sport analysis, *flic flac*, closed skills, artistic gymnastics.

Recebido em 09/05/2012, Aprovado em 30/11/2012.

INTRODUÇÃO

A ginástica é um dos esportes que melhor combina estética e habilidades técnicas, exigindo a execução de sequências de movimentos corporais altamente acrobáticas^{1,2}. Os ginastas necessitam assim de várias horas de treinamento técnico, de força e flexibilidade para obter os melhores resultados³. Estudos anteriores na maioria das vezes analisaram o risco e incidência de lesões durante a

execução deste esporte de habilidade fechada^{4,7}, e investigaram as características biomecânicas de vários elementos técnicos⁸⁻¹³. Além disso, as características antropométricas e físicas de ginastas de elite também foram estudadas¹⁻¹⁴.

Contudo, as habilidades técnicas e as sequências típicas de exercício foram pouco investigadas do ponto de vista científico¹⁵⁻¹⁹. Particularmente, Grassi, *et al.*¹⁷ investigaram o desempenho de saltos

mortais inversos (também chamados de flic-flac inversos), um técnica de ginástica de solo. O salto mortal inverso (geralmente conectado a elementos de finalização) é um elemento acrobático importante de exercício de solo de queda utilizado por ginastas masculinos e femininos, Grassi, *et al.*¹⁷ deram ênfase à consistência espaço-temporal de trajetórias repetidas de exercícios através da medição do desvio-padrão entre trajetórias padronizadas¹⁶. Em todos os participantes (homens e mulheres) as trajetórias traçadas pelas coxas e ombros apresentaram especialmente a melhor repetição, enquanto as trajetórias de pulsos foram as mais variadas entre treinos e ginastas¹⁷.

Neste estudo, a mesma aquisição de filme de técnica de ginástica analisada por Grassi, *et al.*¹⁷ foi investigada mais detalhadamente. Algumas medidas técnicas foram quantificadas em relação a saltos mortais inversos (hiperextensão de coluna não excluída). Em especial, neste estudo preliminar, medidas espaciais objetivas (nove variáveis técnicas-chave) referentes ao grupamento técnico foram identificadas entre os observados por treinadores durante sessões de aprendizagem, e pontuadas por juízes durante o resultado. Diferenças entre os sexos forma levadas em consideração. Estes resultados podem servir de base para auxiliar no conhecimento e correta execução do exercício, uma vez que fornece dados métricos objetivos sobre o alinhamento corporal em ginastas de elite.

MÉTODOS

Participantes

Os mesmos ginastas e sequências analisadas no estudo de Grassi, *et al.*¹⁷ foram utilizados no presente estudo. Resumidamente, nove ginastas experientes (seis homens e três mulheres), todos em boa saúde, foram recrutados para o estudo (tabela 1). Todos eram atletas de alto nível (equipe italiana) e tinham de 7 a 14 anos de treinamento específico em ginástica.

Os ginastas foram informados sobre a natureza e possíveis riscos do estudo. Cada participante ou responsável legal para participantes menores de 18 anos forneceu consentimento escrito. O protocolo utilizado no presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética local.

O peso corporal foi verificado com limite de 0,5 kg em balança e a altura medida com limite de 1 cm com estadiômetro. As larguras inter trocanter e inter acrômio forma também medidas. O índice de massa corporal (IMC) foi calculado para todos os sujeitos (tabela 1).

Tabela 1. Sujeitos.

Ginasta	Idade (anos)	Altura de pé (cm)	Peso corporal (Kg)	IMC (Kg/m ²)	Largura de acrômio (cm)	Largura inter trocanter (cm)
M1	21	162	74	28,20	30,4	35,9
M2	23	168	70,5	24,98	32,7	38,6
M3	21	178	63	19,88	33,1	37,7
M4	16	165	62	22,77	28,6	37,0
M5	21	176	75	24,21	37,2	38,0
M6	20	160	62	24,22	29,2	34,8
Mean	20,3	168,2	67,8	24,04	31,9	37,0
SD	2,3	7,4	6,1	2,73	3,2	1,4
F1	19	177	75,5	24,13	26,2	38,2
F2	20	158	55	22,03	27,6	37,2
F3	17	153	48	20,51	25	35,2
Mean	18,7	162,7	59,5	22,21	26,3	36,9
SD	1,5	12,7	14,3	1,80	1,07	1,5

Idade e características antropométricas dos ginastas analisados.

