
AUTORES:Ricardo Fernandes ¹Pedro Figueiredo ¹Sónia Vilar ¹Ana Sousa ¹Pedro Gonçalves ¹João Paulo Vilas-Boas ¹

Avaliação da atividade elétrica muscular em natação.

07

PALAVRAS CHAVE:

Biomecânica. Eletromiografia. Natação.

¹ CIFI²D, Faculdade de Desporto
Universidade do Porto, Portugal

<https://doi.org/10.5628/rpcd.10.03.121>

RESUMO

Nas últimas décadas a avaliação biomecânica aplicada ao desporto em geral, e à natação pura desportiva em particular, tem vindo a ganhar uma importância crescente no âmbito da avaliação de nadadores e respetivo controlo e prescrição do treino. Das áreas de atuação da Biomecânica no desporto, a eletromiografia, embora seja uma das mais antigas, apresenta pouca quantidade de estudos, o que se justifica pelo elevado grau de complexidade envolvido na respetiva metodologia de recolha, tratamento e interpretação dos dados. No entanto, e mesmo realizando-se num meio (aquático) adverso à sua aplicação, a utilização da eletromiografia para avaliar a atividade elétrica muscular de nadadores tem ganho especial interesse por parte de investigadores e treinadores. O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão do atual "estado da arte" sobre eletromiografia em natação, com especial referência às técnicas utilizadas em natação pura desportiva, não esquecendo os estudos realizados em polo aquático e natação sincronizada

Correspondência: Ricardo Fernandes. CIFI²D, Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.
Rua Dr. Plácido Costa, 91, 4200-450 Porto, Portugal (ricfer@fade.up.pt).

Evaluation of the muscular electrical activity in swimming.

ABSTRACT

In the last decades electromyography (EMG) applied to sport, and in particular to swimming, has been gaining increasing importance in the evaluation of athletes and respective training control and prescription. Within the areas of biomechanical research in sports, EMG, despite one of the oldest, shows a reduced amount of studies, what can be justified by the high level of complexity associated to data collection, processing and interpretation. Nevertheless, and despite performed in a environment adverse to its use, the EMG research on swimming has gained special interest among scientists and coaches. The purpose of this study was to stablish the state of the art regarding the electromyographic research in swimming, with special reference to the characterization of the muscular action in swimming, waterpolo and sinchronysed swimming.

KEY WORDS:

Biomechanics. Electromyography. Swimming.

Uma das áreas científicas que, nas últimas décadas, mais tem contribuído para o crescimento da investigação científica aplicada ao desporto é a Biomecânica. Esta utiliza cinco áreas de estudo das diversas formas de movimento desportivo, as quais são complementares entre si ⁽¹³⁰⁾: (i) a Cinemetria, que analisa a posição, a orientação e os movimentos dos segmentos corporais; (ii) a Dinamometria, que avalia as forças (externas e internas) e a distribuição de pressão; (iii) a Antropometria, que estuda os parâmetros inerentes à definição do modelo corporal, analisando as dimensões corporais, proporcionalidade e composição corporal; (iv) a Eletromiografia (EMG), que analisa a atividade elétrica muscular e (v) a Termografia, que observa imagens térmicas que, através de cores diferenciadas, mostram campos de diferentes temperaturas, onde se poderá verificar uma maior ou menor actividade muscular, que se traduza num aumento da temperatura à superfície da pele.

Efetivamente, a análise biomecânica do movimento tem vindo a destacar-se no interesse dos treinadores, a fim de orientar com maior precisão e coerência a preparação dos seus atletas ^(111,131). Através de várias metodologias, o movimento do desportista pode ser descrito e modelado matematicamente, permitindo uma melhor compreensão dos mecanismos internos reguladores e executores do movimento do corpo humano ⁽³⁾. Também no caso específico da natação, a Biomecânica tem vindo a ganhar crescente aplicação e relevância, nomeadamente na avaliação de nadadores e respetivos controlo e prescrição do treino, procurando definir, através de métodos e princípios que lhe são próprios, os parâmetros fundamentais que caracterizam e descrevem o movimento do nadador. De facto, a Biomecânica procura obter resultados do que foi controlado e perceber quais as causas e consequências das relações mecânicas estabelecidas pelo executante, assim como das estabelecidas com o meio físico exterior.

Das áreas de estudo da Biomecânica aplicada ao desporto, a EMG, embora seja uma das mais antigas, apresenta uma baixa quantidade de estudos, o que parece dever-se ao elevado grau de complexidade envolvido na respetiva metodologia de recolha, tratamento e interpretação dos dados. De facto, um dos principais problemas na investigação em EMG é a baixa disponibilidade e acessibilidade de métodos válidos e fiáveis, a quase ausência de condições infraestruturais e logísticas para a sua aplicação, e as especificidades características de cada modalidade desportiva. Relativamente às outras modalidades esta problemática é mais evidente em natação, devido ao meio no qual o nadador se desloca, colocando uma dificuldade de operacionalização acrescida ^(1,98). No entanto, o capital informativo que a EMG disponibiliza é de grande importância e aplicabilidade. Referindo-se especificamente ao estudo da atividade neuromuscular através da representação gráfica da atividade elétrica do músculo ⁽³⁴⁾, a EMG caracteriza-se pela deteção e recolha de corrente

elétrica com origem nas alterações eletroquímicas das fibras musculares esqueléticas ao serem excitadas, i.e., os potenciais de ação ⁽⁴⁰⁾.

No caso específico da natação, a EMG permite conhecer o funcionamento muscular durante a propulsão do corpo no meio aquático ⁽²¹⁾, pelo que, desde o estudo pioneiro ⁽⁶⁸⁾ que comparou os padrões eletromiográficos de nadadores universitários e olímpicos nas quatro técnicas de nado, alguns esforços têm sido conduzidos para desenvolver metodologias para analisar sinais eletromiográficos em nadadores. No entanto, parecem ainda não existir registos na literatura que standardizem aspetos metodológicos desta mesma técnica, uma vez que distintas metodologias têm sido utilizadas para a EMG realizada no meio aquático ^(1, 98).

O presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão do atual “estado da arte” sobre o estudo da eletromiografia em natação, com especial referência às técnicas de nado, partida e viragem utilizadas em natação pura desportiva, mas não esquecendo as técnicas usadas no polo aquático e na natação sincronizada. Começaremos por definir EMG e apresentar uma breve perspetiva histórica da sua implementação, caracterizando e distinguindo a EMG de superfície e de profundidade e explicando sumariamente o processamento de sinal eletromiográfico. Por fim, elencaremos a literatura relativa à EMG em natação.

DEFINIÇÃO DE ELECTROMIOGRAFIA E ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A explicação do complexo movimento dos seres humanos tem provocado uma constante procura de conhecimento, sendo a deteção e/ ou estimulação da atividade muscular uma das mais antigas áreas onde essa pesquisa se tem centrado ⁽²³⁾. A EMG é exatamente a técnica de avaliação bioelétrica que proporciona essa deteção, sendo uma componente fundamental do conjunto de ferramentas dos morfologistas funcionais e dos estudiosos da Biomecânica dos dias de hoje ⁽⁵⁾.

Como foi referido anteriormente, a EMG é, dos métodos utilizados pela Biomecânica para analisar as diversas formas de movimento, aquele que se dedica especificamente ao estudo da função muscular. Para tal, a EMG baseia-se num princípio estabelecido há mais de 200 anos por Galvani ⁽⁹⁾, o qual refere que um músculo-esquelético se contrai quando estimulado eletricamente e produz corrente elétrica quando se contrai voluntariamente. Neste sentido, a EMG consubstancia-se num campo aliciante de investigação, permitindo um acesso imediato aos processos fisiológicos geradores de força e, consecutivamente, à produção de movimento ⁽⁴⁰⁾. De facto, a EMG parece ser a melhor e mais simples representação do controlo neurológico da musculatura esquelética ⁽⁴⁰⁾, refletindo o sinal EMG a soma algébrica dos potenciais de ação das unidades motoras ativas. A EMG indica o estímulo neural para o sistema muscular, tornando-se muito importante para a modelação do

sistema dinâmico neuromuscular e esquelético como primeiro parâmetro de controlo ⁽⁴⁵⁾. De facto, segundo estes autores, a EMG, a par com a Dinamometria direta, parece ser dos únicos métodos que permitem determinar diretamente parâmetros biomecânicos internos do corpo humano durante o movimento.

