

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA

RAFAEL DOS SANTOS MENDONÇA

**TAXA DE PRODUÇÃO DE FORÇA: RELAÇÃO COM AÇÕES DE FORÇA E
POTÊNCIA E RESPOSTAS A DIFERENTES PROTOCOLOS DE
TREINAMENTO DE FORÇA**

PORTO ALEGRE

2019

RAFAEL DOS SANTOS MENDONÇA

**TAXA DE PRODUÇÃO DE FORÇA: RELAÇÃO COM AÇÕES DE FORÇA E
POTÊNCIA E RESPOSTAS A DIFERENTES PROTOCOLOS DE
TREINAMENTO DE FORÇA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como pré-requisito para obter o título de bacharel em Educação Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Orientador: Ronei Silveira Pinto

PORTO ALEGRE

2019

RAFAEL DOS SANTOS MENDONÇA

**TAXA DE PRODUÇÃO DE FORÇA: RELAÇÃO COM AÇÕES DE FORÇA E
POTÊNCIA E RESPOSTAS A DIFERENTES PROTOCOLOS DE
TREINAMENTO DE FORÇA**

Conceito final: _____

Aprovado em: _____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. _____ - UFRGS

Orientador – Prof. Dr. Ronei Silveira Pinto

RESUMO

Taxa de produção de força: relação com ações de força e potência e respostas a diferentes protocolos de treinamento de força

Um número crescente de estudos tem sido realizado com o intuito de identificar novos fatores (e reconsolidar a importância dos já afirmados) que influenciem positivamente o desempenho esportivo e parâmetros de saúde. Diversos protocolos de treinamento, assim como diferentes modelos de periodização têm sido utilizados a fim de potencializar os ganhos de rendimento desportivo. Assim, um aspecto que parece contribuir nestas circunstâncias é a taxa de produção de torque/força (TPT/TPF), expressa a partir da curva força/torque-tempo. A TPF apresenta forte influência em parâmetros funcionais, uma vez que expressa a força que pode ser gerada na fase inicial de uma contração muscular. O objetivo principal do presente estudo foi analisar como a TPF se comporta frente a diferentes programas de treinamento. O presente estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa. A taxa de produção de força é uma variável que tem sido muito estudada em distintos públicos. Esta possui ação multifatorial, podendo ser influenciada tanto por mecanismos neurais quanto musculares. Com isto, diferentes protocolos de treinamento têm demonstrado resultados positivos na melhora da TPF. Contudo, nota-se que, na maioria destes estudos, os exercícios que compuseram o programa de treinamento foram realizados de forma explosiva, sejam eles dinâmicos ou isométricos. Quanto à carga, percebe-se que treinamentos baseados em um alto volume de repetições parecem não promover ganhos significativos na referida variável. Por outro lado, aqueles programas que foram estruturados com volume pequeno a moderado apresentaram significativo aumento na TPF. Para a avaliação e análise da TPF, é importante que o avaliador atente-se em diversas considerações que são sugeridas nos estudos por pesquisadores da área, a fim de resguardar a precisão e confiabilidade do teste.

Palavras-chave: potência muscular, treinamento, neuromuscular, cargas de treino

ABSTRACT

Rate of force production: relationship to strength and power actions and responses to different strength training protocols

A growing number of studies have been conducted to identify new factors (and to reconsider the importance of those already stated) that positively influence sports performance and health parameters. Several training protocols, as well as different periodization models have been used in order to enhance sports performance gains. Thus, one aspect that seems to contribute in these circumstances is the rate of torque/force development (RTD/RFD), expressed from the force / torque-time curve. The RTD/RFD has a strong influence on functional parameters, since it expresses the force that can be generated in the initial phase of a muscle contraction. The main objective of the present study was to analyze how TPF behaves in front of different training programs. The present study is characterized as a narrative review. The rate of force production is a variable that has been widely studied in different publics. It has a multifactorial action and can be influenced by both neural and muscular mechanisms. With this, different training protocols have shown positive results in the improvement of the RTD/RFD. However, it is noted that in most of these studies, the exercises that made up the training program were performed explosively, whether dynamic or isometric. As for the load, it is noticed that training based on a high volume of repetitions does not seem to promote significant gains in this variable. On the other hand, those programs that were structured with small to moderate volume showed significant increase in RTD/RFD. For the evaluation and analysis of the RTD/RFD, it is important that the evaluator pay attention to several considerations that are suggested in the studies by researchers in the area, in order to safeguard the accuracy and reliability of the test.

Keywords: muscle power, training, neuromuscular, training load

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	06
2. OBJETIVOS.....	08
2.1 Objetivo geral.....	08
2.2 Objetivos específicos.....	08
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	09
3.1 Caracterização do estudo.....	09
3.2 Amostra.....	09
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
4.1 Fatores que influenciam a taxa de produção de força.....	10
4.1.1 <i>Fatores neurais</i>	10
4.1.2 <i>Fatores musculares</i>	11
4.2 Protocolo de teste.....	12
4.3 Taxa de produção de força e ações de força e potência muscular.....	13
4.3.1 <i>Atletas, sprints e saltos</i>	13
4.3.2 <i>Idosos, fadiga e atividade de vida diária</i>	15
4.4 Respostas da TPF a diferentes programas de treinamento....	17
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
REFERÊNCIAS.....	24

1. INTRODUÇÃO

Um número crescente de estudos tem sido realizado com o intuito de identificar novos fatores (e reconsolidar a importância dos já afirmados) que influenciem positivamente o desempenho esportivo e parâmetros de saúde. Diversos protocolos de treinamento, assim como diferentes modelos de periodização têm sido utilizados a fim de potencializar incrementos em parâmetros neuromusculares. Contudo, para melhor compreender estes fenômenos, é necessário que compreendamos também as variáveis que interferem no mesmo. Uma semelhança que há nos programas de treinamento que visam aprimorar ganhos tanto no ambiente de alto desempenho quanto em parâmetros de saúde são as ações de potência.

