

Nado submerso ondulatorio: uma visão sobre o quinto nado

Underwater undulatory swimming: a vision about the fifth swim

SANTOS JUNIOR JM, DIAS JABS, NOGUEIRA MDGR, MANSOLDO AC. Nado submerso ondulatorio: uma visão sobre o quinto nado. *R. bras. Ci. e Mov* 2011;19(1):100-107.

Joel M. Santos Junior¹
Jorge A. B. de S. Dias²
Maressa D. G. R. Nogueira²
Antonio C. Mansoldo²

¹Universidade Santa Cecília
²Universidade de São Paulo

RESUMO: Este trabalho de revisão tem como objetivo analisar o Nado Submerso Ondulatorio (NSO) que é considerado pelos atletas e treinadores como o “quinto nado”. Este nome surgiu devido aos quatro nados já conhecidos (crawl/livre, costas, peito e borboleta). Em qualquer um destes quatro nados, o NSO é utilizado nos momentos da saída do bloco e nos momentos de viradas devido a sua eficiência. Sabe-se que esses momentos são importantíssimos e que contribuem para a classificação dos nadadores durante as competições. Apesar da grande utilização desta técnica e de sua importância, poucos estudos vêm sendo realizados com a intenção de estudar as variáveis relacionadas ao NSO. Assim, esta revisão serve como uma tentativa de preenchimento dessa lacuna importante para área da Educação Física. Além disso, pretende-se com este trabalho levantar questões referentes ao NSO que servirão tanto para a aplicação prática como para a melhor compreensão desta técnica.

Palavras-chave: Natação; Biomecânica; Desempenho.

ABSTRACT: This review aims to examine the underwater undulatory swimming (UUS) that is considered by athletes and coaches as the fifth swim. This name came about due to the four already known swims (crawl/freestyle, backstroke, breaststroke and butterfly). In any of these four swims, the UUS is used in the moments of output of the block and in the moments of turns because of their efficiency. It is known that these moments are very important and contribute to the classification of swimmers during the competition. Despite the wide use of this technique and its importance, few studies have been done with the intent to study the variables related to the UUS. This review serves as an attempt to fill this important gap for the Physical Education area. Furthermore, to pretend of this work raise questions concerning the UUS that will serve both the practical application and to better understand this technique.

Key Words: Swimming; Biomechanics; Performance.

Enviado em: 25/01/2011
Aceito em: 29/05/2011

Contato: Joel Moraes Santos Junior - professor-joel@hotmail.com

Introdução

O nado submerso ondulatório (NSO) em decúbito ventral (para o nado borboleta) e dorsal (para o nado costas) é um procedimento tradicionalmente realizado após a saída do bloco e as viradas na natação¹. Durante os jogos olímpicos de Moscou, na década de 80, foi possível notar alguns nadadores percorrendo 25 metros em NSO nas provas de costas². Pouco tempo depois, Clothier *et al.*³ afirmaram que, em Seul (1988) foram verificadas significativas reduções nos recordes mundiais no nado de costas devido à utilização do NSO que resultou em maior eficiência.

O uso desta técnica é baseado no fato de que nadar abaixo da superfície da água diminui o arrasto de onda^{4,5} e pode consequentemente dar uma vantagem competitiva ao nadador^{6,7,8}. Por ter se mostrado eficiente e indispensável para o melhor desempenho na natação, o NSO passou a ser chamado pela comunidade aquática de “quinto nado”. Tal denominação se deu pelo fato de existirem quatro nados oficiais utilizados em competições (costas, peito, borboleta e livre/crawl). No início não existiam regras que restringiam o uso do “quinto nado”, contudo logo foi limitado aos primeiros 15 metros de cada extremidade da piscina após a saída do bloco e viradas. Esta medida foi adotada como forma de padronização para as competições, pois a maioria dos nadadores utilizava o NSO em excesso para obter vantagem devido à eficiência proporcionada.

Os nadadores dos nados costas e borboleta tornaram-se os maiores exploradores do NSO por realizá-lo até a demarcação limite durante as provas competitivas, já os nadadores de crawl adaptaram-no realizando-o em decúbito lateral durante competições⁹. Alves *et al.*¹⁰ investigaram a influência da posição do NSO em decúbito lateral, decúbito frontal e decúbito dorsal; e verificaram que esta última apresentou diferenças significativas através da amplitude dos tornozelos, joelhos, quadris, ombros cotovelos e cabeça o que resultou em velocidades maiores com menores valores de arrasto de forma. Além disso, a primeira grande vantagem do NSO com relação ao nado em superfície está associada à frequência que pode ser executada com os membros inferiores quando

comparado aos membros superiores. Assim, os nadadores podem utilizar frequências de 120 a 170 pernadas por minuto no NSO versus 44 a 56 ciclos por minuto para a frequência de braçadas após a fase submersa¹¹.