Em termos históricos, Francesco Redi foi o primeiro cientista a referir que os músculos eram capazes de gerar eletricidade, embora seja comum apontar Luigi Galvani como o investigador que introduziu (séc. XVIII) a demonstração inicial da "bioeletricidade" ^(cf. 9, 25). Segundo Geddes e Hoff ⁽⁵⁵⁾, Galvani demonstrou que o tecido muscular de alguns animais se contraía quando expostos a uma variedade de fontes elétricas externas, podendo verificar a presença de correntes elétricas em tecidos vivos.

Em meados do século XIX, Carlo Matteucci demonstrou que as correntes elétricas eram originadas muscularmente e que se relacionavam com a contração voluntária ^(22, 62), tendo Emil Du Bois Reymond confirmado que tanto os nervos como os músculos geravam e conduziam correntes elétricas ⁽⁵⁾ através da deteção de contrações voluntárias *in vivo* ⁽²²⁾. No final do século XIX, Marey ⁽²²⁾ introduziu a designação "eletromiografia" e fez o primeiro miograma, sendo considerado um dos pioneiros da biomecânica.

No início do século XX, a invenção de diversos aparelhos conduziu a um progresso no desenvolvimento da EMG como técnica experimental ⁽⁶⁾, destacando-se o amplificador que permitiu que pequenas diferenças voltaicas pudessem ser prontamente medidas em função do tempo ⁽⁹⁾. Posteriormente, o desenvolvimento do eléctrodo de agulha hipodérmico permitiu que os investigadores utilizassem um meio direto para medir a atividade elétrica numa dada região muscular ⁽⁵⁾, sendo esta metodologia ainda usada regularmente pelas comunidades científica e clínica.

Entre 1940 e 1960, a EMG teve um incremento tecnológico significativo devido à utilização clínica e ao uso dos eléctrodos de arame, os quais vieram reduzir a dor associada à sua implantação, permitindo experiências prolongadas no tempo ⁽⁵⁴⁾. Em 1965, a maior parte dos músculos humanos já tinha sido estudada, permitindo reconhecer padrões musculares numa variedade de atividades ^(cf. 9). Complementarmente, foram várias as experiências realizadas em animais, que em muito contribuíram para a compreensão da função muscular humana e que adicionaram conhecimentos importantes sobre as propriedades básicas do músculo-esquelético ⁽⁵⁾.

Segundo Clarys e Cabri ⁽²⁵⁾, foi desde a 2ª Guerra Mundial que se generalizou o recurso à EMG, técnica que atualmente desempenha um papel fundamental em diferentes domínios científicos. De salientar a obra de Basmajian e De Luca ⁽⁹⁾, a qual sumariou o conhecimento decorrente da pesquisa das funções musculares a partir de estudos eletromiográficos e que, por isso, é considerada um marco na história da EMG.

Durante o seu desenvolvimento, a EMG seguiu duas linhas de atuação distintas, cada uma com aproximações e técnicas definidas ^(22, 25): a EMG clínica e a EMG cinesiológica

ou biomecânica. Alguns autores referem que a EMG cinesiológica pode ser considerada como um elemento comum a todas as áreas da atividade desportiva, pois, sendo o estudo do comportamento motor humano o elemento aglutinador, permite o estudo da/ do ^(e.g. 35, 77): (i) função muscular normal em diferentes movimentos e posturas; (ii) atividade muscular nos gestos desportivos, profissionais e de reabilitação; (iii) coordenação muscular; (iv) controlo motor e aprendizagem; (v) relação entre o trabalho mecânico produzido pelo músculo e o sinal eletromiográfico; (vi) avaliação dos métodos de treino; (vii) fadiga e (viii) ergonomia, no que se refere à influência do material e equipamentos na atividade muscular. De seguida deter-nos-emos nas formas existentes de recolha de sinais eletromiográficos.

ELECTROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE E DE PROFUNDIDADE

Atualmente são utilizadas duas formas distintas de recolher os sinais eletromiográficos: a EMG de superfície e a EMG de profundidade, traduzindo-se em registos EMG com significado distinto e, consequentemente, com utilização em áreas diversas ^(9, 33, 82). No entanto, em ambos os casos, o sinal EMG é captado por eléctrodos ⁽²⁾.

Os eléctrodos podem ser classificados nas seguintes categorias: (i) em função do seu contacto com o corpo, podendo ser invasivos (eléctrodos de arame/ agulha) ou não invasivos (eléctrodos de superfície); (ii) em função da presença (eléctrodos ativos) ou ausência (eléctrodos passivos) de pré-amplificação local e (iii) em função da sua configuração (monopolares, sendo colocado apenas um eléctrodo na pele por cima do músculo a investigar, e bipolares e multipolares, em função do número de superfícies de deteção utilizadas). O eléctrodo monopolar deteta o potencial eléctrico relativamente a um eléctrodo de referência colocado num local onde não é afetado pela atividade eléctrica gerada pelo músculo a ser estudado, sendo utilizado fundamentalmente em ambientes clínicos. Esta configuração tem como principal constrangimento a fraca resolução espacial ⁽⁹⁾, pois toda a diferença de potencial eléctrico entre os eléctrodos de referência e o de deteção é recolhida e registada (incluindo sinais provenientes de outros músculos) ⁽⁶²⁾. Na configuração bipolar ou multipolar consegue-se uma maior resolução espacial, sendo também obtido um aumento da rejeição de ruído devido aos procedimentos diferenciais — rejeição do sinal comum entre duas superfícies de deteção espaçadas entre um e dois centímetros e dispostas paralelamente à orientação das fibras musculares ⁽⁹⁾. Neste caso, diferenças de potencial na pele são detetadas por duas ou mais superfícies em relação a um eléctrodo de referência (eléctrodo terra), colocado num ponto neutro em relação ao músculo estudado ⁽⁴⁾. Os sinais captados nas superfícies de deteção são posteriormente enviados para um amplificador diferencial onde a diferença entre os dois eléctrodos é amplificada, sendo eliminado o sinal comum antes da amplificação.

Como foi anteriormente referido, são atualmente utilizadas duas formas distintas de recolher os sinais eletromiográficos: EMG de superfície e de profundidade. Na EMG de superfície, os potenciais das fibras ativas que ocorrem no sarcolema são conduzidos pelos tecidos e fluidos envolventes até à superfície da pele, sendo captada a soma da atividade eléctrica muscular ^(9, 33). Este método é não invasivo e de mais fácil execução ^(66, 113), ficando o eléctrodo em contacto com a pele sobre o músculo que se pretende estudar ^(36, 62). De facto, a EMG de superfície é de fácil manuseamento e controlo para o experimentador e de grande conforto para o executante ⁽³⁴⁾, possibilitando uma análise global do comportamento dos músculos ⁽⁴⁾. Assim, a sua utilização é perfeitamente justificada, não obstante não ser suficientemente seletiva para músculos pequenos e profundos (fornecendo pouca informação sobre o comportamento das UM individuais e apresentando alterações mais pronunciadas das características do sinal detetado) ^(4, 9, 36). Clarys ⁽²³⁾ e Rau et al. ⁽⁹⁹⁾ salientam que a maioria das investigações em Ciências do Desporto utiliza a EMG de superfície, a qual se considera apresentar maior reprodutibilidade dos sinais registados comparativamente com a EMG de profundidade ⁽⁴⁾.

A EMG de profundidade baseia-se na colocação de eléctrodos de agulha ou arame no interior do músculo, em contacto direto com as fibras musculares ⁽⁶²⁾, pelo que o registo obtido é resultado dos potenciais de ação de um conjunto de fibras musculares localizadas na proximidade do eléctrodo de deteção ⁽³⁵⁾. Desta forma, o potencial de ação recolhido não corresponde a uma unidade motora histológica, mas sim a uma soma de variações de potencial de um conjunto de fibras ⁽³⁵⁾. Os eléctrodos utilizados são mais seletivos ⁽⁹⁾. Contudo, esta forma de recolha de sinal também apresenta desvantagens, nomeadamente por não se conseguir obter uma representatividade da atividade global do músculo ⁽⁴⁾ e por não permitir que ocorra deslocamento dos eléctrodos aquando da contração muscular ⁽⁹⁾.