Procedimentos

O flic flac é uma rotação de corpo completa ao redor de um eixo horizontal, com um apoio de mão intermediário invertido (AMI). Ele é composto de dois voos, o primeiro saindo dos pés para as mãos, o segundo das mãos para os pés (figura 1).

Treze marcadores retrorreflexivos esféricos (diâmetro de 1 cm) foram posicionados no corpo de cada atleta: maléolos laterais direito e esquerdo, cabeça da fíbula, trocanter maior, acrômio, olécrano, processo estilóide da ulna. O marcador da cabeça foi afixado em um gorro de algodão elástico.

Um sistema de vídeo óptico eletrônico estéereofotogramétrico (Elite system; BTS Milão, Itália) registrou a posição dos treze marcadores em um volume de trabalho de 380 x 280 x 280 cm com precisão estática de 0,02% em uma vara com 90 cm de comprimento. Especialmente, nove câmeras funcionando a taxa de amostra de 100 Hz circularam a área de execução, filmando os ginastas de diferentes pontos de visão (figura 2).

Após atividades rotineiras de aquecimento escolhidas por eles mesmos, cada ginasta executou 15-20 repetições de *flic flacs*. A todos os participantes foi pedido que fizessem o melhor possível. Para evitar efeitos de fadiga, os *flic flacs* foram subdivididos em três séries de cinco repetições (1 min de descanso entre cada execução, 5 min entre cada série). Cada elemento de ginástica foi executado iniciando na posição de pé sobre dois tapetes de borracha de 2'1 m (Mat gold, Agosport, Milão, Itália). Os tapetes (4 cm de espessura e pesando 16 kg) foram colocados lado a lado com seus lados menores para formar uma base de 4'1 m. Um treinador da equipe italiana observou todas as tentativas para controlar a correção geral do ponto de vista técnico.

Análise de dados

Análises de dados foram feitas separadamente para cada ginasta. Os dez primeiros *flic flacs* executados corretamente pelo ginasta e registrado pelo sistema foram utilizados para a análise quantitativa.

Utilizando as coordenadas 3D (x, y, z) históricos de tempo de cada posição do corpo e operações matemáticas de geometria Euclidiana, foram calculadas medidas de alinhamento corporal para obtenção de parâmetros métricos da técnica. Em especial, cada exercício foi selecionado por um treinador do time de ginástica nacional que selecionou as molduras de aquisição do filme para as seguintes 13 variáveis técnicas:

- Projeção posterior do corpo e sua simetria no início do movimento (figura 1A): projeção horizontal da distância linear entre o tornozelo e o quadril (trocanter maior), unidade: cm. O cálculo foi feito separadamente para os lados direito (D) e esquerdo (E), e a porcentagem de simetria relevante computada $[(D-E)/(D+E) \times 100]$.
- Alinhamento do membro inferior no início do movimento (figura 1A): ângulo posterior de joelho (entre a linha da cabeça da fíbula e do trocanter maior e a linha da fíbula entre a cabeça e tornozelo, valor médio direito-esquerdo, unidade: graus); largura direita-esquerda de tornozelo, e largura direita-esquerda de joelho (unidade: cm).
- Alinhamento corporal na partida (entre flexão e extensão de joelho, logo antes do início do primeiro voo, (figura 1B): ângulo de escape (entre o solo e a linha da cabeça da fíbula e acrômio), ângulo tronco-coxa (cabeça da fíbula-trocanter maior-acrômio); ambos os ângulos foram o valor médio direito-esquerdo, unidade: graus.
- Primeiro voo: comprimento (distância entre a partida, (figura 1B), e aterrissagem nas mãos, (figura 1D), e altura máxima (figura 1C), coordenada y do trocanter maior); ambas as distâncias foram o valor médio direito-esquerdo, unidade: cm.
- Paralelismo dos pés (na partida, (figura 1B) e apoios das mãos (ao

fim, (figura 1D) durante o primeiro voo: ângulo entre as linhas do tornozelo e pulsos (figura 3; unidade: graus).

