

RELAÇÕES ENTRE ROLAMENTO DO CORPO E CARACTERÍSTICAS CINEMÁTICAS DA TÉCNICA DE COSTAS

L. A. M. Nunes, F. J. B. F. Alves
Universidade Técnica de Lisboa – Faculdade de Motricidade Humana

Resumo

O objetivo deste estudo foi descrever as características cinemáticas e biomecânicas da técnica de costas, verificando a relação entre o rolamento do corpo e a velocidade de nado durante as diferentes fases do ciclo gestual. Oito nadadores foram filmados por 4 câmeras digitais (2 acima e 2 abaixo da superfície) em velocidade de competição e analisados através do software APAS. Os cálculos foram efetuados com recurso ao programa SPSS 12.0 e o Microsoft Excel, e para a associação entre as variáveis foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson, adotando-se um valor $p < 0.05$. Foi encontrada forte correlação positiva (.883, $p < 0.01$) entre aceleração da mão na ação ascendente adicional (AAA) e máxima amplitude de rolamento do ombro, o que parece indicar que os nadadores com maiores ângulos de rotação da cintura escapular conseguem acelerar mais a mão na última fase propulsiva da braçada.

Palavras chaves: *Natação, técnica de costas, cinemática, análise tridimensional, rolamento do corpo e parâmetros espaço-temporais.*

Abstract

The purpose of this study was to describe the kinematical and biomechanical characteristics of backstroke technique, verifying the relation among body roll and swim speed during the distinct phases of the armstroke. Eight swimmers were filmed with 4 digital videocameras (2 above and 2 underwater) in competitive velocity and analysed through the software APAS. The calculations were made with aid of the SPSS 12.0 program and Microsoft Excel, and for the association among variables, Pearson's coefficient of correlation was used, with $p < 0.05$. It was found strong positive correlation (.883, $p < 0.01$) between acceleration of the hand in the additional ascending action (AAA) and maximum amplitude of shoulder roll, what seems to indicate that the swimmers with larger angles of rotation of the scapular waist get to accelerate more the hand in the last propulsive phase of the armstroke.

Key words: *Swimming, backstroke technique, cinematic, 3D analysis, body roll, and spatial-temporal parameters.*

INTRODUÇÃO

A natação competitiva é um esporte único, uma atividade dinâmica onde o corpo está constantemente alterando a posição durante cada ciclo gestual. As particularidades onde ela se desenvolve e as características que o meio oferece aos nadadores para propulsionarem seus corpos, *per se*, a colocam no campo das atividades complexas. O êxito nesta modalidade está relacionado a diversos fatores, dentre os quais o de carácter

biomecânico, especificamente da técnica de nado. Uma técnica adequada possibilita ao nadador se deslocar com menor gasto energético para uma mesma velocidade de nado. Ao se deslocarem na água, os nadadores realizam movimentos com os membros superiores e inferiores em vários sentidos e com características cinemáticas e biomecânicas distintas. As direções são complexas e constituídas por componentes verticais, horizontais e laterais. Nas técnicas alternadas foi sugerido que o principal meio gerador de força propulsiva é a rotação dos

músculos da cintura pélvica e do tronco (Prichard, 1993).

O rolamento do corpo em torno do eixo longitudinal começou a ser executado no início do século XX e culminou com o êxito da equipa japonesa na Olimpíada de 1932 (Colwin, 1992). É constituído pelas rotações das cinturas escapular e pélvica, sendo suas principais funções: colocar os membros superiores em melhor posição para gerar força propulsiva, permitir o movimento diagonal dos membros inferiores para estabilizar o corpo e minimizar os movimentos laterais do nadador (Maglischo, 2003). Para além destas particularidades, os nadadores ao realizarem uma quantidade apropriada deste movimento, facilitam a ação da respiração na técnica de crawl (Yanai, 1998, 2001a), aprimoram os movimentos médio-laterais da mão durante a trajetória subaquática da braçada (Hay et al., 1993; Liu et al., 1993; Payton et al., 1997), e reduzem a possibilidade de desenvolvimento da síndrome do “ombro do nadador” (Ciullo e Stevens, 1989).