Diversos estudos foram conduzidos a fim de estabelecer os parâmetros cinemáticos do NSO^{12,6,10,7} e a sua aplicação no desempenho do nado livre¹². Contudo, nem todos os nadadores conseguem atingir a máxima velocidade no NSO assim como mantê-la por muito tempo. Sweetenham e Atkinson¹³ relatam que o objetivo da utilização do NSO em primeira instância não é o deslocamento na distância máxima de 15 metros e sim a manutenção da velocidade atingida após o impulso da parede e/ou saída do bloco de partida. Identificar o momento exato para o início do nado na superfície da água após o NSO sem que ocorra perda de velocidade é um procedimento que só é possível mensurar e prescrever com exatidão com a interação de filmagens subaquáticas e *softwares* específicos. Como esse procedimento é pouco realizado nas sessões de treinamento, muitos treinadores instruem seus nadadores a refinar sua percepção sensorial para saber o ponto exato entre o fim do NSO e o início do nado propriamente dito na superfície da água.

Roig⁸ propôs um modelo onde foi possível verificar a capacidade de deslize de 47 nadadores através de dois parâmetros simples: a) o que o nadador sentia e b) o que ele realmente fazia de acordo com as avaliações cinemáticas monitorando a velocidade horizontal do centro de massas. Nesta pesquisa foi encontrada alta correlação entre as duas variáveis ($r=0,77$) e foi sugerido que mais investigações verificassem esta tendência subjetiva de velocidade. Em outro estudo Hubert *et al.*⁴ avaliaram a velocidade de locomoção em um tiro máximo de 15 metros em dois modelos: a) um segundo antes do início do nado propriamente dito (fase submersa) tendo como referência a velocidade antes da primeira braçada (VA) e b) um segundo após o nado propriamente dito na superfície da água (VD) tendo como referência a velocidade após a primeira braçada (VD) e verificou-se que a velocidade de 15 metros foi maior nos nadadores que atingiram maiores velocidades no VA do que no VD

confirmando a grande contribuição do NSO para ganhos de velocidade.

Baseado nos resultados encontrados nesses trabalhos o presente estudo de revisão tem como objetivo abordar as características inerentes ao NSO e a sua contribuição para o deslocamento em maior velocidade de nadadores.

Arrasto e profundidade

O arrasto hidrodinâmico durante o nado pode ser definido como a força que a água opõe aos nadadores e para que um nadador se desloque no meio aquático de forma continuada é necessário que, a cada momento, seja capaz de produzir uma força propulsiva de intensidade pelo menos igual à da força de arrasto hidrodinâmico que a água opõe ao seu deslocamento¹⁵. Esse objetivo é atingindo quando o nadador adota a posição mais hidrodinâmica possível, sendo assim essencial para minimizar o arrasto hidrodinâmico durante o nado submerso¹⁶, pois um corpo em contato com a água e ar recebe 5 vezes mais resistência oposta que o mesmo corpo em uma profundidade de 50 centímetros¹⁷. Assim, durante o NSO, uma das variáveis que auxilia no aumento da velocidade é a redução do arrasto. O aumento da velocidade através da redução do arrasto deve ser estimulado para os nadadores, haja visto que a natação submersa além de maior velocidade oferece menor dispêndio de energia do que na superfície da água, pois a criação de ondas nessa segunda condição é maior.