- f. Alinhamento de membro superior durante AMI (apoio de mão inverso) (figura 1D): flexão linear de membro superior (diferença entre a distância acrómio-pulso na posição de pé e durante AMI, valor médio direito-esquerdo); largura de pulso direita-esquerda (unidade: cm).
- g. Impulso de membro superior métrico linear no início do segundo voo (figura 4): diferença entre a coordenada y do acrómio (altura a partir do solo) durante o AMI (figura 1D), e quando a fase ascendente termina (figura 1E); a distância foi o valor médio direito-esquerdo, unidade: cm.
- h. Comprimento do Segundo voo: distância entre AMI (figura 1D) e posição final (figura 1F); unidade: cm.
- i. Comprimento total do flic flac (soma dos comprimentos dos dois voos); unidade: cm.

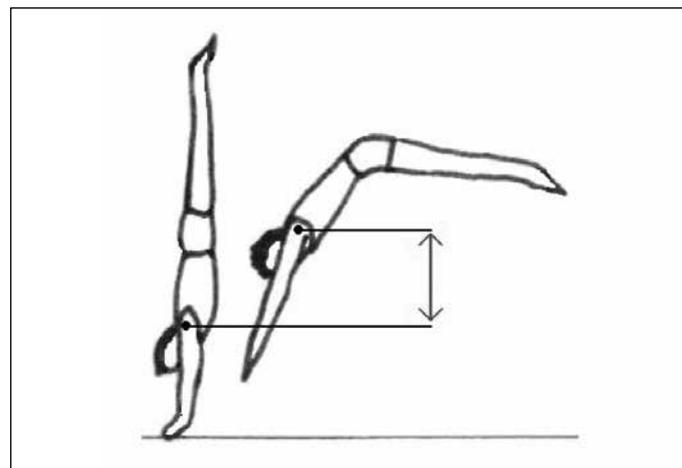


Figure 4: Parâmetro de impulsão linear superior.

Análise estatística

Todos os parâmetros foram calculados separadamente para cada ginasta e repetição; estatística descritiva sobre as dez repetições foram obtidas utilizando estatística univariada (distâncias) ou bivariada (ângulos).

RESULTADOS

Os homens executaram *flic flacs* mais longos do que as mulheres (tabela 2); em ambos os sexos o primeiro voo foi ligeiramente menor do que o segundo (em média, 48% do voo total em homens e 46% em mulheres). A razão do primeiro para o segundo voo foi ligeiramente maior nos homens (95%) do que nas mulheres (88%). Ambos os voos permaneceram mais longos nos homens do que nas mulheres mesmo após correção para altura de pé (primeiro voo, 58% da altura em homens, 45% em mulheres; segundo voo, 63% em homens, 53% em mulheres). Em contraste, a altura máxima do primeiro voo foi maior nas mulheres do que nos homens; além disso, elas alcançaram altura maior tanto como porcentagem de sua altura de pé (mulheres, 62%; homens, 58%), e como porcentagem do comprimento do primeiro voo (mulheres, 139%; homens, 102%). No geral, *flic flacs* em mulheres foram executados com primeiro voo mais curto (utilizando mais hiperextensão de coluna).

No início do movimento, todos os ginastas apresentaram projeções simétricas para trás de seus corpos (tabela 3, assimetria máxima 4,7%), com valores similares em homens e mulheres enquanto os ângulos posteriores de joelho variaram entre 80° e 118°. Suas larguras de joelho (entre as duas cabeças da fíbula) e larguras do tornozelo (entre os dois

Tabela 2. Medidas cinemáticas dos flic flacs: comprimento e altura dos voos.