PROCESSAMENTO DO SINAL

ELECTROMIOGRÁFICO

Após a aquisição do sinal EMG, o seu processamento pode ser realizado no domínio temporal e/ ou no domínio da frequência. O primeiro caso consiste na preparação do sinal de forma a avaliar qualitativa e quantitativamente a forma como a sua amplitude varia no decurso do tempo ⁽³³⁾. Segundo estes autores, a análise qualitativa do sinal EMG poderá ser bastante útil na avaliação da qualidade do sinal e despiste de artefactos, pois possibilita a determinação do padrão de atividade dos músculos envolvidos através da análise dos períodos de atividade e silêncio. Por outro lado, a análise quantitativa do sinal EMG pode ser realizada tendo em conta três tipos de variáveis ^(9, 33): (i) de estrutura temporal, determinando-se os tempos de ocorrência dos fenómenos mais relevantes, nomeadamente o início e final das ativações ou o momento correspondente ao pico máximo de atividade; (ii) de amplitude, ex-

pressando o nível de atividade do músculo, existindo diferentes formas de quantificar a sua intensidade (pico máximo de atividade, valor absoluto médio, valor do integral — iEMG — ou da raiz quadrada média do sinal EMG) e (iii) de frequência, variáveis que se devem a múltiplos fatores (e.g., composição muscular, intensidade de contração, duração da contração, fadiga, características do potencial de ação das fibras musculares ativas, processos de coordenação intra muscular propriedades dos eléctrodos e respetiva colocação).

ESTUDOS ELECTROMIOGRÁFICOS

EM NATAÇÃO

A generalidade das atividades desportivas tem subjacente padrões motores altamente complexos, geralmente exacerbados pelas forças externas que neles atuam, como também pelos impactos e equipamentos desportivos utilizados durante o próprio movimento (22, 25). Desta forma, o estudo do padrão do movimento desportivo em circunstâncias específicas, recorrendo à EMG, requer uma aproximação tecnológica e metodológica que pode ser adotada tanto em laboratório como no meio desportivo (21). Esse estudo consubstancia a avaliação da expressão dinâmica do envolvimento de músculos específicos que detêm uma participação própria no movimento desportivo a ser estudado (25).

No que se refere à natação, devido às propriedades físicas do meio aquático, o movimento realizado sofre influências mecânicas diferentes daquelas ocorridas num envolvimento terrestre (9, 117, 119). Como exemplo, pode-se referir que a resistência ao movimento em terra é determinada, em grande parte, pelo peso corporal, enquanto em ambiente aquático a resistência hidrodinâmica é determinada pela área de secção transversal oposta ao deslocamento, pela velocidade de nado e pelo coeficiente de arrasto (119). Efetivamente, no caso dos movimentos propulsivos realizados em natação, a EMG dá-nos a expressão do envolvimento dinâmico de músculos específicos na propulsão do corpo através da água (21).

Dos objetivos propostos nos estudos EMG em natação, a análise da intensidade da atividade mioelétrica, a localização, no tempo, dos diferentes picos do EMG em relação ao padrão do movimento, assim como a avaliação no domínio da frequência para o entendimento da fadiga específica, parecem ser os mais relevantes (cf. Quadro 1). Desta forma, os sinais EMG de vários músculos são analisados para avaliar a extensão do seu envolvimento, podendo ajudar a perceber as dificuldades técnicas dos nadadores e a mais ou menos progressiva instalação de fadiga (cf. 79, 95). Segundo Piette e Clarys (95), até ao início da década de 1980 a comunidade científica utilizava dois métodos distintos para registar os potenciais de ação muscular em situação de imersão: (i) combinação de eléctrodos de superfície e arames de transmissão (68) e (ii) combinação de eléctrodos de superfície e um transmissor telemétrico (72). A este propósito, os referidos autores evidenciaram que, apesar das exi-

gências eletrónicas adicionais e das limitações que o registador de dois canais apresenta, o método desenvolvido por Lewillie ⁽⁷²⁾ é aquele que menos dificulta os movimentos do nadador comparativamente com o método desenvolvido por Ikai et al. ⁽⁶⁸⁾.

Complementarmente, a preferência pela EMG de superfície, em detrimento da EMG de profundidade, deve-se igualmente ao fácil manuseamento e controlo para o experimenter, maior conforto para o executante e a possibilidade de uma análise global do comportamento dos músculos ⁽³⁴⁾. Desta forma, e devido às propriedades específicas do meio aquático, a EMG de superfície tem vindo a ser a técnica utilizada pela maioria dos investigadores ligados às ciências da natação ^(19, 99).

Complementarmente, é de inteira justiça evidenciar o pioneirismo de Ikai et al. ⁽⁶⁸⁾ e Lewillie ⁽⁷²⁾ na avaliação EMG em natação. De facto, os resultados obtidos por Ikai et al. ⁽⁶⁸⁾, mesmo considerando as limitações existentes (e.g. falta de calibração e normalização padrão necessária para comparação), foram utilizados de forma extensiva, tendo fornecido uma interpretação mais detalhada dos movimentos realizados em natação pura ⁽¹⁹⁾. Posteriormente, outros investigadores estudaram os sinais EMG nas quatro técnicas convencionais de nado, referindo Bollens et al. ⁽¹⁰⁾ que a técnica de crol é a técnica de nado mais estudada, afirmação que parece permanecer válida nos nossos dias. O principal objetivo destes estudos tem-se centrado na descrição da ação muscular durante o nado, resultando em padrões EMG normalizados para aproximadamente 25 músculos superficiais envolvidos no movimento.

No entanto, apesar do movimento da técnica de crol ser o mais investigado até ao final da década de 1980, a quantidade de informação não era suficiente para se poder afirmar com total certeza quais os músculos envolvidos neste padrão motor, assim como a extensão desse envolvimento ⁽⁹⁵⁾. Clarys ⁽¹⁹⁾ refere inclusivamente que, desde 1930 até à data, muitos investigadores e treinadores fizeram tentativas para descrever a função anatómica e a participação muscular nesta técnica de nado.

Desde então, outros investigadores têm tentado estudar os sinais EMG para as quatro técnicas de nado embora o número de estudos publicados não seja abundante ⁽²⁵⁾. Para uma revisão do “estado da arte” nesta temática, procederemos a uma descrição no Quadro 1 dos principais estudos realizados no âmbito da EMG em natação (englobando trabalhos realizados em natação pura, polo aquático e natação sincronizada), apresentando o(s) respetivo(s) autor(es), técnica(s) estudada(s), músculos analisados e procedimentos e elétrodos utilizados.

QUADRO 1 — Estudos efectuados com EMG em Natação Pura Desportiva, Pólo Aquático e Natação Sincronizada (actualizado de Clarys e Cabri⁽²⁵⁾).

AUTOR (ANO)	TÉCNICAS DE NADO	MÚSCULOS	ELÉCTRODOS	PROCEDIMENTOS
Ikai et al. (1964)	Crol, braços, costas e mariposa	FCU, ECU, BB, D, PM, TM, T, LD, RA, GM, RF, BF, TA, G	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	EMG em bruto, Integração Manual
Lewillie (1968, 1971a)	NPD	TB, Q	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, EMG em bruto, iEMG, Sinal electromiográfico rectificado, Normalização
Lewillie (1971b, 1973, 1974, 1976)	Crol, braços, costas e mariposa	TB, BB, RF	Eléctrodos Bipolares	Telemetria, EMG em bruto, iEMG, Normalização
Bartels e Adrian (1971)	Ação dos MI de mariposa	RA, ES, RF, BF, TA, G	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope linear, EMG em bruto, Normalização
Delhez et al. (1971)	Costas, braços	Df	EMGprof	EMG em bruto, Integração, Normalização
Valday et al. (1971)		TB, LD, PM, T, GM	EMGprof	---
Clarys et al. (1973)	NPD e Pólo Aquático	BB, TB, FCU, BR	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, Normalização
Maes et al. (1975)	Nadadores e amputados	BB, FCU, BF, TA, RA	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, Normalização, Sinal EMG em bruto, iEMG
Tokuyama et al. (1976)	Crol e braços	TA, G, VM, RF, BF, GM, RA, S, BB, TB, D, PM, LD	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope Linear
Yoshizawa et al. (1976)	Braços	TA, G, VM, RF, BF, GM, RA, S, BB, TB, D, PM, LD	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope Linear
Bankoff e Vitti (1978)	Crol	LD, PM	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope Linear, Sinal EMG em bruto
Yoshizawa et al. (1978)	Braços	TA, G, VM, RF, BF, GM, RA, FCU, ECU, S, BB, TB, D, PM, LD	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope Linear
Piette e Clarys (1979)	Crol	BB, LD, PM, GM, RA	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	EMG em bruto, iEMG, Normalização
Dupuis et al. (1979)	Costas, braços	TB, D	EMGprof	Telemetria
Oka et al. (1979)	Pernda de crol	GM, VM, BF, RF, TA, G	EMGprof	EMG em bruto
Piette et al. (1979)	Crol	TB, LD, PM, RA, GM,	EMGsup	Telemetria, normalização,
Vitti e Bankoff (1979)	Crol	LD, PM	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope Linear, Sinal EMG em bruto
Yoshizawa et al. (1983)	NPD	D, PM, LD, FCR		Telemetria
Clarys et al. (1983, 1985)	Crol na água e fora da água	ED, FCU, TB, D, SCM, T, LD, PM, RA, O, GM, RF, S, TA, G, BF	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, EMG em bruto, iEMG, Normalização