Nos últimos anos numerosas pesquisas têm sido realizadas para verificar a relação entre o rolamento do corpo e a velocidade da mão, tanto em estudos simulados (Hay et al., 1993; Payton et al., 1997), quanto em experimentais (Castro et al., 2003; Liu et al., 1993; Payton et al., 2002; Payton et al., 1999), assim como para explicar as causas do rolamento do corpo (Yanai, 2001b) e a relação entre este último com a flutuação (Yanai, 2004) e a frequência gestual (Yanai, 2003) na técnica de crawl. Por outro lado, técnica de costas tem sido pouco explorada.

Nas técnicas alternadas, o ângulo de rotação do corpo em relação a superfície da água está situado entre 35° e 45° para cada lado. As fases propulsivas da braçada são sincronizadas com a rotação do corpo para preservar a estabilidade do fluxo de água ao longo do nadador (Colwin, 1992). Ainda para este autor, o alinhamento ideal do corpo deve coincidir com o pico de aceleração da mão para reduzir a resistência ao avanço e aumentar o tempo de propulsão. A mão atinge a velocidade máxima quando o membro superior se encontra entre 65% e 80% da trajetória submersa da braçada. Em outras palavras, a observação dos movimentos subaquáticos dos nadadores de alto nível parece indicar que o rolamento máximo do corpo coincide com o pico de aceleração da mão.

A direção e a velocidade da rotação do corpo são controladas pelos membros superiores durante todo o ciclo gestual e parece que cada nadador tem um tempo individual de rotação que pode estar relacionado à estatura, largura média do corpo

e capacidade de flutuação (Colwin, 1992). Nadadores mais altos, constituídos de ossos mais longos e mais leves, parecem rodar o corpo longitudinalmente com maior rapidez quando comparados aos congêneres de corpos mais robustos e fortes. Outra particularidade do rolamento do corpo é que frequências gestuais mais elevadas podem estar associadas com uma diminuição no ângulo de rotação do corpo (Beekman e Hay, 1988).

Numa análise dos participantes da prova de 100 metros crawl para homens nos Jogos Olímpicos de 1992, (Cappaert et al., 1995), os pesquisadores identificaram que os atletas de elite têm rolamento simétrico entre as cinturas escapular e pélvica, contrariamente ao grupo classificado como sub-elite. A rotação em oposição das duas cinturas pode aumentar a resistência ativa à medida que o movimento do quadril para baixo faz aumentar a área de superfície frontal. Da mesma forma, os melhores atletas diferem dos demais por possuírem um padrão de braçada mais eficiente e um melhor alinhamento lateral, o que faz com que atinjam velocidades de nado mais elevadas sem necessitar de maiores forças propulsivas.

Payton e Mullineaux (1996), num estudo que relacionou o efeito do rolamento do corpo na velocidade da mão na fase propulsiva da braçada de crawl através de um modelo matemático, concluíram que a velocidade angular da rotação do corpo influencia diretamente a velocidade médio-lateral e vertical da mão, mas sem efeito na amplitude da braçada. Contudo, a maior influência era quando na realização do movimento o cotovelo era posicionado em total extensão, contrariando afirmações anteriores (Barthels, 1979). De acordo com estes resultados, os autores especularam sobre o importante papel desta relação na geração de força propulsiva ascensional. Posteriormente, num estudo experimental Payton et al. (1999), os autores retificaram suas hipóteses anteriores e concluíram que durante a ação lateral interior na técnica de crawl, o rolamento do corpo age para reduzir a velocidade médio-lateral da mão, contrariando várias pesquisas que utilizaram modelos matemáticos (Hay et al., 1993; Payton et al., 1997). Os autores afirmaram que sem a rotação do corpo, a velocidade da mão nesta fase da braçada poderia aumentar em 46%. Desta forma, é provável que movimentos de extensão e flexão do ombro e de flexão do cotovelo sejam os principais responsáveis pela aceleração da mão, fato confirmado em estudo seguinte (Payton et al., 2002).

