

## Artigo de Revisão

### EFEITOS DO TREINAMENTO DE NATAÇÃO NA FORÇA MUSCULAR

#### SWIMMING TRAINING EFFECTS ON MUSCULAR STRENGTH

Prado AKG, Schmidt E, Masiero MPB, Raguse GC, Kruel LFM. Efeitos do treinamento de natação na força muscular. R. Perspect. Ci. e Saúde 2017;2(1): 95-112.

**Resumo:** Ganhos de diferentes expressões de força muscular (FM) têm sido encontrados após a realização de um treinamento de TN. Porém, os mecanismos pelos quais o TN e FM interagem ainda são pouco estudados na literatura. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo é revisar os conceitos sob os quais se fundamentam as adaptações FM após TN, bem como discutir os resultados encontrados nos principais estudos a respeito do tema. Conclui-se que o TN pode surtir efeitos positivos sobre a FM de seus praticantes, sendo que as propriedades físicas da água, as respostas fisiológicas à imersão e questões bioenergéticas, são determinantes nessas respostas. Os estudos a respeito do assunto são escassos e apresentam limitações relativas ao tipo de amostra, tipo de TN, e descrição das variáveis do treinamento. Novos estudos avaliando os efeitos do TN na FM, principalmente com indivíduos não treinados e com controle rígido das variáveis de treinamento são sugeridos.

**Palavras-chave:** Atividades Aquáticas; Músculo; Imersão; Bioenergética; Propriedades Físicas Da Água.

**Abstract:** Distinct gains of muscle strength (MS) have been found after a swimming training (ST). However, the mechanisms by which ST and MS interact are still poorly studied in the literature. Therefore, the objective of the present study is to review the concepts about which ones support the adaptations of MS after ST, as well as to discuss the results found in the main studies concerning this subject. It is concluded that ST can induce positive effects on MS of its practitioners, such as the physical properties of water, the physiological responses to immersion and the bioenergetic issues are determinant in these responses. The studies regarding this topic are scarce and present some limitations relative to the type of sample, type of ST and description of the training variables. New studies evaluating the ST effects on MS, especially with untrained individuals and with a rigid control of the training variables are suggested.

**Keywords:** Aquatic Activities; Muscle; Immersion; Bioenergetics; Physical Properties of Water.

Alexandre Konig Garcia  
Prado<sup>1,2</sup>

Elisa Schmidt<sup>2</sup>

Marcos Paulo Bienert  
Masiero<sup>2</sup>

Giuliano Camargo  
Raguse<sup>2</sup>

Luiz Fernando Martins  
Krue<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário  
Cenecista de Osório –  
Unicrec

<sup>2</sup>Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul

## Introdução

O aumento da força muscular (FM) por intermédio da prática de exercícios físicos não está exclusivamente relacionado à realização de exercícios de força (treinamento com pesos, treinamento resistido). Ganhos de diferentes expressões de força e massa muscular têm sido encontrados inclusive após a realização de um programa de exercícios que apresentam características predominantemente aeróbias<sup>1-3</sup>. Aumentos da FM e parâmetros relacionados (capacidade funcional) após treinamento de natação (TN) têm sido encontrados em indivíduos pouco<sup>4</sup> e altamente treinados<sup>5-9</sup>. No entanto, não há um consenso na literatura a respeito da efetividade do TN em aumentar a FM<sup>10</sup>.

Sabe-se que o aumento da capacidade de produzir FM ocorre em decorrência de dois processos fundamentais: adaptações neurais e hipertróficas. Do ponto de vista neural ocorre aumento do recrutamento de unidades motoras, maior eficiência nos padrões de recrutamento neural, maior excitabilidade dos motoneurônios, maior ativação do sistema nervoso central, melhor sincronização das unidades motoras, embotamento dos reflexos inibitórios neurais e inibição dos órgãos tendíneos de Golgi. Do ponto de vista morfológico temos aumento da quantidade de proteínas contráteis como a actina e miosina (aumento do número de sarcômeros), aumento das reservas de adenosina trifosfato (ATP), glicogênio e fosfocreatina intracelular, aumento das quantidades de enzimas relacionadas ao metabolismo anaeróbio, que consequentemente ocasionam aumento da área de secção transversa da fibra muscular, fenômeno conhecido como hipertrofia muscular<sup>11</sup>. Conforme inicialmente discutido, a natação parece ser uma modalidade que pode contribuir para o aumento da FM. No entanto, ainda não se sabe se a água e adicionalmente a natação e suas especificidades, teriam um papel determinante e/ou específico sobre alguma dessas respostas.

Os mecanismos pelos quais o TN e FM interagem ainda são pouco estudados na literatura. É bem estabelecido que a água, em função das suas propriedades físicas, oferece maior resistência ao deslocamento bem como maior pressão sobre o corpo comparado ao ar, fatores que somados resultam em respostas fisiológicas diferentes daquelas dos exercícios realizados em meio terrestre<sup>12, 13</sup>. Fatores bioenergéticos também são importantes nessa interação, visto que as adaptações da FM são dependentes dos diferentes níveis de contribuição dos sistemas energéticos para cada estímulo. Uma vez que aproximadamente 80 % das provas da natação, incluindo os quatro estilos e revezamentos, ocorrem em distâncias iguais ou menores que 200 m, e

que conseqüentemente têm duração igual ou inferior a 130 segundos, fica evidente a importância das vias anaeróbicas nessa modalidade<sup>14,15</sup>. Dessa forma, estímulos de curta duração e alta intensidade vão gerar adaptações específicas para o metabolismo anaeróbio, entre as quais se inclui os processos hipertróficos<sup>11</sup>. Logo, se evidencia uma série de fatores que podem ser determinantes nas respostas da FM após TN.