Para mensurar o gasto energético a partir da formação de ondas, o número de *Froude* (F) é utilizado através fórmula abaixo. Onde U é a velocidade do percurso medida pelo comprimento do corpo em segundos, g é aceleração devido à gravidade e L o comprimento da linha d'água:

$$F = U / \sqrt{gL}$$

A baixa geração de ondas é relacionada às baixas velocidades e ao grande comprimento do corpo que produz a F menor. Aplicando o número de *Froude* à natação humana pode-se concluir que um nadador de estatura maior tem uma vantagem significativa sobre

outro de menor estatura, pois produz uma força inferior de sustentação com relação à gravidade. Outro parâmetro não dimensional foi introduzido quando há um tipo de frequência de movimentos associado com o fluxo do fluido conhecido como número *Strouhal*. Este parâmetro é importante para caracterizar o deslocamento de um nadador onde o comprimento característico poderia ser a estatura do nadador ou a largura da esteira criada pelo desprendimento dos vórtices dos pés do mesmo, além de estar relacionado à quão rápido um vórtice é gerado pelos movimentos ondulantes e a distância entre eles. Este cálculo está apresentado abaixo onde S está relacionado com a máxima eficiência no deslocamento aquático^{18,19,20,21}, n é a frequência da condição cíclica (ciclos s^{-1} ou Hz), C é o comprimento característico (m), e V é a velocidade ($m \cdot s^{-1}$)²²:

$$S = nC/V$$

Como exemplo disso, podemos calcular o número de *Strouhal* para o NSO de um nadador de elite com estatura de 1,75 metros que se desloque a uma velocidade média de 1,9 $m \cdot s^{-1}$ e leve 0,6 segundos para cada ciclo de pernada (golfinhada). Portanto, a frequência n seria de 1 ciclo a cada 0,6 segundos ou 1,67 $ciclos \cdot s^{-1}$ e o m seria a largura da esteira criada pelo desprendimento dos vórtices dos pés do nadador. De acordo com pesquisas anteriores^{2,6}, o valor médio encontrado para esse comprimento em nadadores é de 1,5 metros. Como utilizaremos essa medida como padrão, o número de *Strouhal* com base nesses valores passa a ser de 1,67 (1,5) / 1,9 = 1,32.

Outras pesquisas foram conduzidas a fim de estabelecer a profundidade ideal para a realização do NSO. E com a verificação do arrasto passivo usando uma máquina para reboque em velocidades e profundidades diferentes, resultados demonstraram uma diminuição de 10 a 20% na força de arrasto para o deslizamento a profundidades de 0,4 e 0,6 e uma redução de 7 a 14% para o deslizamento a 0,2 metros de profundidade quando comparada a velocidade na superfície²³. Deste modo, a profundidade da água parece ser um dos fatores que determinam o fato da piscina ser “mais rápida” ou “menos rápida”, pois segundo conceitos de engenharia

aerodinâmica, uma piscina rasa pode afetar o deslizamento do nadador depois do mergulho, ou a impulsão da parede, ou até mesmo a velocidade do nado na superfície²².

Com base em estudos anteriores, a profundidade mínima para o NSO é de 0,6 metros^{23,24}. Sendo esta uma das razões pelas quais as piscinas construídas recentemente que são utilizadas em competições de nível mundial têm no mínimo 2 metros de profundidade. A explicação para esta medida mínima estaria na preposição que quando um objeto em movimento se aproxima de uma superfície fixa como uma parede ou o solo da piscina, ele sofre uma alteração na sua força de arrasto ou sustentação. Desta forma, para evitar a redução da velocidade, alguns nadadores são orientados a realizarem o NSO na posição lateral em piscinas em torno de 1,5 metro de profundidade, haja vista que os vórtices produzidos pelos pés no NSO na posição em decúbito ventral entrariam em contato com o solo diminuindo a velocidade e aumentando a sustentação.

Além desses parâmetros o posicionamento dos braços no NSO também foi foco de pesquisas que concluíram que com os braços estendidos à frente do corpo os coeficientes de arrasto apresentam valores mais baixo que nas situações onde os braços estão posicionados ao longo do tronco^{25,16}. Esta posição do corpo com os braços estendidos na parte frontal é aceita atualmente na maior parte pela natação desportiva e pela comunidade científica como a mais hidrodinâmica, sendo chamada de posição torpedo¹⁶. Demais trabalhos foram conduzidos a fim de verificar a influência do arrasto de fricção da pele e a pressão no arrasto total durante o NSO; e a conclusão foi que não há nenhum arrasto de onda significativo quando um nadador adulto típico executa o NSO a pelo menos 0,6 metros sob a superfície da água²⁴.