Castro et al. (2003), estudaram os ângulos de rolamento do corpo para os dois

lados em nadadores de elite na técnica de crawl em diferentes velocidades. Foi solicitado que os atletas realizassem repetições em duas condições: com e sem respiração. Os autores constataram que o ângulo de rolamento do corpo diminuía consideravelmente consoante o aumento da velocidade de nado, independentemente das condições de respiração. Contudo, quando tinham que respirar os nadadores apresentaram valores que oscilavam entre 63° e 74°, contra 50° a 65° para o lado oposto, valores estes que estão de acordo com os dados encontrados por Payton et al., (1999). Não foram detectadas diferenças entre os dois lados do corpo quando os atletas nadavam sem respiração. Segundo Yanai (2001b), os ângulos de rotação das cinturas escapular e pélvica variam de forma síncrona com a frequência do ciclo, mas suas amplitudes são substancialmente diferentes, encontrando valores de 58° e 36° para os rolamentos dos ombros e do quadril, respectivamente. Na técnica de costas, onde o rosto permanece todo o tempo acima da superfície, a exceção das viradas, se pode por dedução sugerir que a rotação do corpo é simétrica para ambos os lados.

Yanai foi quem mais investigações realizou sobre a ação do rolamento do corpo em torno do eixo longitudinal na técnica de crawl. Num primeiro estudo (Yanai, 1998), que procurou identificar os fatores mecânicos que poderiam explicar esta ação, o autor concluiu que é necessário existir um torque externo para que haja rotação do corpo. Hipoteticamente, o torque externo era gerado pelo batimento das pernas durante a recuperação dos braços, pela ação lateral interior da braçada e através da força de flutuação que age lateralmente em relação ao centro de gravidade do corpo. Em estudos posteriores Yanai (2001a, 2003), além de confirmar suas hipóteses, o pesquisador identificou correlações negativas entre o aumento da frequência gestual e a amplitude de rolamento do corpo. Mais recentemente Yanai (2004), demonstrou que nadadores mais habilidosos utilizam a força de flutuação como fonte principal para girar o corpo. Da mesma forma, comprovou que os nadadores mais rápidos utilizam essa força de modo mais eficaz que os atletas mais lentos.

Com base no exposto anteriormente, o objetivo deste estudo é descrever as características cinemáticas e biomecânicas da técnica de costas, verificando a relação existente entre o rolamento do corpo e a velocidade de nado durante as diferentes fases do ciclo gestual.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostra

Para o estudo foram selecionados 4 nadadores (22,85 ±4,12 anos; 72,57 ±11,23Kg; 185,14 ±8,95cm) e 4 nadadoras (17,44 ±3,82 anos; 59,18 ±8,38Kg; 165,74 ±5,72cm) com experiência mínima de 2 anos e que participam atualmente em provas nacionais e internacionais, compondo a seleção Júnior e Sênior da Federação Portuguesa de Natação. Os participantes assinaram um termo de consentimento para a realização da pesquisa.

Procedimentos metodológicos

Foi solicitado aos nadadores que efetuassem a distância de 50m na técnica de costas em velocidade máxima. O registro de imagens foi realizado por meio de quatro câmeras digitais, posicionadas obliquamente ao volume de calibração e ao plano do deslocamento dos nadadores, sendo 2 acima e 2 abaixo da superfície da água. Todas as câmeras operaram a 50Hz e foram reguladas para uma velocidade de obtenção de 1/250. Os nadadores foram previamente marcados nos principais pontos anatômicos de referência para posterior digitalização, a saber: tornozelos, joelhos, ombros, cotovelos e punhos.

Tratamento das imagens

As imagens foram recolhidas em formato magnético DV (*digital video*) e posteriormente transferidas para o disco rígido do computador através de um *software* específico, o *Pinnacle® Studio 8*. O *software* utilizado para a análise das imagens provenientes das quatro câmeras foi o *Ariel Performance Analysis System®* (APAS) da *Ariel Dynamics*.