Sujeito	1º comprimento do voo (cm)	2º comprimento do voo (cm)	Comprimento total (cm)	1ª altura do voo (cm)
M1	96	104	200	94
M2	114	128	242	88
M3	85	102	187	110
M4	93	68	161	97
M5	90	113	203	106
M6	108	123	231	91
F1	75	73	148	100
F2	64	101	165	105
F3	80	82	162	97

Comprimento e altura dos dois voos dos flic flacs.

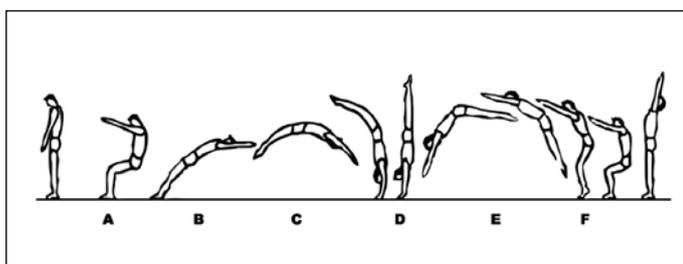


Figura 1. Flic flac e suas fases técnicas. A. Projeção para trás; B. Partida; C. Primeiro voo; D. Apoio de mão invertido; E. Segundo voo; F. Posição final.

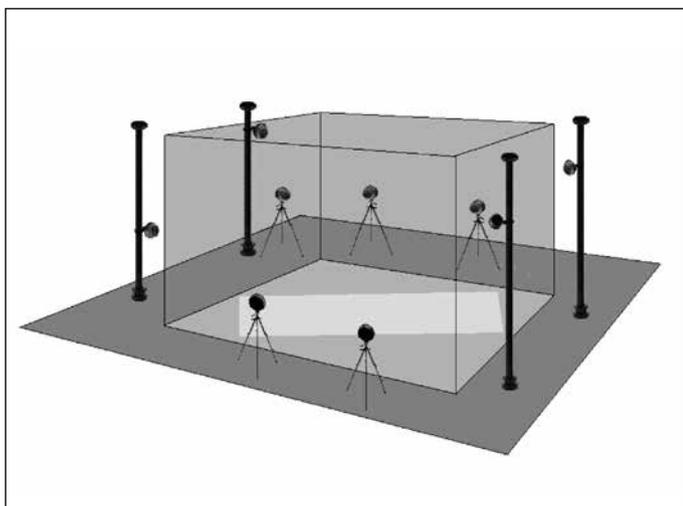


Figura 2. Volume de trabalho e posição das nove câmeras de TV.

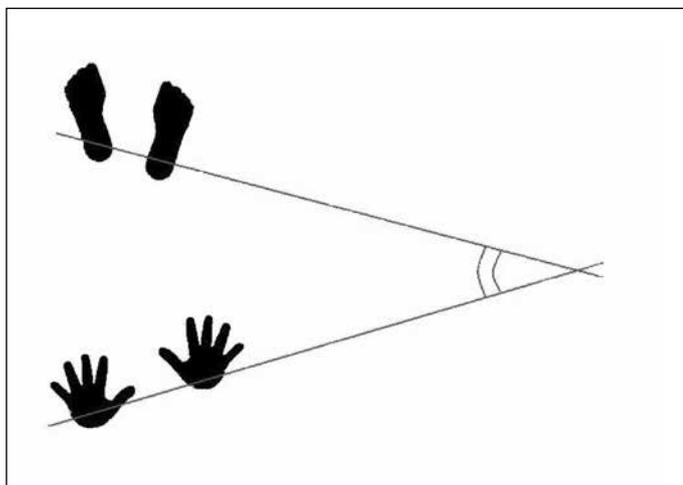


Figura 3. Paralelismo de pé e mão em apoios sucessivos.

Tabela 3. Medidas cinemáticas dos *flic flacs*: ginastas durante a partida.