AUTOR (ANO)	TÉCNICAS DE NADO	MÚSCULOS	ELÉCTRODOS	PROCEDIMENTOS
Olbrecht e Clarys (1983), Clarys e Olbrecht (1983)	Treino fora da água	ED, FCU, TB, LD, PM, BB, O, D	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope Linear, Normalização
Vitti e Bankoff (1984)	Mariposa	LD, PM	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope Linear, EMG em bruto
Clarys et al. (1985)	Crol	BB	EMGprof	Telemetria, normalização
Bollens e Clarys (1986)	Crol (trabalho com palas)	BB, BR, TB, ED	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, EMG em bruto, iEMG, Normalização
Nuber et al. (1986)	Crol, Bruços, Mariposa e treino fora da água	BB, SC, LD, PM, Sp, I, SA, D	EMGprof (Eléctrodos Bipolares de arame)	Telemetria, Normalização
Dee (1987)	Crol (nadadores com e sem lesão no ombro)	D	EMGsup	Telemetria, EMG em bruto, Normalização
Bollens et al. (1988)	Crol (nado amarrado)	TB, PM, FCU, LD, RF, G	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope linear, EMG em bruto, iEMG, Normalização
Cabri et al. (1988)	Crol (nado semi-amarrado)	TB, PM, FCU, LD, RF, G	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope linear, EMG em bruto, iEMG, Normalização
Clarys e Cabri (1988)	Crol (arrasto activo)	BB, BR, TB, ED	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope linear, EMG em bruto, iEMG, Normalização
Rouard et al. (1988)	NPD	---	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria
De Witte et al. (1988)	Bruços	LD, T, RA	EMGsup	Telemetria, EMG em bruto
Rouard (1989)	Crol	D, BB, TB, BR, FCU	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, EMG em bruto, Média do pico mais elevado
Rouard (1990)	Crol	D, BB, TB, BR, FCU	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, EMG em bruto
Rouard e Billat (1990)	Crol	FCU, BB, TB, D	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, EMG em bruto
Pink et al. (1991)	Crol	D, S, R, PM, LD, TM, Sp, SA, I	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, EMG em bruto, Normalização
Scovazzo et al. (1991)	Crol	D, I, Sp, R, SA, TM	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, EMG em bruto, Normalização
Cabri et al. (1992)	Crol	RF, BF, TA, G	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	EMG em bruto, Envelope linear, iEMG, Normalização
Zinzen et al. (1992)	Natação sincronizada	TB, BB, FCU, D, PM	EMGsup	iEMG, normalização
Clarys et al. (1992)	Pólo Aquático	RF, BF, TA, G	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	EMG em bruto, Envelope linear, iEMG, Normalização
Monteil e Rouard (1992a)	Crol	BB, TB, BR, FCU, PM	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, EMG em bruto, Envelope linear

AUTOR (ANO)	TÉCNICAS DE NADO	MÚSCULOS	ELÉCTRODOS	PROCEDIMENTOS
Monteil e Rouard (1992b)	Crol (com palas)	BB, TB, BR, FCU, PM	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Envelope linear, iEMG, Normalização
Monteil et al. (1993)	Crol	Sp, I, TM, S, PM, LD	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	EMG em bruto, iEMG, Normalização
Rouard et al. (1993a)	Crol	LD, TB, BB, FCU, D	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, iEMG
Rouard et al. (1993b)	Crol	LD, TB, BB, FCU, D	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, iEMG, EMG em bruto, Normalização
Wakayoshi et al. (1994)	Crol	TB, BB, FCU, D	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, iEMG, RMS
Ruwe et al. (1994)	Bruços	LD, TB, BB, FCU, D	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, iEMG
Rouard e Clarys (1995)	NPD	BB, TB, FCU, BR, D, LD	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, Envelope linear, iEMG, Normalização
Monteil et al. (1996)	Crol	LD, PM, Sc, Sp	EMGprof	iEMG, normalização
Rouard et al. (1997)	Crol	BR, LD, TB, BB, FCU, D	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, iEMG
Daniel et al. (1999)	Bruços	TB, D, PM	EMGsup	Sinal EMG em bruto
Klaus e Jurgen (1999)	Bruços	PM, D, TB, TM	EMGsup	EMG em bruto
Kruger et al. (2003)	Grab e Track Start	BB, TB, ES, D, GM, S, RF, GM	EMGsup	Envelope linear
Caty et al. (2006)	Crol	FCU, ECU	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, iEMG, RMS
Hohmann et al. (2006)	Partida de Costas	D, S, ES, RF	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, iEMG, RMS
Hohmann et al. (2006)	Partida de Costas	D, BB, TB, ES, RF, GM, G, S	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	Telemetria, iEMG, RMS
Klauck et al. (2006)	Pólo Aquático	GM, VM, AD	EMGsup	EMG filtrado
Aujouannet et al. (2006)	Crol	BB, TB	EMGsup	iEMG
Figueiredo (2007)	Crol	D	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Normalização
Caty et al. (2007)	Crol	FCU, ECU	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG
Pereira et al. (2007)	Viragem de rolamento em crol	VL, BF, G, TA	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Envelope linear, Normalização
Ganter et al. (2007)	Mariposa (treino fora de água)	TB, LD	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Frequência
Pereira et al. (2008)	Viragem de rolamento em crol	VL, BF, G, TA	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Envelope linear, Normalização

AUTOR (ANO)	TÉCNICAS DE NADO	MÚSCULOS	ELÉCTRODOS	PROCEDIMENTOS
Figueiredo (2008)	Crol	T	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Normalização
Figueiredo et al. (2008)	Mariposa	D	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Normalização
Oliveira et al. (2008)	Pólo Aquático	G, TA, BF, AD, VM, TFL	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Normalização
Rebocho et al. (2008)	Pólo Aquático	D, TB, PM, LD, FCU, T	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Normalização
Liberal et al. (2008)	Pólo Aquático	T, D, TB, PM, LD, FCR	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Frequência
Figueiredo et al. (2009)	Crol	D	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Normalização
Figueiredo et al. (2009)	Crol	FCR, BB, TB, PM, T, RF, BF, TA	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Frequência
Oliveira et al. (2010)	Pólo Aquático	TA, G, AD, VM, TFL, BF	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	EMG em bruto, iEMG, Normalização
Figueiredo et al. (2010)	Crol	FCR, BB, TB, PM, T, RF, BF, TA	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Normalização
Figueiredo et al. (2010)	Viragem de rolamento em crol	BF, G, TA, VL	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Normalização
Conceição et al. (2010)	Crol	BB, TB	EMGsup	iEMG, Normalização
Pereira et al. (2010)	Pólo Aquático	BF, G, TB, BB, D, RF	EMGsup (Eléctrodos Bipolares)	iEMG, Envelope linear, Normalização
Jammes et al. (2010)	Trabaho com Barbatanas	VM, TA, GM	EMGsup	iEMG, RMS

Legenda: *adductor longus* (AD), *brachio radialis* (BR), *bíceps brachii* (BB), *bíceps femoris* (BF), *deltoideus* (D), *Diaphragma* (Df), EMG profundidade (EMGprof), EMG superfície (EMGsup), *erector spina* (ES), *extensor carpi ulnaris* (ECU), *extensor digitorum* (ED), *flexor carpi radialis* (FCR), *flexor carpi ulnaris* (FCU), *gastrocnemius* (G), *gluteus maximus* (GM), *infrapinatus* (I), *latissimus dorsi* (LD), MI (membros inferiores), MS (membros superiores), Natação Pura Desportiva (NPD), *pectoralis major* (PM), oblíquos (O), *quadriceps* (Q), *rector abdominis* (RA), *rectus femoris* (RF), *romboideus* (R), *semimembranosus* (Sb), *serratus anterior* (SA), *smitendinosus* (S), *sterna cleida mastoideus* (SCM), *subscapularis* (Sc), *suprapinatus* (Sp), *teres major* (TM), *tensor fasciae latae* (TFL), *tibialis anterior* (TA), *trapezius* (T), *triceps brachii* (TB), *vastus lateralis* (VL), *vastus medialis* (VM).