Tratamento estatístico

Os cálculos foram realizados com recurso ao programa SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) 12.0 e o Microsoft Excel 2003 para o Windows. Para a verificação da normalidade na distribuição das variáveis foi utilizada a estatística não-paramétrica, nomeadamente o teste de Shapiro-Wilk, devido ao número reduzido da amostra. No processo de associação entre as variáveis foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson. O valor de significância estatística adotado foi $p < 0.05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros espaço-temporais, nomeadamente, a velocidade de nado (VN), a distância do ciclo (DC) e a frequência gestual (FG) dos nadadores, apresentaram os seguintes valores, respectivamente: $1,38 \pm 0,24$ m/s; $2,31 \pm 0,27$ m e $36,3 \pm 7,66$ ciclos/min. Estas variáveis estão enquadradas nos estudos desta técnica em particular (Alves, 1994; Craig et al., 1985; Kennedy et al., 1990; Pai et al., 1984). A VN superior atingida pelos homens se deve especificamente à maior amplitude de braçadas, característica observada em estudos anteriores (Chengalur e Brown, 1992; Letzelter e Freitag, 1983; Smith et al., 1988).

Os valores máximos e mínimos encontrados para a rotação das cinturas escapular e pélvica foram, respectivamente, de $-73,63^\circ$ a $67,86^\circ$ e $-47,84^\circ$ a $50,92^\circ$. Os dados da cintura escapular apresentaram valores superiores aos referenciados pela literatura (Maglischo, 2003). Da mesma forma, quando comparados os valores entre as cinturas escapular e pélvica, se verifica que os ângulos de rotação alcançados pela primeira são superiores em relação à segunda, contrariando dados anteriores (Cappaert et al., 1996), mas de acordo com Yanai (2001b) para a técnica de crawl.

No que concerne à sincronização entre as cinturas, não se verificou relação entre a sincronia e a performance, pelo menos em relação aos nadadores da amostra, contrariando estudos anteriores (Cappaert et al., 1996). Isto pode ser verificado nas figuras 1 e 2, que exibem dois nadadores que se enquadraram entre os que alcançaram as maiores e menores VN. O nadador N2 foi o mais rápido, atingindo a velocidade de 1,71 m/s. O atleta N8, por outro lado, conseguiu apenas alcançar a velocidade de 1,16 m/s, diferença significativa em relação à média ($1,38 \pm 0,25$).

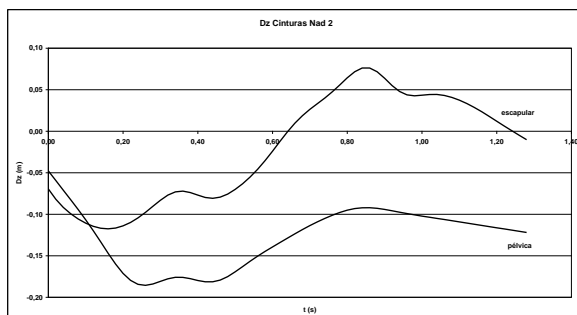


Figura 1. Representação gráfica do deslocamento vertical (Dz) em função do tempo das cinturas escapular e pélvica referente ao mesmo lado do corpo do nadador N2.

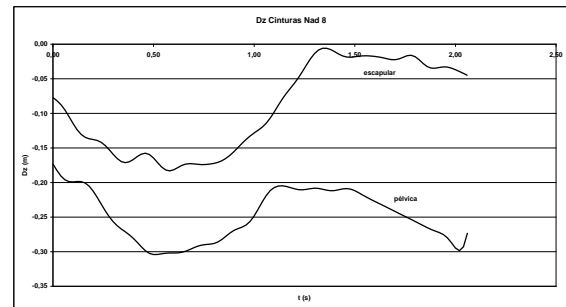


Figura 2. Representação gráfica do deslocamento vertical (Dz) em função do tempo das cinturas escapular e pélvica referente ao mesmo lado do corpo do nadador N8.