Para entender como ocorre a interação entre TN e FM é importante que entendamos as bases lógicas que permeiam essa relação. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo é revisar os conceitos sob os quais se fundamentam as adaptações FM após TN, bem como discutir os resultados encontrados nos principais estudos a respeito do tema. Para tanto, iremos discutir como as propriedades físicas da água, as respostas fisiológicas do corpo imerso na água, bem como os conceitos de bioenergética aplicada à nataçáo podem ser determinantes nesse fenômeno. Em seguida, faremos uma revisão e discussão do que os achados da literatura mostram.

### **Propriedades físicas da água e o aumento de força em meio aquático**

Exercícios resistidos são comumente empregados quando se busca ganhos de força muscular. Para tanto, pesos livres, equipamentos com pesos, hidráulicos, elásticos ou até mesmo o peso do próprio corpo são usados como forma de se estimular os músculos às adaptações para aumento da capacidade de produzir força. Uma alternativa eficiente e segura é o uso do meio líquido como forma de aumentar a resistência ao movimento, sobrecarregando o sistema neuromuscular e alcançando possíveis adaptações na força<sup>12,13,16,17</sup>.

A força gerada pela ação dinâmica da água, na mesma direção (geralmente horizontal) das correntes livres do fluxo do fluido, é denominada de arrasto ou resistência hidrodinâmica<sup>18</sup>. Fatores como a velocidade relativa do corpo em relação à água e a área de projeção são determinantes dessa resistência e àqueles mais sofrem alterações durante o nado. Na equação geral da resistência hidrodinâmica temos:

$$F_R = 1/2 \cdot C_R \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2 \quad (1)$$

Nessa equação  $C_R$  representa o coeficiente de resistência dinâmica;  $\rho$  é a densidade do meio;  $A_p$  é a área superficial projetada perpendicularmente ao fluxo do fluido, e  $v$  é a velocidade de deslocamento. Se considerarmos como constantes o  $C_R$ , a

densidade da água e a área de projeção frontal de um corpo, podemos observar que o aumento da resistência hidrodinâmica é dado apenas pelo quadrado da velocidade relativa do movimento, esse comportamento das forças de resistência na água é denominado de lei do quadrado teórico. Assim, se um corpo aumenta em duas vezes sua velocidade, sem alterar sua área de projeção perpendicular ao fluxo do fluido, a resistência hidrodinâmica será quadruplicada <sup>18</sup>.

Partindo do princípio que a lei do quadrado teórico vale para o deslocamento de qualquer corpo na água, e isso inclui os movimentos específicos de braços e pernas, a manipulação da velocidade de movimento, mais especificamente a frequência de braçada (FB) e pernada são meios de se controlar a resistência sobre os membros e, conseqüentemente, a velocidade de deslocamento. A utilização da resistência da água com o movimento de pernas e braços para o deslocamento do nadador no meio líquido é conhecido como força propulsiva. Por outro lado, a resistência oferecida pela água contra o corpo do nadador durante o deslocamento é denominada de força de arrasto (resistência gerada por um corpo sólido que se desloca em um meio líquido). Haverá aceleração quando as forças propulsivas forem maiores que a força de arrasto <sup>19,20</sup>.

Na natação, estas forças variam com as características antropométricas, técnica e velocidade de cada nadador. As forças propulsivas são dependentes de fatores como tamanho, posição e velocidade dos movimentos dos segmentos dos nadadores, ao passo que a força de arrasto tem relação com o tamanho, formato, posição e velocidade do corpo do nadador <sup>19,20</sup>. Nadadores de alto nível conseguem diminuir a força de arrasto em função da técnica apurada durante as braçadas, sendo capazes, inclusive de aumentar a velocidade sem aumentar significativamente a resistência. Em função de suas características antropométricas, tais como maior quantidade de massa muscular em relação aos fundistas, bem como a maior velocidade alcançada durante as provas de curta duração, sabe-se que velocistas sofrem maior ação das forças de resistência que fundistas <sup>19</sup>.

Uma estratégia utilizada pelos velocistas é aumentar a FB e frequência de pernada a fim de se aumentar velocidade do gesto e, conseqüentemente, aumentar a resistência hidrodinâmica em relação ao movimento dos braços principalmente, resultando em maior força propulsiva. O aumento da FB é acompanhado por um prejuízo do comprimento de braçada (CB). No entanto, em provas curtas de natação (50 m), o aumento da FB é uma variável que representa uma elevação mais significativa na velocidade de nado que o decréscimo causado pela diminuição do CB <sup>19</sup>.

Dessa forma, a equação geral da resistência hidrodinâmica e, conseqüentemente, a lei do quadrado teórico podem ser aplicadas especificamente à resistência que o corpo do atleta encontra ao se deslocar, bem como de maneira isolada aos movimentos contínuos de braços e pernas dos nadadores (principalmente de braço). Assim, se evidencia um papel importante das propriedades físicas da água em aumentar a resistência ao movimento, causando estímulos ao sistema neuromuscular e conseqüentemente aumento da capacidade de produzir força. A capacidade de gerar maior força propulsiva e vencer a resistência ao deslocamento do corpo na água (forças de arrasto) estão diretamente relacionadas à capacidade de produzir FM do nadador.

Os conceitos até aqui apresentados dizem respeito às questões mecânicas do meio líquido em relação à força muscular, que não explicam por si só os efeitos da água sobre o corpo. A seguir, discutimos os determinantes fisiológicos do corpo imerso no meio líquido.

### **Fisiologia da imersão e o aumento de força em meio aquático.**

Nosso corpo está sujeito à inúmeras alterações fisiológicas quando imerso em meio líquido, alterando o funcionamento dos sistemas, cardiovascular, respiratório, nervoso, endócrino, renal e neuromuscular. Propriedades como densidade, condutividade térmica, pressão hidrostática e resistência hidrodinâmica tornam a água um meio diferenciado no que diz respeito às respostas fisiológicas quando comparado ao meio terrestre<sup>12, 13</sup>. Um dos conjuntos de sistemas orgânicos de especial interesse aqui, que tem sido estudado quando o exercício em meio aquático é prescrito, é o sistema neuromuscular.