Efetuando uma análise mais detalhada ao Quadro 1, poder-se-á concluir que o número de estudos efetuados no âmbito da EMG em natação não é muito elevado tendo em conta que o início da respetiva publicação ocorreu na década de 1960. Este facto é especialmente visível através do particularmente reduzido número de publicações após a década de 1990, as quais se encontram muito centradas no grupo de Annie Rouard (Universidade de Savoie, França) e no nosso próprio grupo de investigação. Este Quadro torna-se ainda mais explícito quando se observam os grupos musculares estudados, bem como as fases da ação dos membros superiores e inferiores das diferentes técnicas de nado, e ainda das técnicas de

partidas e viragens. Pode-se, nomeadamente, observar a existência de somente um estudo (do nosso grupo) relativo à análise EMG das técnicas de viragem, particularmente na técnica de viragem de rolamento realizada nas provas de estilo livre. Estudos realizados no âmbito do pólo aquático e da natação sincronizada são ainda mais escassos, parecendo, no entanto, despertar um interesse acrescido nos últimos anos.

Da sùmula dos diferentes contributos disponibilizados na literatura especializada e sumariados no Quadro 1, pode perceber-se que a natação pura desportiva parece envolver concomitantemente os músculos dos membros superiores, do tronco e dos membros inferiores, tendo despertado o interesse de vários investigadores pelo papel desempenhado por essas regiões anatómicas. De entre as áreas estudadas, a natação pura desportiva consubstancia-se como a mais esmiuçada e, nesta, os músculos mais estudados e, consecutivamente, percebidos como mais recrutados são o *bíceps brachii*, o *deltoideus*, o *flexor carpi ulnaris*, o *latissimus dorsi*, o *pectoralis major* e o *triceps brachii*, no trem superior, e o *tibialis anterior*, o *rectus femoris*, o *bíceps femoris*, o *gluteus maximus* e o *gastrocnemius*, no trem inferior.

CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A EMG é uma técnica bioelétrica de muito elevado interesse para a Biomecânica geral e, em especial, para a Biomecânica desportiva, permitindo aos investigadores perceber quais os músculos mais envolvidos nas diferentes ações técnicas, qual a cronologia da sua intervenção e a alteração deste padrão com acontecimentos relevantes como a aprendizagem e o treino, a fadiga, ou a intensidade do exercício.

A natação não foge à regra e, por isso, importa reconhecer o papel da EMG para o entendimento dos principais grupos musculares envolvidos na atividade e, também por isso, os que mais persistentemente importará treinar. Serão certamente diferentes entre as várias técnicas de natação pura desportiva, mas especialmente entre estas e as técnicas específicas do Polo Aquático e da Natação Sincronizada. Aos treinadores recomenda-se que atentem especialmente nos grupos musculares que, nos diferentes estudos revistos, se mostraram mais intensamente envolvidos na atividade e mais susceptíveis à fadiga.

AGRADECIMENTOS

Projecto PTDC/DES/101224/2008 - FCOMP-01-0124-FEDER-009577.

1. Alberton C, Silva E, Cadore, E, Coertjens M, Beyer P, Marocco L, Kruel L (2008). Respostas Eletromiográficas Induzidas pelo Isolamento sobre os Eletrodos de Superfície e pela Imersão. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 8: 330-336.
2. Amadio A, Duarte M (1996). *Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento humano*. São Paulo: Edição da Universidade de São Paulo.
3. Amadio A, Duarte M, Ervilha U (1999). Estudo do padrão da intensidade do sinal electromiográfico e da variação angular do joelho durante a marcha humana dentro e fora da água no domínio temporal. In: M. Krascki; A. Moro; S. Melo; A. Avila (Eds.), *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica*. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Biomecânica, 471-476.
4. Ancierno S, Baratta R, Solomonow M. (1995). *A practical guide to electromyography for biomechanists*. Bioengineering Laboratory/LSUMC Department of Orthopaedics, Louisiana.
5. Ashley-Ross MA, Gillis GB (2002). A Brief History of Vertebrate Functional Morphology. *Integrative and Comparative Biology*, 42: 183-189.
6. Aujouannet Y, Bonifazi M, Hintzy F, Vuillerme N, Rouard AH (2006). Effects of a high-intensity swim test on kinematic parameters in high-level athletes. *Applied Physiology Nutritional & Metabolism* 31: 150—158
7. Bankoff A, Vitti M. (1978). Simultaneous EMG of latissimus dorsi and sternocostal part of pectoralis major muscles during crawl stroke. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 18: 289-295.
8. Bartel K, Adrian M. (1971). Variability in the dolphin kick under four conditions. In: Lewillie L, Clarys JP (eds.), *Proceedings of the 1st International Symposium on Biomechanics in Swimming*. Brussels: Presse Universitaire de Bruxelles, 105—118
9. Basmajian JV, De Luca CJ (1985). *Muscles Alive: Their functions revealed by electromyography* (5ª ed.) Waverly, Baltimore: Williams and Wilkins.
10. Bollens E, Annemans L, Vaes W, Clarys J (1988). Peripheral EMG comparison between fully tethered and free front crawl swimming. In: Ungerechts BE, Wilkie K, Reischle K (eds.), *International Symposium of Biomechanics and Medicine in Swimming — Swimming Science V*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Books, 173-181.
11. Bollens E, Clarys JP (1986). Front crawl training with hand paddles: A telemetric EMO investigation. In: Adrian M, Deutsch H (eds.), *Biomechanics*. University of Oregon, 271-277.
12. Cabri J, Annemans L, Clarys JP, Bollens E, Publie J (1988). The relation of stroke frequency, force and EMG in front crawl tethered swimming. In: Ungerechts BE, Wilkie K, Reischle K (eds.), *International Symposium of Biomechanics and Medicine in Swimming — Swimming Science V*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, 183-189.
13. Cabri J, Slachmuylders V, Clarys JP (1990). An ergonomic electromyography study of different swimming fins. In: Klavdianos A, Fonseca J (eds.), *VIII International Symposium on Biomechanics and Sport*. Brasilia, 85-89.
14. Cabri J, Slachmuylders V, Clarys JP (1992). An ergonomic electromyographic study of different swimming fins. In: McLaren M, Reilly T, Lees A (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI*. London: E & F.N. Spon, 105-110.
15. Carvalho J, Gonçalves P, Conceição F, Vilas-Boas JP (1999). Eléctrodos activos para EMG diferencial de superfície em contexto desportivo (Resumo). In: *Livro de Resumos do 1º Congresso Internacional de Ciências do Desporto*, Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.
16. Caty V, Aujouannet Y, Hintzy F, Bonifazi M, Clarys JP, Rouard AH (2006). Wrist stabilization and forearm muscle coactivation during freestyle swimming. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 30: 1-7.
17. Caty V, Aujouannet Y, Hintzy F, Bonifazi M, Clarys JP, Rouard AH (2007). Wrist stabilization and forearm muscle coactivation during freestyle swimming. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17: 285-291.
18. Cavanagh P (1974). Electromyography: its use and misuse in physical education, *Journal of Health, Physical Education and Recreation*, 23: 61- 64.