Sujeito	Início do <i>flic flac</i>					Partida	
	Projeção para trás (cm)	Simetria (%)	Ângulo de joelho posterior (g)	Largura de tornozelo (cm)	Largura de joelho (cm)	Ângulo de escape (g)	Ângulo tronco-coxa (g)
M1	33,0	-1,65	108	19,6	31,7	39	182
M2	33,6	0,25	88	17,8	25,5	33	182
M3	32,3	-1,95	109	23,8	31,0	48	181
M4	23,6	-3,25	99	18,2	23,2	40	181
M5	24,7	1,6	103	18,8	27,8	42	181
M6	23,6	-4,72	79	15,7	28,7	37	182
F1	30,5	-0,25	116	16,6	19,4	48	182
F2	30,3	-1,18	118	17,6	20,7	51	181
F3	26,3	-4,56	100	17,5	28,0	45	182

Alinhamento corporal no início do *flic flac* e na partida. Projeção para trás, ângulo de joelho posterior, ângulo de escape, ângulo tronco-coxa: valor direito/esquerdo médio; simetria positiva: lado direito maior do que lado esquerdo.

maléolos laterais) apresentaram bom alinhamento: ausência de abdução de membro. Em geral, nos joelhos dos homens, a largura foi 17% da altura de pé, e 9 cm menor do que a largura inter trochanter; nas mulheres essa foi 14% da altura de pé, 6 cm menor do que a largura inter trochanter. A largura de tornozelo foi 11% da altura do sujeito, e 9 (homens) e 4 (mulheres) cm menor do que a largura de joelho.

Na saída, os ângulos de saída (entre o solo e a linha da cabeça da fíbula e o acrômio) foram em média 40° nos homens e 48° nas mulheres (tabela 3). O ângulo de tronco-coxa apresentou excelente alinhamento corporal em todos os sujeitos (todos os valores foram bem próximos de 180°).

Durante AML, sete ginastas dos sete apresentaram paralelismo próximo entre seus apoios de mãos e pés (tabela 4): somente M2 e F1 apresentaram ângulos maiores do que 20°. Em média, a flexão de membro superior foi semelhante em homens e mulheres; em contraste, as mulheres executaram o AML com pulsos mais juntos do que os homens, tanto como valores absolutos e como uma porcentagem de largura de ombro (interacromia) (134% em homens; 121% em mulheres).

O impulso de membro superior no início do Segundo voo foi bastante variável entre os ginastas analisados, variando entre 10 e 32 cm; em média, este movimento correspondeu a 12% da altura de pé em homens e 9% em mulheres.

Tabela 4. Medidas cinemáticas dos *flic flacs*: ginastas durante o apoio de mão.

Gymnast	Apoio de mão invertido			Início do 2º voo
	Paralelismo de mão-pés (g)	Flexão linear de membros superiores (cm)	Larguras de pulso (cm)	Impulso de membro superior (cm)
M1	3	10	45	26,4
M2	20	16	38	31,6
M3	7	3	48	15,1
M4	1	4	44	21,2
M5	5	5	40	14,4
M6	10	13	39	16,0
F1	29	4	29	13,9
F2	9	10	40	10,1
F3	4	10	27	18,7

Alinhamento corporal durante apoio de mão invertido e no início do segundo voo. Paralelismo mão-pés: valores positivos; flexão e impulso de membro: valor direito-esquerdo médio.

DISCUSSÃO

O *flic flac* é um movimento acrobático o qual é geralmente utilizado para o movimento de cair ao solo durante competições. Investigações biomecânicas anteriores sobre ginástica de solo na maioria das vezes se detém em reações de força^{8,2}, sugerindo importantes elementos para a melhora de rendimento e segurança do movimento. Contudo, dados detalhados sobre o rendimento real de elementos técnicos são também cruciais para o ensino e aprendizado^{16,17,19}.