Machado e colaboradores (2019) demonstraram que, após 12 semanas de intervenção de treinamento de potência, foram apresentadas melhorias neuromusculares e funcionais significativas em idosos com diabetes (MACHADO et al., 2019). Já no estudo de Radaelli et al. (2018), os autores verificaram que o treinamento de potência aplicado por meio de uma série ou três séries, apresentaram aumentos na força muscular, potência, massa muscular e também em parâmetros funcionais envolvendo os membros inferiores (RADAELLI et al., 2018).

Quanto ao desempenho esportivo, as aplicações práticas do treinamento baseado em potência também têm sido verificadas. Gjinovci e colaboradores verificaram que a aplicação de um treinamento pliométrico de 12 semanas em jogadoras de voleibol promoveu incrementos nas habilidades de correr, saltar e arremessar (GJINOVCI et al., 2017). A fim de examinar a efetividade de diferentes estratégias de treinamento com saltos, Loturco et al. (2018) realizaram uma revisão sobre o tema. Os autores enfatizaram a importância do treinamento de saltos verticais na melhoria do desempenho físico e neuromuscular (saltos, corrida, mudança de direção, etc.)

Para a realização de estratégias de treinamento mais eficazes para benefícios neuromusculares, é importante compreender que fatores contribuem para o desempenho. Os efeitos do treinamento de potência têm apresentado

correlação (MANGINE et al., 2018; TILLIN et al., 2013; MCLELLAN et al., 2001) com incrementos na taxa de produção de torque (TPT; quando avaliada em dinamômetro isocinético) ou força (TPF; quando verificada com auxílio de célula de carga) – uma vez que a diferença é pouca entre os termos, neste trabalho será adotada a preferência pelo termo “força” –. Esta que apresenta forte influência em parâmetros funcionais, uma vez que determina a força que pode ser gerada na fase inicial da contração muscular, expressa pela análise da força gerada em determinados períodos de tempo (AAGAARD et al., 2002).

Em busca da melhora de parâmetros relacionados ao desempenho neuromuscular, tal como a TPF, estratégias de treinamento mais eficazes são buscadas. Neste contexto, o treinamento envolvendo intenções rápidas de desenvolver a força muscular (e.g., treinamento de potência muscular) parece ser altamente necessário (MARIÁN et al., 2016). Corroborando com tal proposta, estudos prévios mostram a melhora da TPF após o uso do treinamento de potência muscular (TP), tanto em atletas quanto em idosos (KUBO et al., 2001; SUETTA et al., 2004).

Além da identificação de melhores ou eficazes estratégias de treinamento para o aprimoramento da TPF, é necessário que ocorra também atenção em relação à avaliação desta variável (MAFFIULETTI et al., 2016), uma vez que cuidados escassos sobre o processo avaliativo pode influenciar os resultados obtidos tanto antes quanto após períodos de treinamento. Assim como afirmam Maffiuletti et al. (2016), interpretar adequadamente o comportamento da TPF pode trazer benefícios importantes para o manejo de programas de treinamento voltados à saúde ou ao desempenho esportivo, visto que a capacidade de produzir força rapidamente depende predominantemente do aumento da ativação muscular no início da contração (MAFFIULETTI et al., 2016).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

A partir de uma revisão narrativa, verificar a resposta da taxa de produção de força frente a diferentes protocolos de treinamento de força.

2.2 Objetivos específicos

- A partir de uma revisão narrativa, verificar os efeitos crônicos dos treinamentos de força e potência sobre a taxa de produção de força.
- A partir de uma revisão narrativa, verificar a relação entre a taxa de produção de força e ações de força e potência.
- A partir de uma revisão narrativa, verificar as recomendações práticas para a avaliação da taxa de produção de força.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do estudo

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa.

3.2 Amostra

A presente revisão analisou estudos com populações diversas, incluindo homens e mulheres adultos e idosos, pessoas fisicamente ativas e não-ativas e atletas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fatores que influenciam a taxa de produção de força

O comportamento da TPF pode ser influenciado por fatores de origem neural ou muscular. Além disso, a TPF tem sido dividida em períodos iniciais (< 100ms) e tardios (> 100ms), sendo que estas fases iniciais e tardias seriam, respectivamente, mais influenciadas por aspectos neurais e morfológicos/musculares (MAFFIULETTI et al., 2016). Neste capítulo, serão apresentados alguns aspectos que interferem nestes dois períodos.