O comportamento do sistema neuromuscular durante a natação tem sido comparado com ações similares na terra. Estudos buscaram comparar a atividade eletromiográfica (EMG) de um mesmo músculo em ações durante a natação e exercícios com ações semelhantes em terra. De uma forma geral, os estudos apontam para uma semelhança muito baixa da EMG entre as condições, com menores picos de ativação na terra. Assim, do ponto de vista da ativação muscular, parece haver pouca relação entre a FM produzida durante a natação e aquela realizada em terra. No entanto, esse formato têm limitações, uma vez que em terra não é possível garantir uma reprodução fiel do tempo, da aceleração e do ângulo articular durante as ações na natação<sup>21</sup>.

A ação conjunta de membros inferiores e superiores para realizar o deslocamento e a sustentação do corpo na água, podem exigir maior produção de força,

principalmente de membros superiores, quando comparado a outros exercícios aeróbios comumente prescritos (cicloergômetro e esteira). De fato, atletas de natação apresentam maior FM de membros superiores que atletas de modalidades como a corrida<sup>22</sup>.

Outro tópico estudado foi o dano muscular e sua relação com o meio líquido. Sabe-se que o dano muscular pode estar associado ao processo de hipertrofia. O meio aquático e o terrestre foram comparados no que diz respeito ao dano muscular. O marcador de dano muscular avaliado foi a Creatina Quinase (CK). Quarenta e oito horas após a sessão, o dano muscular se evidenciou menor para o exercício na água. Embora os exercícios realizados tinham característica de exercícios de hidrogenástica, esses resultados podem evidenciar menores danos musculares no exercício na água. O menor dano muscular possibilita sessões subsequentes de exercício com maiores intensidades e uma possível adaptação maior ao longo do treinamento. No entanto o dano muscular durante a natação não foi avaliado neste estudo especificamente, impossibilitando generalizações para outros exercícios na água<sup>23</sup>.

Dessa forma, diversos fatores podem ser determinantes na resposta fisiológica durante uma sessão de TN, porém, se observam poucos estudos que buscaram avaliar os efeitos da modalidade natação sobre as respostas neuromusculares. Tal fato dificulta uma conclusão inequívoca a respeito do assunto. Outro ponto importante são as formas de avaliação da FM em atletas de natação, discutidas brevemente a seguir.

### **Avaliação da força muscular em nadadores**

A análise do sistema neuromuscular durante as situações de nado se caracterizam por métodos complexos de se realizar. Não por acaso, a maior parte dos estudos que avaliaram o sistema neuromuscular durante o exercício em água são relativos a exercícios de hidrogenástica. Isso ocorre principalmente em função da dificuldade em se realizar testes específicos da resposta neuromuscular durante a natação, visto suas características tais como, posição do corpo, técnica, influência da água entre outros. Assim, muitos testes para avaliação do sistema neuromuscular em nadadores são testes que possuem baixa especificidade, uma vez que muitos são realizados em terra. Algumas das medidas são os testes de força isométrica máxima, força dinâmica máxima e potência. Associados a estes testes podem ocorrer avaliações da atividade EMG dos músculos exercitados. Porém, conforme já discutido, parece

haver pouca relação entre a atividade EMG durante a natação e aquela durante a simulação dos movimentos dos nados em terra <sup>21</sup>.

Dois testes se destacam em especificidade e acurácia. Um deles é o banco Biocinético ou banco de nado (Swim bench). Embora seja realizado em terra, esse equipamento simula os movimentos da natação, mais especificamente o nado crawl. O banco de nado pode medir o pico de força, a força média durante a fase propulsiva da braçada simulada, bem como possibilita o controle da velocidade de execução do gesto, podendo ser avaliados também medidas de potência. Alguns equipamentos permitem analisar estas variáveis nos movimentos de pernada também. No entanto uma variação significativa dos valores de potência de braçada tem sido observada em diferentes estudos <sup>19</sup>.

O segundo teste, o nado atado ou nado estacionário, não mede diretamente a FM de cada segmento, mas sim a força propulsiva total enquanto o atleta nada na máxima intensidade durante um determinado tempo. Nesse teste o atleta não desloca, pois está atado pela cintura pélvica a um sistema de cabos, ligados a um transdutor de força. Durante o teste pode ser avaliada a força propulsiva média ou força máxima alcançada pelo nadador. Importante ressaltar que como não deslocamento do corpo do nadador, não há influência das forças de arrasto, ou seja, esse é um teste específico para avaliação da força propulsiva. Um contraponto desse teste é que se tem observado uma mudança na técnica quando comparada ao nado livre, podendo o nado atado não representar de fato as forças propulsivas durante o nado livre <sup>19</sup>.

Embora esses testes meçam o que propõem avaliar, a FM, ambos apresentam limitações no que diz respeito principalmente às especificidades da natação, não reproduzindo de fato as demandas de força durante o nado livre em meio aquático. Embora muitas vezes não se encontre suporte nas avaliações de força em nadadores, um fator determinante dos ganhos de FM após o TN, suportada por uma vasta literatura, é a questão bioenergética envolvida nas diferentes provas e tipos de TN, as quais serão discutidas agora.