O presente estudo-piloto considerou alguns parâmetros técnicos para definir as características de execução de *flic flacs*. Quantitativamente, avaliações 3-D são necessárias para auxiliar no ensinamento técnico, oferecendo aos treinadores experientes um apoio objetivo que pode tanto auxiliar os ginastas e gerar embasamento para compartilhar referências mais abrangentes^{12,16,19}. Como sugerido por Baudry, *et al.*¹⁶, o método poderia também ser utilizado para medir o progresso em movimentos após sessões de treinamento.

O *flic flac* foi dividido em fases simples e posições corporais que representam fatores consecutivos importantes para um desempenho com sucesso (i.e., altura vertical, comprimento do voo e projeção para trás) a serem considerados.

Por exemplo, em várias ocasiões o rendimento foi diferente entre homens e mulheres. Ginastas masculinos executaram um primeiro voo com altura e comprimento semelhantes, enquanto ginastas femininos apresentaram um primeiro voo relativamente maior (deslocamento vertical maior do que o horizontal). Mulheres apresentaram um ângulo mais vertical de início na saída do movimento (em média, 48° vs. 40° em homens), e um ângulo posterior de joelho maior (Tabela 3). Mobilidade e flexibilidade de coluna maior em mulheres pode ser um fator-chave neste rendimento diferente. Movimentos de coluna durante a execução de *flic flacs* variam de flexão e hiperextensão em alguns segundos, colocando a região lombar em grande risco de lesão^{4,5,8,20}.

O alinhamento corporal foi quase perfeito em alguns ginastas (ângulo entre tronco e coxa bem próximo de 180°). Na verdade, o alinhamento corporal é um dos parâmetros técnicos mais importantes na ginástica³, como ressaltado em várias investigações anteriores¹⁶⁻¹⁹.

O nível de paralelismo entre mão e pés durante a projeção para trás sugere um desempenho avançado. Na verdade, uma projeção linear para trás é importante para a geração de momentum e velocidade horizontal⁹. Além disso, levando-se em consideração que na ginástica as extremidades superiores são geralmente utilizadas para sustentar o

peso corporal, uma execução correta de todas as fases (acima de tudo AMI) se faz necessária não somente para um desempenho satisfatório, mas também para evitar (ou reduzir) macro e micro lesões durante a execução de exercícios de solo^{4,6,8,19,21}.

Os membros superiores devem amortecer o peso corporal e instantaneamente criar um impulso de volta: assim, o alinhamento de braço se torna crucial para evitar estresse adicional utilizado para corrigir o erro. Como demonstrado por Kerwin & Trewartha¹⁹, movimentos de pulso e torque são especialmente importantes em ginastas enquanto alcançando o apoio de mão. Em especial, mesmo as lesões de extremidades superiores representando somente 15-25% de lesões na ginástica^{4,5}, dor nos pulsos por lesões de 'overuse' (fratura de estresse e lesão de deslocamento em especial,⁶ são bastante comuns, e posicionam um efeito negativo no treinamento de ginástica, reduzindo sua intensidade e duração^{8,21}.

Lesões de extremidades inferiores representam a maioria das lesões na ginástica (mais que 70%,^{4,5}): os tornozelos, as articulações mais frequentemente envolvidas, sustentam carga repetitiva durante a execução de exercícios de solo. A aterrissagem contabiliza a frequência maior de lesões (31%) durante tanto competição e treinamento⁵.

O método descrito no presente estudo pode ser utilizado para coletar dados em um grande grupo de ginastas de elite de ambos os sexos para definir algumas "execuções de padrão-ouro", com parâmetros relacionados a medidas antropométricas individuais. Além disso, os mesmos parâmetros técnicos poderiam ser utilizados nos métodos biomecânicos para rendimento em ginástica, melhorando o modelo e otimizando os algoritmos de execução^{8-11, 22}.

CONCLUSÃO

Uma execução correta (executada por ginastas do time nacional como neste estudo) pode também ser utilizada como base para execução preliminar didática a qual auxilia o treinador a colocar marcas no chão e referências durante a sessão de aprendizagem.