19. Clarys JP (1983). A review of EMG in Swimming: explanation of Facts and/ or feedback Information. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Baltimore: University Park Press, 123-135.
20. Clarys JP (1987). Application of EMG for the evaluation of performance in different sports. In: Marconnet P, Komi PV (eds.), *Muscular Function in Exercise and Training*. Basel: Kerger, 200-223.
21. Clarys JP (1988). The Brussels Swimming EMG Project. In: Ungerechts BE, Wilkie K, Reischle K (eds.), *International Symposium of Biomechanics and Medicine in Swimming - Swimming Science V*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, 157-190.
22. Clarys JP (2000). Electromyography in sports and occupational settings: an update of its limits and possibilities. *Ergonomics*, 43 (10): 1750-1762.
23. Clarys JP, Alewaeters K (2003). Science and Sports: a brief history of muscle, motion and ad hoc organizations. *Journal of Sports Science*, 21: 669-677.
24. Clarys JP, Cabri J (1988). EMG of repetitive and rhythmic (sports) movements. In: *Proceedings of a Special Symposium on Maturing Technologies and Emerging Horizons in Biomedical Engineering*. New Orleans: IEEE, 4-7.
25. Clarys JP, Cabri J (1993). Electromyography and the study of sports movements: a review. *Journal of Sports Science*, 11: 379-448.
26. Clarys JP, Cabri J, Teirlinck P (1992). Na electromyographic and impact force study of the overhand waterpolo throw. In: McLaren D, Reilly T, Lees A (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VI*. London: E. & F.N. Spon, 111-116.
27. Clarys JP, Dufour W, Pynaert M (1985). De elektromyografie van drie voetbalbewegingen (Electromyography of three soccer movements). *Geneeskunde en Sport*, 18: 91-94.
28. Clarys JP, Jiskoot J, Lewillie L (1973). A kinematographical, electromyographical, and resistance study of water polo and competition front crawl. *Medicine and Sport*, 8: 446-452.
29. Clarys JP, Massez C, Van den Broeck M, Piette G, Robeaux R (1983). Total telemetric surface of the front crawl. In: Matsui H, Kobayashi K (eds.), *Biomechanics VIII-B*. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 951-958.
30. Clarys JP, Olbrecht J (1983). Peripheral control of complex swimming movements using telemetric and conventional electromyography. In: Rieder H, Bos K, Mechling H, Reischle K (eds.), *Motorik und Bewegungsforschung*. Schorndorf: Karl Hofmann, 111-116.
31. Clarys JP, Robeaux R, Delbeke G (1985). Telemetered versus conventional EMG in air and water. In: Winter D, Norman R, Hayes R, Patla A (eds.), *Biomechanics IX-B*. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 286-290
32. Conceição A, Silva A, Palma S, Silva H, Gamboa H, Louro H (2010). Electromyography in Front Crawl Technique - Case Study. *Open Sports Science Journal*, 3, 67-69.
33. Correia PP, Santos PM-H (2004). Introdução. In: Correia PP, Mil-Homens P (eds.), *A Electromiografia no estudo do movimento humano*. Lisboa: FMH edições, 13-21.
34. Correia P, Santos P, Veloso A (1993). *Electromiografia. Fundamentação fisiológica. Métodos de recolha e de processamento. Aplicações cinesiológicas*. Universidade Técnica de Lisboa. Edições FMH.
35. Correia P, Santos P, Veloso A, Cabri J (1998). Estudo da função neuromuscular com recurso à Electromiografia: Desenvolvimento e fundamentação de um sistema de recolha e processamento e estudos realizados. *Episteme*, 2.
36. Dainty D, Norman R (1987). *Standardizing biomechanical testing in sport*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers.
37. Daniel K, Klauck J (1999) Mechanical and electromyographical parameters in breaststroke pull under different moving conditions. In: Keskinen KL, Komi PV, Hollander AP (eds) *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. University of Jyväskylä, Jyväskylä, pp 33-39.
38. Dee L (1987). Arm stroke EMG and kinematics of swimmers. In: Terauds J, Gowitz B, Holt L (eds.), *International symposium on biomechanics on sport*. Athens, Greece, 182-191.
39. Delhez L, Pirnay F, Deroanne R, Petit JM (1971) Analysis of ventilatory and cardiac activities by autonomous memorizing during swimming and underwater diving. In: Lewillie L, Clarys JP (eds.), *Proceedings of the First International Symposium on Biomecha-*

- nics in Swimming, Waterpolo and Diving*. Universite Libre de Bruxelles, Bruxelles.
40. De Luca C (1993). *The use of Surface Electromyography in Biomechanics*. Watenweiler Memorial Lecture. International Society for Biomechanics.
41. De Luca C (1997). The use of surface Electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13: 135-163.
42. De Luca CJ, Knaflitz M (1990). *Surface Electromyography: What's New? Monograph of the Neuro-muscular Research Center*. Boston: Boston University.
43. De Witte B, Loyens R, Robeaux R, Clarys, JP (1988) The activity of trunk muscles in paraplegic patients after breaststroke initiation. In: Ungerechts BE, Wilkie K, Reischle K (eds.), *Swimming Science V*. Human Kinetics Publishers. Champaign, Illinois.
44. Dupuis R, Adrian M, Yoneda Y, Jack M (1979). Forces acting on the hand during swimming and their relationships to muscular, spatial, and temporal factors. In: Terauds J, Bedingfield EW (eds.), *Swimming III*. University Park Press, Baltimore.
45. Ervilha U, Duarte M, Amadio A (1999). Estudo do padrão da intensidade do sinal eletromiográfico e da variação angular do joelho durante a marcha humana dentro e fora da água no domínio temporal. In: Kraeski M, Moro A, Melo S, Ávila A (eds), *VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica*. Santa Catarina, Brasil, 471-475.
46. Figueiredo P, Brito J, Gonçalves P, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ (2009). EMG normalization procedures in swimming. A case study. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 19 (3): 258.
47. Figueiredo P, Fernandes R, Sousa A, Vilar S, Gonçalves P, Vilas-Boas JP (2008). Electromyographic analysis of the deltoideus action during the recovery in butterfly. A pilot study with different breathing patterns. In: *Programme and Book of Abstracts of 16th FINA World Sports Medicine Congress*. FINA Manchester, UK, 16.
48. Figueiredo P, Pereira S, Sales E, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ (2009). Fatigue electromyographic analysis during the 200m front crawl. *Journal of Sports Science and Medicine, Supp. 11*: 192.
49. Figueiredo P, Sousa A, Gonçalves P, Pereira S, Soares S, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ (2010). Biophysical Analysis of the 200m Front Crawl Swimming: a Case Study. In: Kjendlie PL, Stallman R, Cabri J (eds.), *Book of proceedings of the XI Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*. Norwegian School of Sport Sciences. Oslo, Norway, 79-81.
50. Figueiredo P, Sousa A, Pereira S, Vilar S, Gonçalves P, Fernandes R, Vilas-Boas JP (2007). Estudo eletromiográfico do músculo deltóide durante a recuperação dos membros superiores na técnica de crol. *Educación Física y Deportes, Revista Digital* (<http://www.efdeportes.com/>), 12 (113): 1.
51. Figueiredo P, Sousa A, Pereira S, Vilar S, Gonçalves P, Coelho J, Fernandes R, Vilas-Boas JP (2008). In: Cabri J, Alves F, Araújo D, Barreiros J, Diniz J, Velloso A (eds.), *Book of Abstracts of the 13th Annual Congress of the European College of Sport Science*. Estoril, Portugal.
52. Figueiredo P, Vilar S, Pereira S, Gonçalves P, Fernandes RJ, Vilas-Boas JP (2010). Neuromuscular Activity of Agonistic and Antagonistic Muscles in the Swimming Freestyle Flip Turn. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 42 (5): 488.
53. Ganter N, Witte K, Nusser J, Heller M, Schwab K, Witte H (2007). Spectral parameters of surface electromyography and performance in swim bench exercises during the training of elite and junior swimmers. *European Journal of Sport Science*, 7 (3): 143-155.
54. Geddes LA (1972). *Electrodes and the measurement of bioelectric events*. Wiley-Interscience, New York, New York.
55. Geddes LA, Hoff HE (1971). The discovery of bioelectricity and current electricity (The Galvani-Volta controversy). *IEEE Spectrum* 8: 38-46.
56. Gonçalves P, Pereira S, Vilar S, Figueiredo P, Sousa A, Fernandes R, Vila-Boas, JP (2006). Underwater electromyography system and his dialog with other instrumentation. In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds.), *International Symposium Biomechanics and Medicine in Swimming X, Portuguese Journal of Sport Sciences, Porto*, 6 (1): 21.
57. Grieve DW (1975). Electromyography. In: Grieve DW, Miller D, Mitchelson D (eds.), *Techniques for the analysis of human movement*. London: Lepus Books, 109-149.