### **Bioenergética aplicada a natação e sua relação com o aumento da força muscular**

A bioenergética é um ramo da fisiologia que estuda as constantes transformações de energia que ocorrem nos organismos vivos <sup>11</sup>. Especificamente no exercício, a

bioenergética estuda como se dá as transformações de energia provenientes dos combustíveis para obtenção de energia, principalmente no tecido muscular. Os sistemas energéticos são responsáveis por fornecer a energia para o trabalho celular. A energia liberada pela degradação dos macronutrientes (carboidratos, gorduras e proteínas) não pode ser diretamente utilizada pelas células para o trabalho biológico (e.g. contração muscular). Para tanto, a energia do catabolismo dos macronutrientes é transferida para a reação de fosforilação da adenosina difosfato (ADP), formando então a trifosfato de adenosina (ATP). O ATP comporta grandes quantidades de energia em suas ligações fosfato e é a principal forma de energia utilizada pela célula como fonte de energia. A hidrólise (quebra pela água) do ATP libera energia que irá ser utilizada pelas proteínas contráteis da célula muscular se contrair <sup>11</sup>.

O fornecimento de energia para ressíntese de ATP pode ocorrer essencialmente por meio dos metabolismos anaeróbio e aeróbio. O metabolismo anaeróbio pode ocorrer por duas vias diferentes, a da Fosfocreatina e a Glicolítica. O metabolismo aeróbio é denominado de via oxidativa ou via da respiração mitocondrial. Em qualquer célula do nosso corpo, o percentual de contribuição vias anaeróbias e da via aeróbia será determinado em função da velocidade que o ATP precisa ser ressintetizado. No exercício, a velocidade da ressíntese de ATP depende principalmente da intensidade do exercício. Desta forma, dependendo da intensidade do exercício uma via energética predominará sobre as outras, porém as outras não estarão totalmente desativadas e sim em um estado de transição de uma para outra <sup>11</sup>.

### **Vias anaeróbias**

Todas as reações que liberam energia para ressíntese de ATP no citosol da célula são denominadas de vias anaeróbias. O metabolismo anaeróbio é o que fornece energia mais rapidamente para ressíntese de ATP. Essa maior velocidade é alcançada pelo fato de serem processos relativamente simples, que envolvem poucas reações e não necessitam da presença de oxigênio. Estas vias usam como fonte energética para a ressíntese rápida de ATP a degradação da Fosfocreatina (PCr), a glicose e o glicogênio. Embora forneçam energia rapidamente, um contraponto das vias anaeróbias é sua capacidade relativamente baixa, permitindo que altas demandas energéticas sejam mantidas apenas por períodos pequenos de tempo. Dessa forma, as vias anaeróbias

predominam em situações de exercício de alta intensidade e curta duração. No entanto, veremos a seguir que, em exercícios de muito curta duração e alta intensidade, não há necessidade de ressíntese de ATP <sup>11</sup>.

### **ATP como fonte imediata para o exercício**

Toda célula muscular possui uma pequena reserva de ATP, pronta para o uso imediato. Assim, em situações em que há necessidade de se produzir uma grande quantidade de força (máxima força possível) com duração igual ou inferior a 3 ou 4 segundos, essas reservas de ATP são utilizadas quase que exclusivamente como fonte de energia nesse caso. Um exemplo para ilustrar essa demanda na natação é a saída do bloco durante uma competição ou treinamento. Porém, se o exercício máximo possuir uma duração maior, somente as reservas de ATP intracelular não serão suficientes. A partir de então a participação das vias de ressíntese de ATP começam a ter um papel importante <sup>11</sup>.

### **Via da Fosfocreatina**

Em exercício realizado à intensidade máxima e curta duração (4-15s), a via da fosfocreatina (PCr) opera predominantemente nesse período. Nestes curtos períodos de esforço máximo é necessária uma fonte energética imediata para ressintetizar o ATP que é rapidamente degradado. Nesse caso o corpo recorre à fosfocreatina, cuja reação de degradação libera energia para a ressíntese de ATP de forma simples e rápida. As células armazenam aproximadamente 4 a 6 vezes mais PCr que ATP. Essa rota metabólica está fortemente relacionada a hipertrofia, que promove o aumento da área de secção transversa do músculo e conseqüentemente aumento da FM. Provas em que predominam a via da PCr na ressíntese de ATP são as provas de 50 metros na natação (recorde próximo aos 21s) <sup>11</sup>.

### **Via Glicolítica**

Já o sistema glicolítico predomina em exercícios de intensidade máxima para períodos de tempo que variam entre 15s e 2min. Após sua absorção pela célula muscular, a glicose inicia seu catabolismo no citosol em um processo denominado glicólise. A ressíntese de ATP a partir da quebra da glicose pode ocorrer de duas formas diferentes na célula muscular: 1) a glicólise rápida, que ocorre no citosol da célula, não dependente da presença de O<sub>2</sub>, libera ATP para sua rápida utilização, e tem como produto final o lactato e; 2) a glicólise lenta, que sintetiza ATP dentro da mitocôndria, em um processo mais lento, dependente da presença de O<sub>2</sub>, e tem como produto final o piruvato, que não permanece no citosol, mas vai para a mitocôndria servir como combustível dos processos aeróbios de fornecimento de energia. O sistema glicolítico tem participação importante em provas de 200 e 400 m na natação <sup>11</sup>.

### **Via aeróbia**

Todas as reações que liberam energia para ressíntese de ATP na mitocôndria da célula são denominadas de via aeróbia. A via aeróbia é uma rota que fornece energia mais lentamente para ressíntese de ATP. Essa menor velocidade ocorre em função do metabolismo aeróbio estar envolvido com maior número de reações e que necessitam da presença de oxigênio. A produção de ATP é assegurada pela mitocôndria, através da oxidação dos carboidratos, das gorduras e de forma pouco significativa, das proteínas. Embora forneçam energia mais lentamente quando comparadas as via anaeróbias, a quantidade de ATP ressintetizados por essa via é significativamente maior. Dessa forma, a via aeróbia predomina em situações de exercício de baixa intensidade e duração maiores que dois minutos, principalmente os de longa duração. A via aeróbia predomina nos exercícios de longa duração como natação em intensidade máxima a partir de 800 m, bem como em atividades de baixa a moderada intensidade, independentemente de sua duração <sup>11</sup>.