4.1.1 Fatores neurais

Uma das maneiras de interpretar a ativação muscular é por meio da eletromiografia de superfície, técnica que, utilizando-se de eletrodos, representa a atividade elétrica muscular. De tal forma, este método busca expressar a relação de descarga neural para com determinado padrão de força. Dois diferentes padrões de atividade muscular são identificados quando são comparadas contrações lentas e rápidas. As primeiras apresentam um aumento progressivo do sinal eletromiográfico, já a segunda, demonstra uma rápida (explosiva) atividade muscular no início da contração (BAWA, CALANCIE; 1983). Pode-se compreender que a magnitude da ativação muscular – que está diretamente relacionada também com a demanda da tarefa a ser executada – depende da quantidade de unidades motoras (UM) recrutadas e das taxas de descarga de potenciais de ação destes motoneurônios (MAFFIULETTI et al., 2016).

Quanto ao recrutamento das unidades motoras, este segue o *princípio do tamanho*, no qual unidades menores são recrutadas anteriormente às de maior calibre (MAFFIULETTI et al., 2016). Para uma melhor compreensão acerca do que se trata este princípio, Henneman (1977) argumenta que os fatores que estão diretamente relacionados a este princípio são: a quantidade de *input* excitatório para gerar a descarga de um motoneurônio; a energia que ele transmite como impulsos; a quantidade de fibras que inerva; as propriedades contráteis envolvidas na unidade motora que inerva; sua taxa

média de disparo e também sua síntese de produção de proteínas (HENNEMAN, 1977).

4.1.2 Fatores musculares

Não somente uma rápida ativação por meio neural influencia na TPF. Parâmetros musculares também parecem interferir no desempenho da referida variável. O tipo de fibra do músculo é considerado um fator importante, uma vez que a TPF apresenta comportamento mais rápido nas fibras do Tipo II do que nas fibras do Tipo I (HARRIDGE et al., 1996). Cada músculo apresenta um perfil de composição de fibras característico. Isto é, o vasto lateral, o vasto medial e o vasto intermédio apresentam, aproximadamente, 50% de fibras do Tipo I (Johnson et al. 1973; Luden et al. 2008; Taylor et al. 1997); enquanto que o sóleo e os gastrocnêmios apresentam aproximadamente de 45% a 75% de fibras do Tipo I (Dahmane et al. 2005; Edgerton et al. 1975; Johnson et al. 1973; Luden et al. 2008). Além destas diferenças intermusculares, Andersen (2001) verificou que, por meio da análise dos músculos do quadríceps em uma amostra de 21 homens jovens não-treinados, a porcentagem de fibras do Tipo II no vasto lateral apresentou uma variância muito grande: de 25% a 80%. De tal forma, no referido estudo não fora possível esclarecer qual o “tipo de fibra médio” apresentado no segmento analisado (ANDERSEN, 2011).

Outros estudos analisaram a influência do tipo de fibras de diferentes músculos no comportamento da TPF. Alguns autores identificaram correlações entre a porcentagem de fibras do Tipo II do vasto lateral e a TPF durante o exercício de extensão de joelhos (TAYLOR et al., 1997; HVID et al., 2010). Hakkinen et al. (1985) também identificaram que mudanças na tipologia das fibras associaram-se a alterações no desempenho da TPF (HAKKINEN et al., 1985). Maffioletti et al. (2006) sugerem que fatores que influenciam na produção de força durante uma contração voluntária máxima - CVM (principalmente a descarga neural e a área de secção muscular) também podem influenciar na TPF (MAFFIULETTI et al., 2006).

4.2 Protocolo de teste

Segundo Maffiuletti et al. (2016), o objetivo da avaliação é que direcionará de que forma se dará o seu manejo. Isto é, se for para fins mais práticos (treinamento, predições, triagens), é necessário que a ação analisada seja específica à atividade alvo (MAFFIULETTI et al., 2016). A TPF frequentemente tem sido mensurada por meio de ações uniarticulares, como extensão/flexão de joelhos, extensão/flexão de cotovelos e flexão plantar/dorsal do tornozelo, utilizando-se de um dinamômetro isocinético tradicional ou um dinamômetro customizado com célula de carga acoplada. Contudo, a análise também pode ocorrer por meio de ações multiarticulares para a investigação desta mesma variável. Quanto à taxa de amostragem, ela deve ser de no mínimo 1000 Hz (1000 dados a cada segundo), para que a avaliação possa ser mais precisa (MAFFIULETTI et al., 2016).

Quanto às instruções dadas ao indivíduo anteriormente ao teste, Bembem et al. (1990) realizaram um estudo comparando respostas neuromusculares frente a duas distintas instruções (“forte e rápido” vs. “rápido”) no exercício de força de preensão manual. Os autores observaram que os valores de força máxima foram maiores na primeira instrução, contudo, a TPF de pico foi maior na segunda instrução (BEMBEM et al., 1990). Os resultados deste estudo indicam que, se o objetivo for atingir a TPF máxima, então a orientação a ser dada é que a tarefa executada seja feita de forma “rápida”. Corroborando com estes resultados, Sahaly et al. (2001) identificaram que instruir o indivíduo a realizar o exercício de forma “rápida” gerou maiores valores de TPF pico do que “forte e rápido”, por meio da análise de extensores de joelho e flexores de cotovelo (SAHALY et al., 2001). Todavia, uma vez que a TPF tem uma forte correlação com o seu pico de força, Maffiuletti et al. (2016) sugerem que a instrução seja “rápido e forte”, enfatizando contrações explosivas e crescentes (MAFFIULETTI et al., 2016).