A discussão anterior deve ser interpretada com cautela, uma vez que somente um dos nadadores inseridos no grupo dos mais rápidos não apresentou sincronia entre cinturas. Da mesma forma, parece incoerente afirmar que os nadadores que atingiram menores VN tenham obrigatoriamente que possuir assincronia entre as cinturas. Outras variáveis podem contribuir, entre elas, a estatura e o gênero. Desta forma, nadadores de costas com baixas VN podem rodar o corpo em torno do eixo longitudinal de forma síncrona.

Quando da associação entre as variáveis FG e ângulo máximo atingido pela cintura escapular e pélvica através do coeficiente de correlação de *Pearson*, foi estabelecida uma relação positiva entre a frequência e a rotação do ombro. Desta forma, os nadadores que apresentaram FG mais elevadas atingiram maiores rotações da cintura escapular. Por outro lado, não foi encontrada relação entre FG e rotação do quadril. Estes resultados também vão de encontro aos relatos de Beekman e Hay (1988) e Yanai (2001a, 2003), que sugeriram relações negativas entre FG e ângulo de rotação do corpo.

O ângulo máximo de rotação do ombro da maioria dos nadadores foi alcançado no fim da ação descendente inicial (ADI), um pouco mais cedo do referenciado na literatura (Maglischo, 2003), apesar de identificarmos alguns atletas com máximo rolamento dos ombros na ação ascendente (AA). No que se refere à rotação da cintura pélvica, os resultados apresentaram comportamento similar, com alguns nadadores a apresentar uma ligeira antecipação em relação ao movimento rotacional dos ombros, como pode ser observado na figura 2 do N8. Contudo, não há evidência que o rolamento do corpo tenha origem na rotação do quadril.

Quando verificado o grau de associação entre a aceleração do centro de massa e as fases propulsivas do ciclo gestual, somente foi detectada correlação positiva entre VN e aceleração tridimensional da mão (A3Dmão) na ação ascendente adicional (AAA), (.921 para $p < 0,01$), o que indica que a amostra é

caracterizada por nadadores que geram propulsão através do padrão de três picos de força propulsiva, pois a aceleração do corpo é especificamente às custas da AAA. É importante relatar que a A3Dmão foi da mesma forma correlacionada positivamente com a velocidade tridimensional da mão.

Quando associadas as variáveis ângulo máximo de rotação do corpo e aceleração da mão que iniciou o ciclo gestual nas fases propulsivas, somente foi encontrada correlação positiva entre A3Dmão na AAA e amplitude de rolamento do ombro (.883 para $p < 0.01$), a indicar que os nadadores com maiores ângulos de rotação da cintura escapular conseguem acelerar mais a mão na última fase propulsiva da braçada. Isto confirma os resultados de outros autores (Hay et al., 1993; Liu et al., 1993; Payton et al., 1997), que estudaram a técnica de crawl e sugeriram que um rolamento de corpo adequado aprimora os movimentos médio-laterais da mão. Também foi verificada uma correlação positiva entre rotação do quadril e deslocamento vertical do ombro durante a AAA, para $p < 0.05$, o que sugere que as cinturas estão a rodar de forma síncrona, característica de nadadores de melhor desempenho (Cappaert et al., 1995).

Quando analisada a associação entre o máximo ângulo de rolamento do corpo e a velocidade do centro de massa, foi encontrada uma forte correlação positiva (.926 para $p < 0.01$) entre a rotação dos ombros e velocidade, o que indica que os nadadores que são capazes de atingir VN superiores têm maior amplitude de rolamento dos ombros.

A literatura (Maglischo, 2003), sugere que os nadadores com maior rolamento do corpo possuem movimentos laterais minimizados, o que parece contribuir para uma maior VN ao diminuir a resistência frontal. Porém, quando associada a rotação das cinturas escapular e pélvica à amplitude média de deslocamento lateral do centro de massa durante as fases propulsivas do ciclo gestual, não foram verificadas relações. Todavia, os atletas que atingiram VN mais elevadas foram aqueles que apresentaram maiores amplitudes laterais do centro de massa (.795 para $p < 0,05$), contrariando o sugerido anteriormente.