Assim, torna-se óbvio que um evento de 50 m na natação e um de 1500 m geram diferentes estímulos bioenergéticos ao sistema neuromuscular de nadadores. Isso explica em partes diferenças morfofuncionais e de capacidades físicas de nadadores especialistas em diferentes provas da natação. Após revisar as propriedades físicas da

água, as respostas fisiológicas do corpo imerso em meio líquido, bem como os conceitos de bioenergética aplicada à natação, iremos discutir como estes conceitos juntos podem ser aplicados à natação em suas diferentes exigências.

### **Aplicações práticas à natação**

Nadar 50 metros (prova mais curta na natação competitiva) e 100 m leva um tempo aproximado de 21 à 25 segundos e 47 à 52 segundos, respectivamente, para um nadador de alto nível. A fim de atingir altas velocidades os nadadores empregam uma alta frequência de braçada, exigindo força, potência e técnica considerável. Para que esse nadador alcance uma elevada força propulsiva, e vença as forças de arrasto, será necessário que as vias anaeróbias de fornecimento de energia pra os músculos estejam altamente preparadas e adaptadas para essa demanda. Adaptações como aumento do recrutamento de unidades motoras, maior excitabilidade dos motoneurônios, aumento da quantidade de proteínas contráteis como a actina e miosina, aumento das reservas de adenosina trifosfato (ATP), glicogênio e fosfocreatina intracelular, entre outras, possibilitam produção de altos níveis força nesses atletas <sup>11</sup>.

Por outro lado, um nadador de provas de 1500 m (prova mais longa em uma olimpíada) gasta aproximadamente 15 minutos, com uma frequência de braçada significativamente menor, exigindo alta resistência muscular e aeróbia. Para tanto, também são necessárias adaptações neuromusculares importantes. Do ponto de vista neural ocorre maior eficiência nos padrões de recrutamento neural e melhor sincronização das unidades motoras, possibilitando, por exemplo, maior resistência à fadiga. Além disso, ocorrem mudanças no número e tamanho das mitocôndrias dentro da célula muscular, que aumenta a capacidade das células musculares obterem energia a partir das vias aeróbias. Embora essas adaptações não estejam associadas à hipertrofia muscular elas podem aumentar a capacidade de produzir FM nesses nadadores <sup>11</sup>.

Logo, identifica-se uma importante relação entre propriedades físicas da água (forças propulsivas e de arrasto), respostas fisiológicas (neuromusculares) bioenergéticas (vias anaeróbias e aeróbias) aplicadas à natação. Por fim, iremos apresentar os resultados dos principais estudos que buscaram avaliar os ganhos de FM após TN. Além disso, iremos discutir tais achados sob a perspectiva dos conceitos até aqui discutidos.

### **Evidências científicas dos efeitos do treinamento de natação na força muscular**

Os estudos a respeito dos efeitos do TN na FM ainda são poucos na literatura. A tabela 1 mostra os resultados dos estudos que avaliaram a FM antes e após um TN.

As amostras dos estudos foram compostas por um mínimo de sete<sup>24</sup> e máximo de 29<sup>10</sup> participantes, que incluem desde jovens (14 anos) até mulheres pós-menopáusicas. Além disso, dos nove estudos analisados, oito foram realizados com atletas e um com mulheres pós-menopáusicas destreinadas. Estas diferenças na faixa etária e nível de treinamento podem influenciar nos resultados entre os estudos. Participantes com menores níveis de treinamento apresentaram maior janela de treinamento, ou seja, são mais “treináveis”. Porém, os resultados demonstraram que não houve melhora significativa da potência e força dinâmica avaliadas no banco biocinético, mas sim um decréscimo significativo da força isométrica de extensão do tronco e flexão de joelhos. Uma possível explicação para a não melhora significativa nas variáveis de potência e força dinâmica pode estar associada ao tipo de treinamento. Como já discutido, para que haja estímulo para melhora da FM é necessária a realização de movimentos rápidos, de alta intensidade e curta duração, para estímulo das vias anaeróbias. No estudo citado os treinos possuíam intensidade moderada, fato que pode ter sido determinante nos baixos aumentos de força. Com relação à força isométrica, a baixa especificidade da medida (estática) em relação ao tipo de treinamento (dinâmico) pode explicar em partes os resultados negativos. De qualquer forma, embora os resultados não sejam estatisticamente significativos, houve aumento médio na FM dinâmica das participantes, que podem ser explicadas possivelmente por fatores neurais.

No que diz respeito às características do treinamento, a duração variou de quatro<sup>9</sup> à 48 semanas<sup>10</sup> de treinamento, com a frequência semanal variando entre duas<sup>10</sup> e 10 vezes na semana<sup>9</sup>, com sessões que tinham duração de 45 minutos<sup>10</sup> à duas horas<sup>9</sup>. Interessante apontar em que nenhum destes dois estudos foi observado melhora significativa no desempenho de força, indicando que estas variáveis parecem ter pouca ou nenhuma interferência sobre as adaptações da FM após TN.

Poucas informações são apresentadas sobre o número de séries, repetições e intervalo de recuperação ao longo dos estudos. Os volumes também variaram significativamente com distâncias de 800 m<sup>10</sup> à 5000 m<sup>24</sup> por sessão. Uma questão importante relativa a estas variáveis é o fato de que o pesquisador muitas vezes não pode alterar o programa de treinamento criado pela equipe técnica do atleta, resultando

estudos com pouco controle às variáveis do TN, bem como programas muito distintos. Outro fator importante, muitas vezes não citado nos estudos, é a prova em que os atletas são especialistas, visto que os treinamentos diferem significativamente em atletas de curtas (50 e 100 m) e longas (1500 m) distâncias.