Adicionalmente, outros autores sugerem que, antes da realização do teste para análise da TPF, seja feita ao menos uma sessão de familiarização da tarefa a ser executada. Quanto à quantidade de tentativas, são sugeridas ao menos 5 tentativas válidas, e depois analisar a média entre as 3 melhores para

aquisição de resultados. Além disso, é necessário ter atenção a possíveis tendências de aumento ou diminuição do desempenho entre as tentativas, que podem ser consequência de fadiga ou potencialização devido às próprias tarefas ou ao aquecimento (MAFFIULETTI et al., 2016). Algumas outras considerações que Maffiuletti et al. (2016) orientam encontram-se na Figura 1 abaixo.

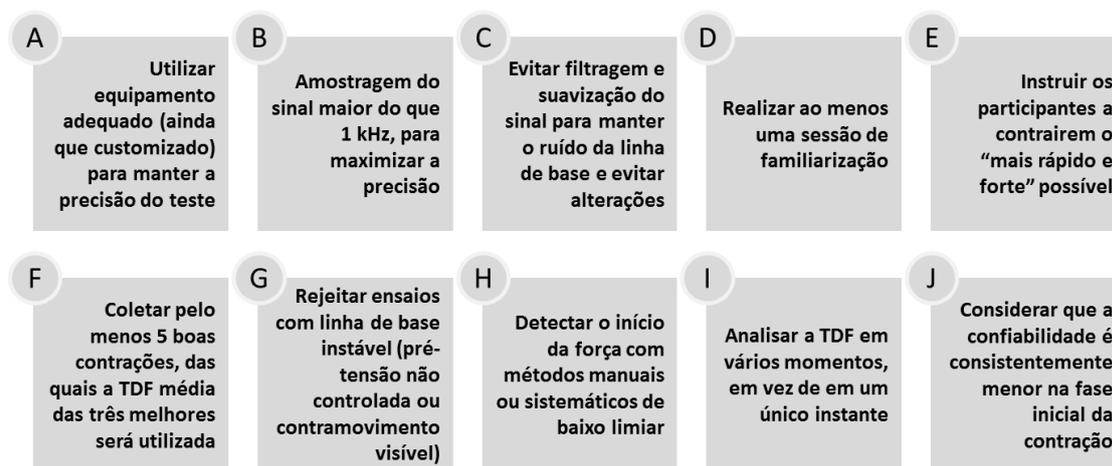


Figura 1: Recomendações para a avaliação da TDF (adaptado de MAFFIULETTI et al., 2016).

4.3 Taxa de produção de força e ações de força e potência muscular

Algumas ações executadas durante modalidades esportivas são realizadas de forma muito rápida, mais rapidamente executada do que, por exemplo, o tempo para atingir uma contração voluntária máxima isométrica, que normalmente ocorre próximo aos 300ms (BUCKTHORPE, ROI; 2017). O comportamento destas contrações explosivas pode ser medido por meio da TPF.

4.3.1 Atletas, sprints e saltos

A capacidade de desenvolver força é um aspecto muito relevante para se levar em consideração em análises esportivas. Uma vez que Tillin et al. (2010) observaram que atletas de força que estavam acostumados a produzir

força rapidamente (velocistas, saltadores) apresentaram maior TPF nas janelas iniciais da contração (0-50 ms), cerca de o dobro de indivíduos não-treinados. Embora os mesmos atletas tendo apresentado apenas 26% a mais de desempenho durante uma contração isométrica voluntária máxima (CIVM) em comparação com os mesmos indivíduos não-treinados (TILLIN et al., 2010). Tal fato sugere que a TPF possa ser mais importante do que CIVM em situações esportivas que requerem força explosiva. Assim, esta informação é de grande relevância para profissionais envolvidos na preparação física, pois fornece dados importantes para o manejo do treinamento.

Estudando *sprints*, Mangine et al. (2018) analisaram parâmetros neuromusculares e cinéticos envolvidos em 3 *sprints* sucessivos (4-9 minutos de intervalo). Os achados do estudo demonstraram que um *sprint* resistido com carga equivalente a 5% da massa corporal realizado anteriormente a outro *sprint*, não parece afetar o tempo ou a cinética do segundo, todavia parece aumentar a TPF deste (MANGINE et al., 2018). Estes resultados apresentam a relação positiva entre estas ações de potência (*sprints*) e a TPF, demonstrando que estas ações executadas anteriormente, podem servir como potencialização pós-ativação (PPA), se o objetivo for aumentar a TPF.

No estudo de Tillin et al. (2013), os autores analisaram a correlação entre o desempenho em *sprints* e saltos com contramovimento e a TPF em períodos de 50, 100, 150, 200 e 250ms (durante agachamento isométrico). Foi observada que a TPF na fase inicial do agachamento (≤ 100 ms) relacionou-se mais ao desempenho de *sprint*, enquanto que a TPF após 100ms apresentou maior relação com a altura no salto vertical (TILLIN et al., 2013). Tal fato pode ter ocorrido devido à diferença no tempo necessário para a produção de força nestes dois exercícios, uma vez que o *sprint* demanda de 80 a 120ms e o salto aproximadamente 250ms (BUCKTHORPE, ROI; 2017). Todavia, Ebben et al. (2007) não observaram correlação positiva entre a TPF e o desempenho de saltos verticais com contramovimento. Os autores sugerem que a referida variável presente maior relação em exercícios com cargas mais elevadas.