A execução do padrão-ouro pelos ginastas nacionais (com algumas lesões) poderia ser utilizada como referência no intuito de reduzir acidentes também em atletas menos experientes^{5,7,8}.

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

REFERÊNCIAS

1. Claessens AL, Lefevre J, Beunen G, Malina RM. The contribution of anthropometric characteristics to performance scores in elite female gymnasts. *J Sports Med Phys Fitness* 1999;39:355-60.
2. McNeal JR, Sands WA, Shultz, BB. Muscle activation characteristics of tumbling take-offs. *Sports Biomech* 2007;6:375-90.
3. F.I.G. (Federation Internationale de Gymnastique). Code de pointage (Code of Points). Paris: Promo Gym, 2006.
4. Caine DJ, Nassar L. Gymnastics injuries. *Med Sport Sci* 2005;48:18-58.
5. Marshall SW, Covassin T, Dick R, Nassar LG, Agel J. Descriptive epidemiology of collegiate women's gymnastics injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2003-2004. *J Athl Train* 2007;42:234-40.
6. Webb BG, Rettig LA. Gymnastic wrist injuries. *Curr Sports Med Rep* 2008;7:289-95.
7. Purnell M, Shirley D, Nicholson L, Adams R. Physical Therapy in Sport. Acrobatic gymnastics injury: occurrence, site and training risk factors. *Phys Ther Sport* 2010;11:40-6.
8. Davidson PL, Mahar B, Chalmers DJ, Wilson BD. Impact modeling of gymnastic back-handsprings and dive-rolls in children. *J Appl Biomech* 2005;21:115-28.
9. King MA, Yeadon MR. Maximising somersault rotation in tumbling. *J Biomech* 2004;37:471-7.
10. Linge S, Hallingstad O, Solberg F. Modelling the parallel bars in men's artistic gymnastics. *Hum Mov Sci* 2006;25:221-37.
11. Yeadon MR, Brewin MA. Optimised performance of the backward longswing on rings. *J Biomech* 2003;36:545-52.
12. Cagran C, Huber P, Müller W. Dynamic force measurements for a high bar using 3D motion capturing. *J Biomech* 2010;43:767-70.
13. Vandorpe B, Vandendriessche J, Vaeyens R, Pion J, Lefevre J, Philippaerts R, et al. Factors discriminating gymnasts by competitive level. *Int J Sports Med* 2011;32:591-7.
14. Croix G, Chollet D, Thouvairecq R. Effect of expertise level on the perceptual characteristics of gymnasts. *J Strength Cond Res* 2010;24:1458-63.
15. Baudry L, Leroy D, Thouvairecq R, Choller D. Auditory concurrent feedback benefits on the circle performed in gymnastics. *J Sports Sci* 2006;24:149-56.
16. Baudry L, Seifert L, Leroy D. Spatial consistency of circle on the pedagogic pommel horse: influence of expertise. *J Strength Cond Res* 2008;22:608-13.
17. Grassi GP, Santini T, Lovecchio N, Turci M, Ferrario VF, Sforza C. Spatiotemporal consistency of trajectories in gymnastics. *Int J Sports Med* 2005;26:134-8.
18. Grassi GP, Turci M, Shirai YF, Lovecchio N, Sforza C, Ferrario VF. Body movements on the men's competition mushroom: a three-dimensional analysis of circular swings. *Br J Sports Med* 2005;39:489-92.
19. Kerwin DG, Trewartha G. Strategies for maintaining a handstand in the anterior-posterior direction. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1182-8.
20. Beck A, Gebhard F, Kinzl L, Rüter A, Hartwig E. Spinal cord injury without radiographic abnormalities in children and adolescents: case report of a severe cervical spine lesion and review of literature. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2000;8:186-9.
21. DiFiori JP, Puffer JC, Aish B, Dorey F. Wrist pain in young gymnasts: frequency and effects upon training over 1 year. *Clin J Sport Med* 2002;12:348-53.
22. Chow JW, Knudson DV. Use of deterministic models in sports and exercise biomechanics research. *Sports Biomech* 2011;10:219-33.