A última variável que devemos nos atentar é a intensidade. A maior parte dos estudos adotaram um treino com intensidades variadas com volume maiores para a intensidade moderada<sup>7, 9, 10, 24, 25</sup>. Em apenas um dos estudos maiores volumes foram dedicados à exercícios aeróbios de baixa intensidade<sup>8</sup>. Um único estudo empregou predominantemente exercícios de alta intensidade e curta duração<sup>26</sup>. Outros estudos não informaram ou não deixaram claro qual a intensidade empregada<sup>5, 6, 27</sup>.

Do ponto de vista teórico, a intensidade seria uma das principais, se não a principal variável relacionada com as adaptações neuromusculares após o TF, sendo que maiores intensidades estariam positivamente relacionadas com maiores aumentos na força. No entanto, esses estudos não suportam essa hipótese uma vez que os exercícios de natação, de alta intensidade, empregados no estudo de Bocalini et al.<sup>26</sup> não alteraram os níveis de FM. Contrariamente, estudos que adotaram um treino com intensidades variadas, com volumes maiores para a intensidade baixa<sup>8</sup> e moderada<sup>7, 24, 25</sup>, observaram aumento estatisticamente significativo, em pelo menos uma das variáveis de FM analisadas. Logo, esses estudos não dão total suporte ao fato que somente o TN de alta intensidade possibilita aumento da FM. Uma possível explicação para tais resultados pode estar relacionada ao fato de que embora exercícios de moderada e baixa intensidade predominavam ao longo do treinamento, é comum que exercícios de alta intensidade sejam rotineiramente aplicados às sessões no TN. Estes estímulos de alta intensidade, mesmo que em volumes relativamente baixos, podem ter influenciado nas adaptações de FM após o TN.

**Tabela 1.** Características da amostra, do treinamento e resultados de estudos que analisaram o efeito do treinamento de natação na força muscular.

Estudo	Amostra (sexo)	Faixa etária (anos)	Características dos treinamentos	Desfechos (unidade de medida)	Resultados
1. Aspenes et al. (2009) <sup>7</sup>	9 Atletas (H e M)	> 14	<b>TN</b> → <b>D</b> : 11 semanas. <b>F</b> : pelo menos 6x semana. <b>S</b> : NI. <b>R</b> : NI. <b>I</b> : Predominância de 60 a 85% da FCmáx. <b>IR</b> : NI. <b>E</b> : cada atleta seguiu os treinos convencionais em suas respectivas equipes.	1 RM de extensão bilateral de ombros (N)	↑*
2. Barbosa & Andries-Junior (2006) / Barbosa et al. (2007) <sup>5,6</sup>	8 Atletas (H)	NI (23 ± 2)	<b>TN</b> → <b>D</b> : 17 semanas. <b>F</b> : 5x semana, 1h 15min/sessão. <b>S</b> : NI. <b>R</b> : NI. <b>I</b> : NI. <b>IR</b> : NI. <b>E</b> : NI. Volume mínimo de 1800 m.dia <sup>-1</sup> e máximo de 3500 m.dia <sup>-1</sup> , predominantemente em séries intervaladas.	1 RM supino reto fechado (kg) 1 RM remada deitada (kg) 1 RM <i>leg press</i> inclinado (kg)	↑ ↑ ↑*
3. Bocalini et al. (2010) <sup>26</sup>	8 Atletas (H)	NI (24 ± 2)	<b>TN</b> → <b>D</b> : 12 semanas. <b>F</b> : 6x semana, 2h/sessão. <b>S</b> : NI. <b>R</b> : NI. <b>I</b> : séries curtas em máxima intensidade e longo período de recuperação. <b>IR</b> : 2 min. <b>E</b> : execuções de saída, insistindo na velocidade máxima (tiros de 5m); séries de velocidade (tiros de 25m); tiros com intensidade máxima de curta duração (até 45s); e tiros curtos com caráter explosivo (tiros de 12,5m).	Resistência supino reto fechado (repetições/30 s) Resistência remada deitada (repetições/30 s) Resistência <i>leg press</i> inclindo (repetições/30 s) Salto horizontal (cm)	↑ ↑ ↑ ↔
4. Carrasco & Vaquero (2012) <sup>10</sup>	29 mulheres destreinadas	Pós-menopausas	<b>TN</b> → <b>D</b> : 48 semanas. <b>F</b> : 2x semana, 45 min/sessão. <b>S</b> : NI. <b>R</b> : NI. <b>I</b> : Borg:10-15. <b>IR</b> : NI. <b>E</b> : NI. Exercícios aeróbios de natação. Volume entre 150 m no início e 800 m no final.	Salto vertical sem auxílio (cm) Salto vertical com auxílio (cm) Força média de MMSS no banco biocinético (N)	↔ ↔ ↑
5. Garrido et al. (2010) <sup>8</sup>	11 Atletas (H e M)	10 - 14	<b>TN</b> → <b>D</b> : 8 semanas. <b>F</b> : 6x semana, 1h 30min/sessão. <b>S</b> : NI. <b>R</b> : NI. <b>I</b> : NI. <b>IR</b> : NI. <b>E</b> : NI. Volume médio de treinamento de 3900 m.dia <sup>-1</sup> . Foi realizado um volume total de 188,6 km, sendo 20,80 km em intensidade correspondente à velocidade crítica e 7,20 km em intensidade correspondente à potência aeróbia. O	Potência média de MMSS no banco biocinético (Nm/s) Trabalho médio de MMSS no banco biocinético (W) Salto com contramovimento (m) Força isométrica máxima de flexores do tronco. Força isométrica máxima de extensores do joelho. 6 RM de extensão de joelho (kg) 6 RM de supino (kg) Salto com contramovimento (cm)	↑ ↑ ↑ ↓* ↓* ↑ ↑* ↓