Visando determinar os efeitos neuromusculares envolvidos no treinamento, 23 atletas de corrida (*sprint*), homens e mulheres realizaram

sprints de 30 m com diferentes percentuais de sua massa corporal como carga no trenó. Os percentuais aplicados foram 0, 10, 15 e 20% da massa corporal. Os achados indicaram que a TPF de pico nos *sprints* com carga de 15% e 20% aumentou significativamente quando comparada ao *sprint* com carga de 10%. De tal forma, os autores sugerem que se a carga for muito leve, o estímulo pode não ser suficiente para atingir o pico da TPF durante a fase de aceleração. Assim, é necessário que se tome a devida atenção à carga utilizada nos treinamentos e os objetivos associados. .

McLellan et al. (2001) analisaram, entre outros parâmetros, a relação entre a TPF e o desempenho de saltos verticais durante o salto com contramovimento (CMJ). Participaram deste estudo 23 homens fisicamente ativos, os quais realizaram três CMJ sem carga adicional em uma plataforma de força. Os achados demonstraram que o pico da TPF, assim como o pico de força e o tempo para atingi-lo, apresentaram correlações significativas com o desempenho de saltos verticais. Contudo, os autores sugerem que pesquisadores atentem-se à utilização do pico da TPF para determinar o desempenho de saltos, uma vez que esta apresentou baixa confiabilidade no teste (MCLELLAN et al., 2001).

4.3.2 Idosos, fadiga e atividade de vida diária

Com o passar do tempo, diversas propriedades neuromusculares sofrem decréscimos severos, como a produção de força e potência, por exemplo. Assim, Varesco et al. (2019) compararam a produção de força rápida e a taxa de ativação muscular de extensores de joelho em idosos (82 ± 1 anos) e adultos jovens (24 ± 4 anos). Após análise das variáveis coletadas, os autores relataram que tanto a força máxima quanto a TPF máxima absolutas foram menores nos idosos. Todavia, quando analisaram a TPF relativizada pela força máxima produzida (pico de força), esta foi semelhante entre os grupos. Outro resultado importante que identificaram, é que o declínio da TPF máxima nos indivíduos adultos foi maior apresentado nas fases iniciais da contração, que

possivelmente relacionam-se às deficiências dos fatores neurais envolvidos (VARESCO et al., 2019).

Quanto ao efeito da fadiga muscular na TPF, este tem sido estudado para identificar de que forma esta variável é afetada. Com isto, Boccia et al. (2018) analisaram o efeito da fadiga muscular induzida por corrida de longa distância na capacidade de produzir força rapidamente. A amostra foi composta por 21 corredores homens amadores, que foram avaliados antes e logo após a corrida (meia maratona). Foram analisadas a força de extensores de joelho sob condição submáxima e por estimulação elétrica, além da TPF em contrações balísticas com diferentes cargas submáximas. Os autores identificaram que a ativação voluntária máxima, a contração máxima em repouso, a força máxima e a TPF durante a contração máxima diminuíram. Todavia, os valores de TPF examinados durante as contrações balísticas de até 60% da força máxima não apresentaram decréscimos. Os resultados deste estudo sugerem que as fadigas central e periférica não afetam a rapidez da contração em uma ampla gama de execuções submáximas (BOCCIA et al., 2018).

Outro estudo que traz um caráter funcional, próximo a tarefas do cotidiano, é o de Zemková et al. (2019). Os autores analisaram a correlação entre o pico de força e a TPF obtidos em uma contração isométrica dos músculos do tronco com levantamento terra com diferentes cargas. A amostra foi composta por um grupo de 27 homens treinados e 41 fisicamente ativos (recreacionais). As análises de força foram realizadas por meio de um dinamômetro lombar (ou dorsal). Os achados deste estudo demonstraram que o pico da TPF correlacionou-se significativamente com o levantamento terra em cargas mais baixas (20 a 40 kg), enquanto que o pico de força da contração isométrica apresentou maior correlação com o exercício em cargas maiores (≥ 60 kg) (ZEMKOVÁ et al, 2019). Assim, atividades de vida diária parecem apresentar forte correlação com o desempenho da TPF, sendo uma informação útil para aquelas pessoas que executam tais atividades frequentemente e procuram um treinamento adequado para suas funções.

4.4 Respostas da TPF a diferentes programas de treinamento

Neste subcapítulo serão apresentados estudos que analisaram as respostas da TPF frente a diferentes protocolos de treinamento físico. Um resumo destes estudos encontra-se na Tabela 1.

Conforme as características de determinado programa de treinamento físico, este pode promover mudanças significativas na TPF ou não. Aagaard et al. (2002) observaram, após 14 semanas de treinamento de força, aumento significativo na TPF tanto na fase inicial (0 a 50 ms) quanto na fase tardia (50 a 200 ms). Os autores sugerem que o achado é muito importante, uma vez que sugerem, por meio do treinamento de força (e não de potência, mais utilizado para aumento da TPF), que uma TPF com valores elevados permitiria aumentar a força e a velocidade máxima durante exercícios explosivos (AAGAARD et al., 2002).