58. Hermens H, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G, Klug C, Hogg G (1999). European recommendations for surface electromyography. *Roessingh Research and Development*, 3: 14-24.
59. Hermens HJ, Hagg G, Freriks B (1997). *European Applications on Surface EMG. The SENIAM EC Project*. Enschede: Roessingh Research and Development.
60. Hermens HJ, Merletti R, Freriks B (1996). *European Activities on Surface EMG. The SENIAM EC Project*. Enschede: Roessingh Research and Development.
61. Hermens HJ, Rau G, Disselhorst-Klug C, Freriks B (1998). *Surface EMG Application Areas and Parameters. The SENIAM EC Project*. Enschede: Roessingh Research & Development.
62. Herzog W, Guimarães ACS, Zhang YT (1994). EMG. In: Nigg BM, Herzog W (eds.), *Biomechanics*. Wiley Publishers, 308-335.
63. Hohmann A, Fehr U, Kirsten R, Krueger T (2008). Biomechanical analysis of the backstroke start technique in swimming. *E-Journal Bewegung und Training*, 2: 28-33.
64. Hohmann A, Kirsten R, Kruger T (2006). EMG model of the backstroke start technique. In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds). *X International symposium of biomechanics and medicine in swimming*. Porto, 38-39.
65. Hólmer I (1974). Physiology of swimming man. *Acta Physiol. Scand.*, suppl. 407.
66. Hug F, Lapland D, Lucia A, Grelot L (2006). A comparison of visual and mathematical detection of the electromyographic threshold during incremental pedalling exercise: a pilot study. *Journal of Strength and Condicion Research*, 20: 704-708.
67. Jammes Y, Delliaux S, Coulange M, Jammes C, Kipson N, Brerro-Saby C, Bregeon F (2010). EMG changes in thigh and calf muscles in fin swimming exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 31 (8): 548-554.
68. Ikai M, Ishii K, Miyashica M (1964). An electromyographic study of swimming. *Research Journal of Physical Education*, 7: 47-54.
69. Klauck J, Daniel K, Bayat M (2006). Goalkeeper's eggbeater kick in waterpolo: kinematics, dynamics and muscular coordination. In: Vilas-Boas JP, Alves F, Marques A (eds). *X International symposium of biomechanics and medicine in swimming*. Porto, 56-58.
70. Klaus D, Jurgen K (1999). Mechanical and Electromyographical parameters in breaststroke pull under different moving conditions. In: Keskinen KL, Komi PV, Hollander AP (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. Jyväskylä: University of Jyväskylä, 33-39.
71. Kruger T, Wick D, Hohmann A, El-Bahrawi M, Koth A (2003). Biomechanics of the Grab and Track Start technique. In: Chatard JC (ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*. Saint-Étienne: Publications de l'Université de Saint-Étienne, 219-223.
72. Lewillie L (1968). Telemetrical analysis of the electromyograph. In: Wartenweiler J, Jokl E, Hebbelink M (eds.), *Biomechanics I*. Basel: S. Karger Verlag, 147-149.
73. Lewillie L (1971a). Graphic electromyographic analysis of various styles of swimming. In: Clarys JP, Lewillie L (eds.), *Medicine and Sport. Biomechanics II*. Karger: Basel, 253-257.
74. Lewillie L (1971b). Quantitative comparison of the electromyogram of the swimmer. In: Lewillie L, Clarys JP (Eds.), *Proceedings of the First International Symposium on "Biomechanics in Swimming, Waterpolo and Diving"*. Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, 155-159.
75. Lewillie L (1973). Muscular activity in swimming. In: Cerquiglini S, Venerando A, Wartenweiler J (Eds.), *Biomechanics III*. Basel: S. Karger Verlag, 440-445.
76. Lewillie L (1974). Telemetry of electromyographic signals in swimming. In: Nelson R, House M (eds.), *Biomechanics IV*. Baltimore: University Park Press, 203-207.
77. Lewillie L (1976). Variability of myoelectric signals during swimming. In: Komi PV (ed.), *Biomechanics VI*. Baltimore: University Park Press, 230-234.
78. Liberal S, Oliveira N, Sarmento M, Gonçalves P, Figueiredo P, Fernandes R, Vilas-Boas JP (2008). Spectral analysis of surface electromyography during a series of water polo overhand shots. In: *Programme and Book of Abstracts of 16th FINA World Sports Medicine Congress*. FINA Manchester, UK, 17.
79. Maes L, Clarys J, Brouwer P (1975). Electromyography for the evaluation of handicapped swimmers. In: *Swimming II*. Baltimore: University Park Press, 269-275.

80. Marey EJ (1890). *Le vol des oiseaux*. Paris: G. Masson.
81. McLeod W (1973). EMG instrumentation in biomechanical studies: amplifiers, recorders and integrators. In: Desmedt JE (ed.), *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophys. Vol I*. Basel: Karger, 511-518.
82. Merletti R, Parker P (2004). *Electromyography: Physiology, Engineering, and Non-Invasive Applications*. IEEE Press.
83. Monteil K, Rouard A (1992a). Biomechanical aspects of paddle swimming at different speeds. In: McLaren D, Reilly T, Lees A (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VI*. London: E. & F.N. Spon, 63-68.
84. Monteil K, Rouard A (1992b). Influence of the size of the paddles in front crawl stroke. In: McLaren D, Reilly T, Lees A (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming VI*. London: E. & F.N. Spon, 99-104.
85. Monteil KM, Rouard AH, Dufour AB, Cappaert JM, Troup JP (1996) Swimmers' shoulder: EMG of the rotators during a flume test. In: Troup JP, Hollander AP, Strasse D, Trappe SW, Cappaert JM, Trappe TA (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming - VII*.
86. Monteil KM, Rouard AH, Dufour AB, Troup JP (1993). EMG of the shoulder muscles during an exercise front crawl test realized in a flume. *XVI I.S.B. Congress*, 896-897.
87. Nuber W, Jobe W, Perry J, Moynes R, Antonelli D (1986). Fine wire electromyography analysis of muscles of the shoulder during swimming. *American Journal of Sports Medicine*, 14: 63-65.
88. Oka H, Okamoto T, Yoshizawa M, Tokuyama H, Kumamoto M (1979). Electromyographic and cinematographic study of the flutter kick in infants and children. In: Terauds J, Bedingfield E (eds.), *Proceedings of the third International Symposium of Biomechanics in Swimming*. University of Alberta, Canada, 167.
89. Olbrecht J, Clarys J (1983). EMG of specific strength training exercises for the front crawl. In: Hollander AP, Huijting P, Groot G (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Baltimore: University Park Press, 136-141.
90. Oliveira N, Fernandes RJ, Sarmento M, Liberal S, Figueiredo P, Gonçalves P, Vilas-Boas JP (2010). Muscle activity during the typical water polo eggbeater kick. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 4: 163-174.
91. Oliveira N, Sarmento M, Liberal S, Gonçalves P, Figueiredo P, Fernandes R, Vilas-Boas JP (2008). Electromyographic analysis of the eggbeater kick in water polo. In: *Programme and Book of Abstracts of 16th FINA World Sports Medicine Congress*. FINA Manchester, UK, 10.
92. Pereira F, Figueiredo P, Gonçalves P, Pereira S, Vilas-Boas JP, Fernandes RJ, Machado, L. (2010). Kinematic and electromyographic analysis of the water polo crawl while leading the ball. A pilot study. *Open Sports Science Journal*, 3: 31-33.
93. Pereira S, Vilar S, Gonçalves P, Fernandes S, Fernandes R, Roesler H, Vilas-Boas JP (2007). Electromyographic analysis of the Flip Turn technique. In: Menzel HJ, Chagas MH (eds.), *XXVth International Symposium on Biomechanics in Sports - ISBS*. Department of Sports of the Federal University of Minas Gerais, Brasil, 55-58.
94. Pereira S, Vilar S, Gonçalves P, Figueiredo P, Fernandes S, Fernandes R, Roesler H, Vilas-Boas JP (2008). A combined biomechanical analysis of the flip turn technique. In: K. Young-Hoo K, Jaeho S, Jae Kun S, In-Sik S (eds), *26 International Conference on Biomechanics in Sports*. Seoul, Korea.
95. Piette G, Clarys J (1979). Telemetric EMG of the front crawl movement. In: J. Terauds J, Bedingfield W (eds.), *Swimming III*. Baltimore: University Park Press, 153-159.
96. Pink M, Jobe EW, Perry J, Kerrigan J, Browne A, Scovazzo ML (1991a). The normal shoulder during freestyle swimming: An EMG and cinematographic analysis of 12 muscles. *Journal of Sports Sciences*, 9: 102.
97. Pink M, Jobe EW, Perry J, Kerrigan J, Browne A, Scovazzo ML (1991b). The normal shoulder during the freestyle and back crawl: An EMG and cinematographic analysis of 12 muscles. *Journal of Sports Sciences*, 9: 102-103.
98. Rainoldi A, Cescon C, Bottin A, Casale R, Caruso I (2004). Surface EMG alterations induced by underwater recording. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14: 325-331.
99. Rau G, Schulte E, Disselhorst K (2004). From cell to movement: to what answers does EMG really contribute? *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14: 611-617.