			restante foi composto por tarefas aeróbias de baixa intensidade (~ 70% do volume total), técnico (~ 14%) e treinamento de velocidade (~ 1%).	Distância de arremesso de <i>medicine ball</i> de 1 kg (m)	↓
				Distância de arremesso de <i>medicine ball</i> de 3 kg (m)	↑
				Velocidade de arremesso de <i>medicine ball</i> de 1 kg (m)	↑*
				Velocidade de arremesso de <i>medicine ball</i> de 3 kg (m)	↑
				Força isométrica dos extensores de cotovelo (Nm)	↑
				Força isométrica dos flexores de cotovelo (Nm)	↑
6. Girolid et al. (2007) <sup>25</sup>	7 Atletas (H e M)	NI (16 ± 3)	<b>TN</b> → <b>D</b> : 12 semanas. <b>F</b> : 5x semana, 1h 45 min/sessão. <b>S</b> : NI. <b>R</b> : NI. <b>I</b> : NI. <b>IR</b> : NI. <b>E</b> : As sessões consistiam em uma combinação de trabalho predominantemente aeróbio de séries longas em uma intensidade moderada com um tempo de recuperação curto para o crawl e trabalho técnico no medley. O volume de treinamento foi de 5.000 ± 500 m por sessão.	Força concêntrica isocinética dos extensores de cotovelo a 60°.s <sup>-1</sup> (Nm)	↑
				Força concêntrica isocinética dos flexores de cotovelo a 60°.s <sup>-1</sup> (Nm)	↑
				Força concêntrica isocinética dos extensores de cotovelo a 180°.s <sup>-1</sup> (Nm)	↑*
				Força concêntrica isocinética dos flexores de cotovelo a 180°.s <sup>-1</sup> (Nm)	↑
				Pico de torque de extensão isométrica de braços	↑
7. Girolid et al. (2012) <sup>9</sup>	8 Atletas (H e M)	NI (24 ± 5)	<b>TN</b> → <b>D</b> : 4 semanas. <b>F</b> : 10 x semana (2 sessões/dia), 2h/sessão. <b>S</b> : NI. <b>R</b> : NI. <b>I</b> : NI. <b>IR</b> : NI. <b>E</b> : trabalho aeróbio dominante com séries longas de intensidade moderada, um curto período de recuperação para o nado crawl, e trabalho técnico no medley com volume semanal total de 30 km.	Pico de torque de extensão de braços 60 e 180°.s <sup>-1</sup> (fase concêntrica)	↑
				Pico de torque de extensão de braços - 60°.s <sup>-1</sup> (fase excêntrica)	↑
8. Potdevin et al. (2011) <sup>27</sup>	11 Atletas (H e M)	13-15	<b>TN</b> → <b>D</b> : 6 semanas. <b>F</b> : 3x semana, ~1h 50min/sessão. <b>S</b> : NI. <b>R</b> : NI. <b>I</b> : NI. <b>IR</b> : NI. <b>E</b> : NI.	Salto com contramovimento (cm)	↓
				Salto sem contramovimento (cm)	↑
9. Sadowski et al. (2012) <sup>28</sup>	12 Atletas (M)	NI (14 ± 0,5)	<b>TN</b> → <b>D</b> : 6 semanas. <b>F</b> : 6x semana (2 sessões/dia), 1h 30min/sessão. <b>S</b> : NI. <b>R</b> : NI. <b>I</b> : FC=120-175 ou mais bpm. <b>IR</b> : NI. <b>E</b> : trabalho aeróbio dominante no nado crawl.	Flexão isométrica de ombros (N)	↑*

\*, diferença significativa em relação ao momento pré; ↑, aumento dos valores após treinamento; ↓, diminuição dos valores após treinamento; ↔, manutenção dos valores após treinamento; D, duração. E, exercício(s). F, frequência. FC, frequência cardíaca. FCmáx, frequência cardíaca máxima. H, homens. I, intensidade. IR, intervalo de recuperação. M, mulheres. MMSS, membros superiores. NI, não informado. R, repetições. RM, repetições máximas; S, séries. TN, treinamento de natação;

Por fim, os resultados apresentados demonstram aumento da FM em 27 das 35 variáveis analisadas, porém, essa melhora foi acompanhada de uma significância estatística em apenas seis variáveis de FM. Um dos determinantes destes resultados pode estar relacionado à janela de treinamento dos participantes. Como a maior parte dos estudos foi realizada com atletas de alto nível, os mesmos, embora apresentem melhora no desempenho de força, essas alterações ocorrem em uma magnitude muito menor nessa população, muitas vezes não detectadas pelos testes estatísticos, mas que representam, no alto rendimento esportivo, a diferença entre o primeiro e o último colocado em uma olimpíada. De qualquer forma, muito se discute o uso da estatística para se detectar diferenças no desempenho de alto nível.

### Conclusão

Conclui-se que o TN pode surtir efeitos positivos sobre a FM de seus praticantes. Fatores como as propriedades físicas da água, as respostas fisiológicas à imersão e questões bioenergéticas, são determinantes nestas respostas e devem ser compreendidas pelo profissional envolvido com o TN. Embora se acredite que o TN de maior intensidade resultasse em maiores aumentos de força, a literatura existente não suporta essa hipótese, sendo que TN com intensidades variadas com volume maiores para a intensidade moderada foram os mais comuns e que apresentam resultados melhores. De qualquer forma, os estudos são poucos, limitando as conclusões da presente revisão, somado ao fato de que os estudos analisados apresentam limitações relativas ao tipo de amostra, tipo de TN, e descrição das variáveis do treinamento. É sugerido a realização de novos estudos avaliando os efeitos do TN na FM, principalmente com indivíduos não treinados e controle rígido das variáveis de treinamento.