Andersen et al. (2010) analisaram as mudanças na TPF em diferentes períodos de sua produção após 14 semanas de treinamento de força (total de 38 sessões de treino). Os achados deste estudo demonstraram que a TPF tardia se alterou significativamente, enquanto que o mesmo não foi identificado na TPF inicial. Juntamente com tais resultados, houve um aumento também da CIVM. Já no estudo de Mangine et al. (2016), os autores objetivaram examinar de que forma se comportaria a TPF frente a dois diferentes programas de treinamento: a) treinamento de força de alta intensidade e b) treinamento de força de alto volume. Os autores relataram que o grupo que trabalhou com cargas de alta intensidade promoveu aumentos significativos na TPF inicial. Contudo, o mesmo não foi encontrado no grupo que trabalhou com volumes altos de treino. Uma vez que este não promoveu adaptações significativas na TPF, provavelmente pela magnitude da carga ter sido muito baixa, insuficiente para promover ganhos na TPF.

Objetivando examinar as mudanças na produção de força explosiva, bem como as implicações neurais e mecânicas de tal mudança, Tillin et al. (2012) observaram que, após 4 semanas de treinamento de força explosiva, houve um aumento da TPF, resultado este, que foi de encontro ao observado

pelo mesmo autor em 2011 (TILLIN et al., 2011), em que não foram identificados aumentos na TPF após um programa de treinamento com cargas de força máxima, ainda que tenham ocorridos aumentos na força máxima, mas que estes não foram transferidos para a TPF.

Van Cutsem et al. (1998) examinaram as adaptações neuromusculares causadas por um programa de treinamento balístico de 12 semanas. Após o período de intervenção do estudo, os autores identificaram um aumento na taxa de produção de força dos músculos dorsiflexores. Os autores concluíram que este tipo de treinamento é uma boa estratégia para tornar mais rápidas as contrações e aumentar sua taxa de disparo (VAN CUTSEM et al., 1998), uma vez que, mesmo utilizando cargas mais baixas (30-40% de 1RM), a elevada velocidade de movimento influenciou os resultados. Também trabalhando com movimentos balísticos e com o intuito de comparar as adaptações neurais causadas por diferentes protocolos de treinamento (treinamento balístico vs. sensório-motor), Gruber et al. (2007) submeteram 33 indivíduos homens e mulheres por 4 semanas (16 sessões) de intervenção. Os resultados demonstraram que ambos os protocolos promoveram aumentos na TPF, todavia, o treinamento balístico promoveu maiores ganhos (GRUBER et al., 2007), resultado este que, juntamente com o de Van Cutsem et al. (1998), reforça a importância de se atentar à velocidade de execução do movimento que se quer analisar.

Após um período de treinamento de 4 semanas, Barry et al. (2005) observaram que a TPF foi aprimorada em adultos e idosos. Os autores relataram que os idosos apresentaram valores de TPF e força máxima significativamente menores que dos adultos (com maior decréscimo na TPF quando comparada à força máxima). Contudo, após o treinamento, foi verificado aumento na TPF (BARRY et al., 2005). Estes achados ajudam a confirmar que, com o envelhecimento, além de serem observadas deficiências na força, a perda de potência é muito grande. Todavia, com um programa de treinamento adequado, ganhos são atingidos nesta população, a fim de diminuir os déficits neuromusculares causados com o tempo.

Kubo et al. (2001) verificaram um aumento na TPF e uma diminuição no atraso eletromecânico (tempo entre o início da atividade elétrica e a produção de tensão muscular) após 12 semanas de treinamento isométrico. A amostra foi composta por 8 homens saudáveis fisicamente ativos, e o exercício realizado foi extensão de joelhos unilateral, com a orientação de realizá-lo o mais forte e rapidamente possível (KUBO et al., 2001).

Em outro estudo, 36 idosos com desuso unilateral em longo prazo devido à osteoartrite do quadril, realizaram treinamento isométrico de extensão de joelho durante 12 semanas. Após análise, os autores identificaram que o referido protocolo aumentou a TPF nas fases inicial e tardia, além de ter aumentado também a massa muscular e ativação elétrica. Contudo, outro protocolo que foi aplicado na mesma amostra (estimulação elétrica neuromuscular) não apresentou os mesmos resultados (SUETTA et al., 2004).

A fim de verificar as diferenças adaptativas na arquitetura muscular e na TPF, Stasinaki et al. (2019) realizaram estudo que analisou 18 indivíduos (homens e mulheres) sem experiência no treinamento de força, divididos em dois grupos: velocidade de execução lenta e rápida no exercício agachamento excêntrico. As cargas das sessões de treino foram equalizadas da seguinte forma: grupo que realizou execução rápida (9 séries de 9 repetições com 70% de 1RM; < 1s de duração para cada repetição) e grupo que realizou execução lenta (5 séries de 6 repetições com 90% de 1RM; ~ 4s de duração para cada repetição). Após 6 semanas de treinamento, os autores identificaram que o grupo que treinou com execução rápida promoveu aumentos significativos na TPF bilateral, fato que os autores associaram ao aumento concomitante de comprimento de fascículo do músculo vasto lateral (STASINAKI et al., 2019).