Distância e velocidade

Foram encontradas correlações negativas significativas entre o tempo da saída (da partida até os 15 metros) e o NSO da prova de 100 metros nado borboleta, nado costas e nado livre e 200 metros nado borboleta nos finalistas dos Jogos Olímpicos de Sidney em 2000²⁶. No

grupo feminino as correlações negativas encontradas foram nos 100 metros nado costas, 200 metros nado borboleta e 200 nado livre. Desta forma, os autores concluíram que a distância do NSO teve grande influência no tempo dos primeiros 15 metros das respectivas provas. Ao analisarem o tempo total das viradas que representa aos 5 metros antecedentes à parede e os 10 metros após o impulso da parede de nadadores olímpicos os pesquisadores verificaram que a distância e o tempo do NSO eram significantes correlacionados ao tempo total das viradas para ambos os gêneros. Contudo, Elipot *et al.*²⁷ ao avaliarem o perfil da velocidade do NSO de nadadores de elite, concluíram que os mesmos para atingirem velocidades máximas conseguem controlar a amplitude dos movimentos dos quadris, joelhos e tornozelos que resultam num desempenho ótimo. Não obstante, Houel *et al.*²⁸ identificaram a influência de vários segmentos corporais na velocidade NSO de 15 metros após a saída do bloco através da utilização de três câmeras posicionadas em pontos específicos que captaram o NSO de vinte nadadores de elite para o estudo da velocidade horizontal do centro de massas. As variáveis independentes adotadas foram: ângulo de ataque do tronco, quadril, joelho e tornozelo; frequência de pernada e amplitude de pernada. Estes autores concluíram que foram inúmeras as variáveis em momentos distintos que interferiram na velocidade horizontal do centro de massas. Dentre elas, o fato de entre os 5,5 e 6,5 metros a diminuição dos ângulos de ataque dos quadris, joelhos e tornozelos apresentarem-se como determinantes para o aumento da velocidade. Já a posição do corpo durante o NSO deve ser a mais alinhada possível para que o aumento da amplitude dos segmentos corporais possam seguir a trajetória crânio-caudal como reprodução dos movimentos executados pelos golfinhos²⁸.

Análise dos movimentos dos peixes

Alguns estudos objetivaram comparar o NSO de humanos com os peixes sendo inevitavelmente esperado que a propulsão dos peixes fosse maior que a dos humanos. Em comparação aos peixes, os humanos possuem limitações de flexibilidade e área de superfície

de contato o que determina em uma menor propulsão aquática⁷. Esta relação entre golfinhos e humanos foi o assunto de algumas investigações no passado; dentre elas podemos destacar um importante trabalho onde os autores procuraram comparar a natação dos golfinhos às características do NSO do nado borboleta de sete nadadores de elite²⁹ chegando a conclusão que os movimentos ascendente e descendente dos golfinhos eram mais simétricos do que os nadadores. Baseados nas características da cauda do golfinho, um grande número de patentes foi criado para alguns modelos de nadadeiras (também conhecidos como pé-de-pato ou monofins) no intuito de melhorar o desempenho humano da natação expandindo assim a superfície propulsora^{30,31,32,33,34,35}.

Eu outro momento foi investigada a cinemática do NSO de golfinhos em comparação a 32 nadadores nacionais onde todos nadaram em máximo esforço utilizando a pernada de golfinho na posição ventral onde comparações de valores médios de parâmetros cinemáticos não dimensional foram feitos entre nadadores de níveis diferentes⁶. Diante disso, as conclusões e as observações a respeito da cinemática foram que o número médio de *Strouhal* para os nadadores era de aproximadamente 0,81 estando os valores mais baixos de *Strouhal* relacionados com a natação a velocidades mais elevadas.

É possível verificar os movimentos ondulatórios dos peixes e também a grande vantagem que estes padrões de movimentos exercem sobre a locomoção aquática. Nadadores de nível elevado tentam copiar e se basear nos movimentos ondulatórios dos peixes³⁶. Quando um peixe executa os movimentos ondulatórios as ondas geradas são muito específicas e seguem sob a forma de uma sequência de vórtices que alternam o sentido da rotação. Quando a cauda balança para um lado e para o outro, cria um vórtice em dois sentidos (horário e anti-horário)²⁰. Uma das primeiras tentativas de analisar a geração dos vórtices da cauda dos peixes foi estudada anteriormente⁶ e a interpretação dos vórtices de Rosen é mostrada na Figura 1.