CONCLUSÃO

Da relação entre os parâmetros espaço-temporais e a performance na técnica de costas, se conclui que a única variável que diferencia os nadadores de maior desempenho daqueles que atingiram menores VN é a FG. O valor desta variável é significativamente

superior nos atletas com melhor desempenho. Contudo, quando comparados estes parâmetros em função do gênero, a DC foi a característica que diferenciou os nadadores de maior e menor velocidade.

Os nadadores estudados são caracterizados por apresentar um padrão de três picos de força propulsiva, pois criam propulsão em três fases submersas da braçada, nomeadamente na AA, ação descendente final e AAA. Este padrão está associado a atletas de alto nível. Por outro lado, encontramos alguns atletas que apresentavam somente dois picos de força propulsiva, não tendo aproveitamento da AAA.

A correlação entre FG e ângulo máximo de rotação do corpo é positiva, a indicar que os nadadores que atingiram valores mais elevados de ciclos de braçada por minuto foram aqueles que alcançaram maiores amplitudes de rolamento do corpo. Quando da comparação entre a rotação das cinturas escapular e pélvica, se verificou que a amplitude atingida pelos ombros é superior.

Da caracterização do rolamento do corpo no eixo longitudinal, nomeadamente da relação entre a rotação das cinturas escapular e pélvica, se observa que os nadadores que atingiram maiores VN possuem sincronia nesses segmentos. Todavia, devido ao facto deste comportamento também ter sido observado em atletas de menor prestação, não se pode identifica-lo como indicador de sucesso.

A associação entre aceleração do centro de massa do corpo e fases propulsivas do ciclo gestual se mostrou positiva somente na AAA, o que identifica esta fase como eminentemente propulsiva. Da mesma forma, uma forte correlação positiva foi encontrada entre as variáveis amplitude de rolamento dos ombros e VN.

Não foi encontrada qualquer relação que associasse uma amplitude superior de rolamento do corpo com menores deslocamentos laterais do centro de massa. Por outro lado, os nadadores que atingiram VN mais elevadas foram aqueles que apresentaram maiores amplitudes laterais do centro de massa. Com base nas conclusões anteriores, sugerimos que os nadadores de costas, para melhorar o desempenho, devem aumentar a FG e procurar ao mesmo tempo manter a maior amplitude de rolamento da cintura escapular.