Tabela 1: Análise do comportamento da TPF em resposta a diferentes protocolos de treinamento

Referência	Amostra	Exercício	Intervenção	Desfechos
Van Cutsem et al. (1998)	5 indivíduos (3M e 2H), idade entre 18 e 22 anos	Dorsiflexão do tornozelo (dinâmica)	12 semanas (5 sessões por semana); 10 séries de 10 repetições rápidas com carga de 30-40% de 1 RM	↑ 82,3% da TPF nas 5 repetições mais rápidas de cada sujeito
Kubo et al. (2001)	8 homens saudáveis, idade de 22,6 ± 2,8 anos	Extensão de joelhos (isométrica)	12 semanas (4 sessões por semana); intensidade de 70% da CIVM. Foram 4 repetições de 20s	↑ 35,8% na TPF
Aagaard et al. (2002)	15 homens, idade de 23,3 ± 3,7 anos	Agachamento no <i>hack</i> , supino inclinado, extensão de joelhos, flexão de joelhos e flexão plantar sentado	14 semanas (38 sessões totais); 4-5 séries para cada exercício, intensidade variou de 3-10 RM	↑ 15% da TPF normalizada pela força máxima (tanto na fase inicial quanto tardia)
Suetta et al. (2004)	36 idosos acima dos 60 anos	Extensão de joelho unilateral e <i>leg press</i>	12 semanas; 3-5 séries, intensidade variou de 20-8 RM	O pico da TPF aumentou em 21%. Houve aumento da TPF em 0-30 ms (↑ 45%), 0-50 ms (↑ 31%), 0-100 ms (↑ 26%) e 0-200 ms (↑ 30%)
Barry et al. (2005)	8 jovens (4M e 4H),	Flexão/extensão de	4 semanas (12 sessões); 4 séries de 6 repetições,	TPF foi 51,2% mais

	idade de 26,3 ± 4,6 anos e 8 idosos (4M e 4H), idade de 68,8 ± 7,5 anos	cotovelo e pronação/supinação de punho	intensidade variou de 40-100% da CVM	baixa nos idosos. Com o treinamento, idosos e jovens aumentaram a TPF em 28,0% e 23,7%, respectivamente
Gruber et al. (2007)	33 indivíduos adultos saudáveis (16M e 17H)	Flexão plantar/dorsal (treinamento balístico) e músculos que envolvem o tornozelo (treinamento sensório-motor)	4 semanas (16 sessões)	Aumento de 48,16% no grupo de treinamento balístico e 14,5% no grupo de treinamento sensório-motor
Andersen et al. (2010)	15 homens sedentários saudáveis, idade de 23,5 ± 3,2 anos.	<i>Leg press</i> , agachamento no <i>hack</i> , extensão de joelhos e flexão de joelhos	14 semanas (38 sessões), aproximadamente 3 sessões por semana; 4-5 séries, as repetições variaram de 12-6 RM	↑ de 11% na TPF, somente na fase tardia (250 ms)
Tillin et al. (2011)	9 homens saudáveis recreacionalmente ativos, idade de 21 ± 1 anos	Extensão de joelhos isométrica unilateral	4 semanas (4 sessões por semana), cada sessão consistiu de 4 séries de 10 repetições	Não houve aumento da TPF
Tillin et al. (2012)	10 homens saudáveis recreacionalmente ativos, idade de 20 ± 2 anos	Extensão de joelhos isométrica unilateral (explosiva)	4 semanas (4 sessões por semana), cada sessão consistiu de 4 séries de 10 repetições	↑ da TP nos 50, 100 e 150 ms
Mangine et al. (2016)	33 homens fisicamente ativos, treinados em treinamento de força	Diversos exercícios para diferentes musculaturas do corpo	8 semanas (4 sessões por semana); 4 séries de 3-5 repetições com 90% de 1 RM	↑ da TPF somente no grupo que treinou com cargas de alta intensidade

			(grupo com alta intensidade de treino) e 4 séries de 10-12 repetições com 70% de 1 RM (grupo com alto volume de treino)	
Stasinaki et al. (2019)	18 estudantes de educação física sem experiência em treinamento	Agachamento	6 semanas (2 sessões por semana); 9 séries de 9 repetições excêntricas com 70% 1 RM (grupo com execução rápida de movimento) e 5 séries de 6 repetições excêntricas com 90% de 1 RM (grupo com execução lenta de movimento)	↑ da TPF somente no grupo que treinou com execução rápida de movimento (+ 10-19%)

Legenda: M: mulher; H: homem; 1 RM: uma repetição máxima; CVM: contração voluntária máxima;

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A taxa de produção de torque/força é uma variável que tem sido muito estudada em distintas populações. Esta variável possui ação multifatorial, podendo ser influenciada tanto por mecanismos neurais quanto musculares. Com isto, diferentes protocolos de treinamento têm demonstrado resultados positivos na melhora da TPF. Contudo, nota-se que, na maioria destes estudos, os exercícios contidos no programa de treinamento foram realizados de forma explosiva, sejam eles dinâmicos ou isométricos. Quanto à carga, percebe-se que treinamentos baseados em um alto volume de repetições (com provável indução de fadiga muscular) parecem não promover ganhos significativos na referida variável. Por outro lado, aqueles programas que foram estruturados com volume pequeno a moderado e combinados com maior carga, apresentaram maiores incrementos na TPF. Por fim, para a avaliação e análise da TPF, é importante que o avaliador atente-se em diversas considerações que são sugeridas nos estudos por pesquisadores da área, como a utilização de equipamentos adequados, realização de sessões de familiarização, instrução adequada, realizar a análise em diferentes janelas da curva, entre outros cuidados. Tais considerações se fazem importantes a fim de resguardar a precisão e confiabilidade do teste.