Numa comparação dos dados do NSO de

nadadores de borboleta com os golfinhos²⁹ verificou-se que a duração da pernada ascendente (*up-beat*) e da pernada descendente (*down-beat*) quando analisadas, demonstraram que o *up-beat* era mais rápido nos golfinhos do que nos nadadores e desta forma os nadadores não poderiam aplicar tão eficazmente a água nesta fase da pernada tanto quanto os golfinhos por causa do formato e flexibilidade dos tornozelos, mesmo sugerindo que nadadores deveriam se concentrar na realização eficiente do *up-beat* para aumento da propulsão.

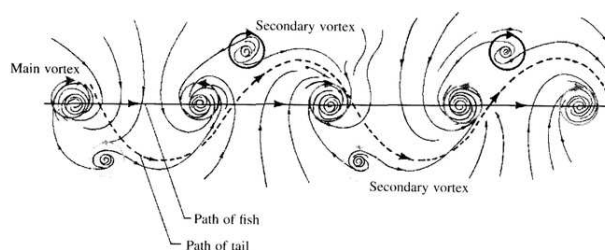


Figura 1. Vórtices criados a partir do movimento da cauda dos peixes nos sentidos horário e anti-horário

(Adaptado de Arellano²)

Outro estudo demonstrou que em nadadoras de elite norueguesas o aumento da flexibilidade plantar estimulada durante oito semanas, três vezes por semana aumentou a velocidade nos primeiros 15 metros de 2,01 m/s para 2,35 m/s evidenciando a grande contribuição da angulação do tornozelo para a propulsão aquática em humanos³⁷. Haja visto que a flexibilidade do tornozelo é essencial para um NSO veloz¹¹ além de ser mais importante do que a força dos membros inferiores³⁸. A angulação sugerida para que os nadadores tenham um eficiente NSO é de 70° a 85°³⁸.

As ações dos pés podem ainda criar maiores forças hidrodinâmicas do que ações dos braços por dois motivos: a) maior superfície propulsora; e b) músculos dos membros inferiores significativamente mais fortes do que os músculos dos membros superiores³⁹. Para que o máximo de eficácia propulsora aconteça em um sistema desse tipo, os números de *Strouhal* ficam entre 0,25 e 0,35⁴⁰. Para essa avaliação foi usada a largura da esteira deixada pelo aerofólio para o comprimento característico. Utilizando a largura da esteira deixada pelos peixes para o

comprimento característico, o autor determinou com a contribuição do Woods Hole Oceanographic Institute o número de *Strouhal* para todos os peixes, desde peixes dourados até tubarões e golfinhos. Além disso, ele

concluiu que os peixes movimentavam as caudas com uma frequência que lhes atribuía o valor entre 0,2 a 0,4 (Tabela 1).

Tabela 1. Números de *Strouhal* mínimos e máximos de peixes e cetáceos nadando em velocidade máxima ou próxima da máxima observada (Adaptada de Stager & Tanner²²)

Peixe ou Cetáceo	Número de <i>Strouhal</i>	
	Mínimo	Máximo
Atum	0,27	0,33
Peixe dourado	0,28	0,31
Golfinho	0,29	0,31
Brema	0,31	0,33
Salmão	0,18	0,32
Anchova	0,34	0,36
Bacalhau	0,25	0,35
Tubarão	0,25	0,27
Jack mackerel (<i>Trachurus novaezelandiae</i>)	0,27	0,33
Truta arco Iris	0,25	0,38

A propulsão foi explicada através da análise das bolhas criadas pelos pés dos nadadores de borboleta executando o NSO⁴¹. Um mecanismo chamado arremessar anel (*Fling ring*) foi usado para explicar este sistema de propulsão eficiente dos pés. Enquanto os pés executam o movimento descendente da pernada, uma massa de água (vórtice) é formada em torno dos pés. Além disso, foi indicado que quão grande for a massa de água nas fases da pernada menor será a velocidade da mesma o que resultará em maiores pontos propulsivos⁴¹. Com a análise da técnica do NSO foi verificado que a velocidade máxima horizontal do corpo ocorreu quando as pernas alcançaram a fase descendente máxima⁴². E com a análise das características de onda nas pernas de borboleta, seus resultados demonstraram que as ondas se moviam consistentemente do quadril para o tornozelo durante o ciclo de nado⁴³. Posteriormente à utilização de métodos de visualização do fluxo das bolhas produzidas no NSO verificou diferenças entre nadadores eficientes e menos eficientes, onde os nadadores eficientes criaram um vórtice grande no final da pernada descendente e um

vórtice pequeno no fim da pernada ascendente². Em contrapartida, menores vórtices foram criados no final da pernada descendente e nenhum vórtice foi criado no fim da pernada ascendente no grupo dos nadadores menos eficientes.