REFERÊNCIAS

1. Alves F. Analysis of swimming races. *Journal of Biomechanics*. 1994; 27 (6): 653.
2. Barthels KM. The mechanism for body propulsion from swimming. In: Terauds J, Bedingfield EW. (eds). *Swimming III*. University Park Press, Baltimore; 1979: 45-54.
3. Beekman KA, Hay JG. Characteristics of front crawl techniques of swimmers with shoulder impingement syndrome. *Journal of Swimming Research*, 1984 (3): 11-14.
4. Cappaert JM, Pease DL, Troup JP. Three-dimensional analysis of the men's 100m freestyle during the 1992 Olympic games. *Journal of Applied Biomechanics*. 1995; (11): 103-112.
5. Cappaert JM, Pease DL, Troup JP. Biomechanical highlights of World Champion and Olympic swimmers. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA (eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming Science VII*. London, E & FN Spon; 1996: 76-80.
6. Castro F, Minghelli F, Floss J, Guimarães A. Body roll angles in front crawl swimming at different velocities. In: Chatard JC (ed). *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*. St Etienne, University of St Etienne; 2003: 111-114.
7. Chengalur SN, Brown PL. An analysis of male and female Olympic swimmers in the 200m events. *Canadian Journal of Sport Science*. 1992; 17 (2): 104-109.
8. Ciullo J, Stevens G. The prevention and treatment of injuries to the shoulder in swimming. *Sports Medicine*. 1989; (7): 182-204.
9. Colwin C. *Swimming into 21st century*. Champaign Illinois: Leisure Press, 1992.
10. Craig AB, Skehan PL, Pawelczyk JA, Boomer WL. Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1985; (17): 625-634.
11. Hay JG, Liu Q, Andrews AG. Body roll and handpath in freestyle swimming: a computer simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*. 1993; (9): 227-237.
12. Kennedy P, Brown P, Chengalur S, Nelson R. Analysis of male and female Olympic swimmers in the 100-meter events. *International Journal of Sport Biomechanics*. 1990; (6): 187-197.
13. Letzelter H, Freitag, W. Stroke length and stroke frequency variations in men's and women's 100m freestyle swimming. In: Hollander AP, Huijing PA, de Groot G (eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Champaign IL, Human Kinetics. 1983; 315-322.
14. Liu Q, Hay JG, Andrews AG. Body roll and handpath in freestyle swimming: an experimental study. *Journal of Applied Biomechanics*. 1993; (9): 238-253.
15. Maglischo EW. *Swimming fastest*. Champaign: Human Kinetics, 2003.
16. Pai YC, Hay JG, Wilson BD, Thayer AL. Stroking techniques of elite swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1984; 20 (2): 159.
17. Payton C, Baltzopoulos V, Barlett R. Contributions of rotations of the trunk and upper extremity to hand velocity during front crawl swimming. *Journal of Applied Biomechanics*. 2002 (18): 243-256.
18. Payton C, Bartlett RM, Baltzopoulos V. The contribution of body roll to hand speed in front crawl swimming – an experimental study. In: Keskinen K, Komi P, Hollander P (eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. Department of Biology of Physical Activity, Jyväskylä; 1999: 65-70.
19. Payton C, Bartlett RM, Baltzopoulos V, Coombs R. Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breathing-holding front crawl swimming. *Journal of Sports Sciences*. 1999; (17): 689-696.
20. Payton C, Hay J, Mullineaux D. The effect of body roll on hand speed and hand path in front crawl swimming – a simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*. 1997; (13): 300-315.
21. Payton C, Mullineaux D. Effect of body roll on hand velocity in freestyle swimming. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA (eds). *Biomechanics and Medicine in Swimming Science VII*. London, E & FN Spon; 1996: 59-63

22. Prichard B. A new swim paradigm: swimmers generate propulsion from the hips. *Swimming Technique*. 1993; (30): 17-23.
23. Smith H, Montepetit R, Perrault H. The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique and performance. *European Journal of Applied Physiology*. 1998; (58): 182-188.
24. Yanai, T. Mechanics of body roll in front-crawl swimming. In: Riehle H, Vieten M (eds). *Proceedings of the XVIth International Symposium on Biomechanics and Sports*. Germany, UVK; 1998: 293-296.
25. Yanai T. Rotational effect of buoyancy in frontcrawl: does it really cause the legs to sink? *Journal of Biomechanics*. 2001a; (34): 235-246.
26. Yanai T. What causes the body to roll in front-crawl swimming? *Journal of Applied Biomechanics*. 2001b; (17): 28-42.
27. Yanai T. Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions. *Journal of Biomechanics*. 2003; (36): 53-62.
28. Yanai T. Buoyancy is the primary source of generating bodyroll in front-crawl swimming. *Journal of Biomechanics*. 2004; (37): 605-612.

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

Luiz Alexandre de Menezes Nunes
Bolsista do Programa Alban
Endereço para correspondência:
Rua das Andorinhas Quadra 11 Casa 13
Renascença II São Luís MA Brasil
Email: l.alexnunes@hotmail.com
<http://lattes.cnpq.br/4537796824261587>

Francisco José Bessone Ferreira Alves
Universidade Técnica de Lisboa – Faculdade
de Motricidade Humana
Email: falves@fmh.utl.pt
<http://www.fmh.utl.pt/pt/contactos/docentes/item/650-francisco-jose-bessone-ferreira-alves>

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos: Agradecimentos ao Programa Alban que possibilitou a realização desta pesquisa.