### Referências

1. Harber MP, Konopka AR, Douglass MD, Minchev K, Kaminsky LA, Trappe TA, et al. Aerobic exercise training improves whole muscle and single myofiber size and function in older women. *American journal of physiology Regulatory, integrative and comparative physiology*. 2009;297(5):R1452-9. Epub 2009/08/21.
2. Harber MP, Konopka AR, Undem MK, Hinkley JM, Minchev K, Kaminsky LA, et al. Aerobic exercise R. *Perspect. Ci. e Saúde* 2017;2(1):95-112.

- training induces skeletal muscle hypertrophy and age-dependent adaptations in myofiber function in young and older men. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md : 1985). 2012;113(9):1495-504. Epub 2012/09/18.
3. Konopka AR, Harber MP. Skeletal muscle hypertrophy after aerobic exercise training. *Exercise and sport sciences reviews*. 2014;42(2):53-61. Epub 2014/02/11.
  4. Rabelo RJ, Bottaro M, Oliveira RJ, Gomes L. Efeitos da natação na capacidade funcional de mulheres idosas. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*. 2004;12(3):57-60.
  5. Barbosa AC, Andries Júnior O. Efeito do treinamento de força no desempenho da natação. 2006. 2006;20(2).
  6. Barbosa AC, de Moraes RC, Andries-Júnior O. Effect of strength training on muscular strength-aerobic performance relationship for competitive swimmers. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*. 2007;9(4).
  7. Aspenes S, Kjendlie PL, Hoff J, Helgerud J. Combined strength and endurance training in competitive swimmers. *J Sports Sci Med*. 2009;8(3):357-65.
  8. Garrido N, Marinho DA, Reis VM, van den Tillaar R, Costa AM, Silva AJ, et al. Does combined dry land strength and aerobic training inhibit performance of young competitive swimmers? *J Sports Sci Med*. 2010;9(2):300-10. Epub 2010/01/01.
  9. Giroid S, Jalab C, Bernard O, Carette P, Kemoun G, Dugue B. Dry-land strength training vs. electrical stimulation in sprint swimming performance. *J Strength Cond Res*. 2012;26(2):497-505. Epub 2012/01/12.
  10. Carrasco M, Vaquero M. Water training in postmenopausal women: Effect on muscular strength. *European Journal of Sport Science*. 2012;12(2):193-200.
  11. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Fisiologia do exercício: nutrição, energia e desempenho humano*. 8ª ed. ed. Rio Janeiro: Guanabara Koogan; 2016.
  12. Pendergast DR, Moon RE, Krasney JJ, Held HE, Zamparo P. *Human Physiology in an Aquatic Environment*. *Compr Physiol*. 2015;5(4):1705-50. Epub 2015/09/20.
  13. Torres-Ronda L, Del Alcázar XS. The Properties of Water and their Applications for Training. *J Hum Kinet*. 2014;44:237-48.
  14. Troup JP. The physiology and biomechanics of competitive swimming. *Clinics in sports medicine*. 1999;18(2):267-85. Epub 1999/05/07.
  15. Toussaint HM, Hollander AP. Energetics of competitive swimming. Implications for training programmes. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 1994;18(6):384-405. Epub 1994/12/01.
  16. Prado AK, Reichert T, Conceição MO, Delevatti RS, Kanitz AC, Krueel LF. Effects of aquatic exercise on muscle strength in young and elderly adults: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *J Strength Cond Res*. 2016.
  17. Borreani S, Colado JC, Calatayud J, Pablos C, Moya-Nájera D, Travis Triplett N. *Aquatic Resistance Training: Acute and Chronic Effects*. *R. Perspect. Ci. e Saúde* 2017;2(1):95-112.

Strength & Conditioning Journal. 2014;36(3):48-61.

18. Hall S. Movimento em um meio fluido. In: Hall S, editor. Biomecânica Básica. 6ª edição. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2013. p. 397-423.

19. Rouard A. Biomechanical evaluation of freestyle swimming. In: Seifert L, Chollet D, Mujika I, editors. World book of swimming: From Science to Performance. New York: Nova Science Publishers; 2011.

20. Toussaint HMH, A P, Van Den Berg C, Vorontsov AR. Biomecânica dos esportes: Biomecânica da natação. In: Garret WEKDT, editor. A ciência dos exercícios e dos esportes. 1ª ed ed. Porto Alegre: Artmed; 2003. p. 912.

21. Clarys JP, Cabri J. Electromyography and the study of sports movements: a review. Journal of sports sciences. 1993;11(5):379-448. Epub 1993/10/01.

22. Emslander HC, Sinaki M, Muhs JM, Chao EY, Wahner HW, Bryant SC, et al. Bone mass and muscle strength in female college athletes (runners and swimmers). Mayo Clinic proceedings. 1998;73(12):1151-60. Epub 1998/12/30.

23. Pantoja PD, Alberton CL, Pilla C, Vendrusculo AP, Kruegel LF. Effect of

resistive exercise on muscle damage in water and on land. J Strength Cond Res. 2009;23(3):1051-4. Epub 2009/04/24.

24. Girold S, Maurin D, Dugué B, Chatard J, Millet G. Effects of dry-land vs. resisted- and assisted-sprint exercises on swimming sprint performances. Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association [Internet]. 2007; 21(2):[599-605 pp.]. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1519/jsc.2007.21.2.599>

25. Sadowski J, Mastalerz A, Gromisz W, NiYnikowski T. Effectiveness of the power dry-land training programmes in youth swimmers. J Hum Kinet. 2012;32:77-86. Epub 2013/03/15.

26. Bocalini DS, Rica RL, Triviño RdN, Serra AJ. Efeitos do treinamento de força específico no desempenho de nadadores velocistas treinados com parachute. Revista Brasileira de Ciências do Esporte. 2010;32:217-27.

27. Potdevin FJ, Alberty ME, Chevutschi A, Pelayo P, Sidney MC. Effects of a 6-week plyometric training program on performances in pubescent swimmers. J Strength Cond Res. 2011;25(1):80-6. Epub 2010/12/16.