Conclusões

Concluindo, o NSO é uma ferramenta de grande poder para aumento do desempenho aquático em nadadores. Cientistas, treinadores e atletas que tenham o objetivo de melhorar o desempenho durante os nados, devem atentar para os fatores que influenciam o NSO. Fatores como flexibilidade, criação de vórtices, pernada ascendente, posicionamento do corpo, profundidade adequada e diminuição do arrasto são componentes fundamentais para o aumento e manutenção da velocidade bem como para a melhor utilização de energia disponível durante o NSO. Desde modo, conhecer e aplicar esses conhecimentos relacionados ao NSO auxiliará para melhores desempenhos.

Referências

1. Papoti M, Vitória R, Velosa AB, Cunha AS, Ramos da Silva AS, Martins LEB, Gobatto CA. Uso de células de carga para mensuração da força dos membros inferiores em nado ondulatório **Rev Port Cien Desp** 2007;7(3):1-14.
2. Arellano R. Vórtices and propulsión. In Sanders R. & Linsten J. eds. XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports. Perth, Australia: Western Australia. **School Biomech Sports Sci** 1999;53-66.
3. Clothier PJ, Mcelroy GK, Blanksby BA, Payne WR. A comparison and analysis of traditional and modified tumble turns by age-group swimmers. **J Hum Movement Stud** 2000;38: 93-108.
4. Counsilman JE. **The science of swimming**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall; 1968.
5. Toussaint H, Truijens, M. Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. **Animal Biology** 2005;55:17-40.
6. Arellano R, Pardilo S, Gavilan A. Underwater undulatory swimming kinematic characteristic, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes. **XX International Symposium Biomech Sports**, Caceres, Spain; 2002.
7. Von Loebbecke A, Mittal R, FISH F, MARK R. C. A comparison of the kinematics of the dolphin kick in humans and cetaceans. **Human Mov Sci** 2009;28:99-112.
8. Roig A. **Evaluation of the Gliding Capacity of a Swimmer**. Paper presented at the XIth International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming. Proceedings of Swim Sessions, Oslo Norway 2010; 12.
9. Lyttle A, Blansky B. A look at gliding and underwater kicking in the swim turn. Paper presented at the XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports. Applied Program: **Appl Biomech Study in Swimming**, Hong Kong; 2000.
10. Alves F, Lopes P, Veloso A, Martins-Silva A. Influence of body position on dolphin kick kinematics: **XXIV Symposium**, Salzburg, Austria; 2006.
11. Maglischo EW. **Swimming Fastest**: the essential reference on technique, training and program design. Human Kinetics; 2003.
12. Chollet-Tourny C, Chollet D, Hogue S, Pappadopoulos C Kinematic analysis of butterfly turns of international and national swimmers. **J Sports Sci** 2002;20:383-390.
13. Sweetenham B, Atkinson J. **Championship swim training**. Human Kinetics, 2003.
14. Hubert M, Silveira GA, Freitas E, Pereira S, Roesler H. Speed variation analysis before and after the beginning of the stroke in swimming starts **Rev Portuguesa Ciê Desporto** 2006;6:15-16.
15. Vilas-Boas JP, Fernandes R, Kolmogorov S. **Rev Portuguesa Ciê Desporto** 2001;3(1):14-21.
16. Guimarães A, Hay J. A mechanical analysis of the grab starting technique in swimming. **International J Sports Biomech** 1985;1:25-35.
17. Videler JJ, Muller UK, Stamhuis EJ. Aquatic vertebrate locomotion: wakes from body waves. **J Exp Bio** 1999;202(23):3423- 3430.
18. Anderson JM, Streitlien K, Barrett DS, Triantafyllou MS. Oscillating foils of high propulsive efficiency. **J Fluid Mechanics** 1998;360:41-72.
19. Rohr JJ, Fish FE. Strouhal numbers and optimization of swimming by odontocete cetaceans. **J Exp Bio** 2004; 207:1633-1642.
20. Triantafyllou MS, Triantafyllou GS. An efficient swimming machine. **Scientific American** 1995;64-70.
21. Triantafyllou GS, Triantafyllou MS, Grosenbaugh MA. Optimal thrust development in oscillating foils with application to fish propulsion. **J Fluids Structures** 1993; 7:205-224.
22. Stager JM, Tanner DA. **Natação: manual de medicina e ciências do esporte**. 2^a edição. Barueri: Manole; 2008.
23. Lyttle AD, Blanksby BA, Elliott BC, Lloyd DG. Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. **J Sports Sci** 2000;18:801-807.
24. Lyttle AD, Blanksby BA, Elliott BC, Lloyd DG. Optimal depth for streamlined gliding. In K.L. Keskinen, P.V. Komi, & A.P. Hollander (Eds.), **Biomech Med Swimming VIII** Jyväskylä: Gummerus Printing 1999; 165-170.
25. Marinho DA, Reis VM, Alves FB, Vilas-Boas JP, Machado L, Silva AJ, Rouboa AL. Hydrodynamic Drag During Gliding in Swimming **J Appl Biomech** 2009;25: 253-257.
26. Cossor JM, Mason BR. Swim start performances at the Sydney 2000 Olympic Games. **XIX International Symposium Biomech Sports**. Proceedings of Swim Sessions, San Francisco 2001.
27. Elipot M, Houel N, Hellard P, Dietrich G. Motor Coordination During the Underwater Undulatory Swimming Phase of the Start For High Level Swimmers. **XIth International Symposium Biomech Med Swimming**. Proceedings of Swim Sessions, Oslo Norway 2010;12.
28. Houel N, Elipot M, Andrée F, Hellard P. Kinematics Analysis of the Undulatory Underwater Swimming during a Grab Start of National Level Swimmers. **XIth International Symposium Biomech Med Swimming**. Proceedings of Swim Sessions, Oslo, Norway 2010;20.
29. Ungerechts BE. A Comparison of the Movements of the Rear Parts of Dolphins and Butterfly Swimmers. **Fourth International Symposium Biomech and Fifth International Symposium on Swimming Med**, Amsterdam 1983.
30. Evans, RB. Monofin swimming apparatus and assembly method. **US patent** 1994,429-536.