100. Rebocho M, Cancela N, Libera S, Gonçalves P, Figueiredo P, Fernandes R, Vilas-Boas JP (2008). Electromyographical study of three different types of shot in water polo. In: *Programme and Book of Abstracts of 16th FINA World Sports Medicine Congress*. FINA Manchester, UK, 20.
101. Rouard A (1989). *Effects of speed on the biomechanics of freestyle in swimming*. Communication to the XIIth International Congress of Biomechanics, Los Angeles.
102. Rouard AH (1990). *Influence of performance level on the biomechanics of the freestyle*. Communication to the VIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, Liverpool.
103. Rouard A, Billat R (1990). Influences of sex and level of performance on freestyle stroke: an electromyography and kinematic study. *International Journal of Sports Medicine*, 11: 150-155.
104. Rouard A, Billat R, Deschodt V, Clarys J (1993a). Muscular activation in sweep movements of the upper limb in freestyle swimming. In: Riehle H, Vieten M (eds.), *XIX I.S.B. Congress*, 781-782.
105. Rouard A, Billat R, Deschodt V, Clarys J (1997). Muscular activations during repetitions of sculling movements up to exhaustion in swimming. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 105 (7): 655-662.
106. Rouard A, Clarys J (1995). Cocontraction in the elbow and shoulder muscles during rapid cyclic movements in an aquatic environment. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5 (3): 177-183.
107. Rouard H, Quezel-Ambrunaz G, Billat P (1988). A telemetric system for the analysis of six muscle activities in swimming. In: Ungerechts B, Wilke K, Reischle K (eds.), *Swimming Science V*. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 84-87.
108. Rouard A, Quezel G, Billat R (1992). Effects of speed on EMG and kinematic parameters in freestyle. In: Maclaren T, Reilly T, Lees A (eds.), *Biomechanics and Medicine in Sport*, vol 6, 93-97.
109. Rouard A, Schleihauf R, Troup J. (1993b). Relationship between hand forces and EMG in freestyle swimming. In: Riehle H, Vieten M (eds.), *XIX I.S.B. Congress*, 1150-1151.
110. Ruwe P, Pink M, Jobe F, Perry J, Scovazzo M (1994). The normal and the painful shoulders during the breaststroke. *American Journal of Sports Medicine*, 22 (6): 789-796.
111. Smith D, Norris S, Hogg J (2002). Performance evaluation of swimmers: scientific tools. *Sports Medicine*, 32 (9): 539-554.
112. Sousa A (2006). *Estudo comparativo da participação do músculo Trapezius (porções superior, média e inferior) em dois padrões distintos (lateral e Rectilíneo) dos Membros Superiores na Técnica de Crawl*. Porto: Dissertação de licenciatura apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.
113. Thomas C, Pavan J, Silva L, Zaro M (1999). Electromiografo com conversador AD. In: Kraeski M, Moro A, Melo S, Avila A (eds.), *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica*. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Biomecânica, 363-368.
114. Tokuyama H, Okamoto T, Kumamoto M (1976). Electromyographic study of swimming in infants and children. In: Komi PV (ed.), *Biomechanics V-A*. Baltimore, Md.: University Park Press, 215-221.
115. Trouvé G (1893). *Manuel d'Electrologie Médicale*. Paris: Ed. Octave Doin.
116. Valday M, Nemessuri M (1971). Motor patten of free style swimming. In: Lewillie L, Clarys JP (eds.) *Proceedings of the First International Symposium on Biomechanics in Swimming, Waterpolo and Diving*. Universite libre de Bruxelles, 167.
117. Vilas-Boas JP (1984). *Determinantes biomecânicas do equilíbrio humano no meio aquático*. Cadernos de Divulgação. AE-ISEF-UP, Porto
118. Vilas-Boas JP (1993). *Caracterização biofísica de três variantes da técnica de bruços*. Dissertação apresentada às provas de doutoramento no ramo de Ciências do Desporto, especialidade de Biomecânica do Desporto da Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto. Medisa - Edições e divulgações científicas. Porto.
119. Vilas-Boas JP (1994). *Bases mecânicas da natação: arrasto hidrodinâmico e propulsão*. Documento de apoio ao Curso de Mestrado em Treino de Alto Rendimento - Natação. Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
120. Vilas-Boas JP (1996). *Biomecânica (disciplina do 3º ano do Curso de Licenciatura em Desporto e*

- Educação Física*). Relatório apresentado ao concurso público para Professor Associado, do 7º Grupo da Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto. Porto: FCDEF-UP.
121. Vilas-Boas JP (1999). *Bioenergética do rendimento desportivo em Natação: chave para o entendimento das relações operativas entre Biomecânica e Fisiologia do treino*. Comunicação no XIX Congresso Internacional AETN. AETN Galicia. A Coruña.
122. Vilas-Boas JP (2004). *Relatório Pedagógico. Biomecânica (disciplina do 3º ano do Curso de Licenciatura em Desporto e Educação Física)*. Relatório apresentado para Provas de Agregação ao 3º grupo de disciplinas da Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto. FCDEF-UP, Porto.
123. Vitti M, Bankoff AD (1979). Simultaneous EMG of latissimus dorsi and sternocostal part of pectoralis major muscles during classic natatory stroke. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 19 (6): 505-10
124. Vitti M, Bankoff AD (1984). Simultaneous EMG of latissimus dorsi and sternocostal portion of pectoralis major muscles during butterfly natatory stroke. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 24 (1-2): 117-20.
125. Wakayoshi K, Moritani T, Mutoh Y, Miyashita M (1994). Electromyography evidence of selective muscle fatigue during competitive swimming. *Medicine and Science in Aquatic Sports*, 39: 16-23.
126. Winter D, Rau G, Kadefors R, Broman H, De Luca C. (1980). *Units, terms and standards in the reporting of EMG research*. Reports by the Ad Hoc Committee of the International Society of Electrophysiological Kinesiology, ISEK.
127. Yoshizawa M, Okamoto T, Kumamoto M (1983). Effects of EMG-biofeedback training on swimming. In: Matsui H, Kobayashi K (eds.), *Biomechanics VIIIB*. Human Kinetics, 828-832.
128. Yoshizawa M, Okamoto T, Kumamoto M, Tokuyama H, Oka H (1978). Electromyographic study of two styles in the breaststroke as performed by top swimmers. In: Asmussen E, Yorgensen K (Eds.), *Biomechanics VI-B*. Baltimore: University Park Press, 126-131.
129. Yoshizawa M, Tokuyama H, Okamoto T, Kumamoto M (1976). Electromyographic study of the breaststroke. In: Komi PV (ed.), *Biomechanics V-B*. Baltimore: University Park Press, 222-229.
130. Zaro M (1999). A instrumentação em Biomecânica e sua metodologia. In: M. Kraeski M, Moro A, Melo S, Avila A (eds.), *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica*. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Biomecânica, 45-50.
131. Zechin E, Vanhois M, Silva S, Gonçalves M (1999). Análise electromiográfica dos músculos vasto medial, reto da coxa e vasto lateral durante a extensão do joelho em equipamento de resistência mecânica com polia excêntrica e com polia convencional. In: Kraeski M, Moro A, Melo S, Ávila A (eds.), *VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica*. Santa Catarina, Brasil, 483-488.
132. Zinzen E, Antonis J, Cabri J, Serneels P, Clarys JP (1992) Syncro-swimming: an EMG study of the arm muscles during the scull movement in the 'single ballet leg alternate'. In: Maclaren D, Reilly T, Lees A (eds) *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI*. E & FN Spon, London, 117-122.