31. Lewis ER, Lorch D. Swim fin design utilizing principles of marine animal locomotion. In J. Terauds & E. W. Bedingfield (Eds.), **Swimming III**. Baltimore: University Park Press 1979; 289-297.
32. Meyer D. **Swim fin structure**. US patent 2001;6: 183-327.
33. Nicolas G, Bideau B, Colobert B, Berton E. How are Strouhal number, drag, and efficiency adjusted in high level underwater monofin-swimming? **Human Mov Sci** 2007;26:426-442.
34. Zamparo P, Pendergast DR, Termin B, Minetti AE. How fins affect the economy and efficiency of human swimming **J Exp Bio** 2002;205:2665-2676.
35. Soloviev O. Training with fins. **Swimming Technique** 1993;30:28-30.
36. Hochstein S, Blickhan RFS. Human Undulatory Swimming: Kinematics, Flow and Mechanical Model. **XIth International Symposion Biomech Med Swimming**. Proceedings of Swim Sessions, Oslo, Norway 2010.
37. Setterberg J. Creating the Best Physical Resources for Performing the Underwater Undulatory Swimming, a Case Study. **XIth International Symposium Biomech Med Swimming**. Proceedings of Swim Sessions, Oslo Norway 2010; 12.
38. Barthels K, Adrian MJ. Variability in the dolphin kick unde four conditions. In first international symposium on biomechanics in swmming, waterpolo and diving proceedings. **Brussels** 1971;108-118.
39. Vorontsov AR, Rumyantsev VA. Propulsive Forces in Swimming. In V. Zatsiorsky (Ed.), **Biomech Sport**. Oxford: Blackwell Science Ltd. 2000;1(1):205-231.
40. Triantafyllou M, Triantafyllou G, Gopalkrishnan R. Wake mechanics for thrust generation in oscillating in foils. **Physics of Fluid A**. 1991;12:2835-2837.
41. Colwin C. Essential Fluid Dynamics of Swimming Propulsion. **ASCA Newsletter** 1985;22-27.
42. Luk TC, Hong Y, Chu PK, Li S. Kinematic Characteristics of Lower Extremity during 50m breathhold of fin swimming. **XVII International Symposium Biomech Sports**. Perth, Western Australia 1999.
43. Sanders RH, Cappaert JM, Devlin RK. Wave characteristics of butterfly swimming. **J Biomech** 1995; 28(1):9-16.