REFERÊNCIAS

AAGAARD, Per et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 93, n. 4, p. 1318-1326, 2002.

ANDERSEN, Lars L. et al. Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training?. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 20, n. 1, p. e162-e169, 2010.

BARRY, Benjamin K.; WARMAN, Geoffrey E.; CARSON, Richard G. Age-related differences in rapid muscle activation after rate of force development training of the elbow flexors. **Experimental Brain Research**, v. 162, n. 1, p. 122-132, 2005.

BAWA, P.; CALANCIE, B. Repetitive doublets in human flexor carpi radialis muscle. **The Journal of Physiology**, v. 339, n. 1, p. 123-132, 1983.

BEMBEN, Michael G.; CLASEY, Jody L.; MASSEY, Benjamin H. The effect of the rate of muscle contraction on the force-time curve parameters of male and female subjects. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 61, n. 1, p. 96-99, 1990.

BOCCIA, Gennaro et al. Neuromuscular fatigue does not impair the rate of force development in ballistic contractions of submaximal amplitudes. **Frontiers in Physiology**, v. 9, 2018.

BUCKTHORPE, Matthew; ROI, Giulio Sergio. The time has come to incorporate a greater focus on rate of force development training in the sports injury rehabilitation process. **Muscles, Ligaments and Tendons Journal**, v. 7, n. 3, p. 435, 2017.

DAHMANE, Raja et al. Spatial fiber type distribution in normal human muscle: histochemical and tensiomyographical evaluation. **Journal of Biomechanics**, v. 38, n. 12, p. 2451-2459, 2005.

EBBEN, William; FLANAGAN, Eamonn; JENSEN, Randall. Gender similarities in rate of force development and time to takeoff during the countermovement jump. **Journal of Exercise Physiology Online**, v. 10, n. 6, 2007.

EDGERTON, V. Reggie; SMITH, J. L.; SIMPSON, D. R. Muscle fibre type populations of human leg muscles. **The Histochemical Journal**, v. 7, n. 3, p. 259-266, 1975.

GJINOVCI, Bahri et al. Plyometric training improves sprinting, jumping and throwing capacities of high level female volleyball players better than skill-based conditioning. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 16, n. 4, p. 527, 2017.

GRUBER, Markus et al. Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development and neural activation in humans. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 1, p. 274-282, 2007.

HAKKINEN, K.; KOMI, P. V.; ALEN, M. Effect of explosive type strength training on isometric force-and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 125, n. 4, p. 587-600, 1985.

HARRIDGE, S. D. R. et al. Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. **Pflügers Archiv**, v. 432, n. 5, p. 913-920, 1996.

HENNEMAN, E. Functional organization of motoneuron pools: The size principle. **Proc. Int. Union Physiol. Sci**, v. 12, n. 50, 1977.

HVID, Lars et al. Effects of aging on muscle mechanical function and muscle fiber morphology during short-term immobilization and subsequent retraining. **Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 6, p. 1628-1634, 2010.

JOHNSON, M_A et al. Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles: an autopsy study. **Journal of the Neurological Sciences**, v. 18, n. 1, p. 111-129, 1973.

KOMI, Paavo V. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. **Journal of Biomechanics**, v. 33, n. 10, p. 1197-1206, 2000.

KUBO, Keitaro et al. Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. **Journal of Applied Physiology**, v. 91, n. 1, p. 26-32, 2001.

LOTURCO, Irineu et al. Using loaded and unloaded jumps to increase speed and power performance in elite young and senior soccer players. **Strength & Conditioning Journal**, v. 40, n. 3, p. 95-103, 2018.

LUDEN, Nicholas et al. Human vastus lateralis and soleus muscles display divergent cellular contractile properties. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 295, n. 5, p. R1593-R1598, 2008.

MACHADO, Carlos Leonardo Figueiredo et al. Acute and chronic effects of muscle power training on blood pressure in elderly patients with type 2 diabetes mellitus. **Clinical and Experimental Hypertension**, p. 1-7, 2019.

MAFFIULETTI, Nicola A. et al. Rate of force development: physiological and methodological considerations. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 6, p. 1091-1116, 2016.

MANGINE, Gerald T. et al. Resistance training intensity and volume affect changes in rate of force development in resistance-trained men. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 11-12, p. 2367-2374, 2016.

MANGINE, Gerald T. et al. A Resisted Sprint Improves Rate of Force Development During a 20-m Sprint in Athletes. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 32, n. 6, p. 1531-1537, 2018.

MARIÁN, Vanderka et al. Improved maximum strength, vertical jump and sprint performance after 8 weeks of jump squat training with individualized loads. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 15, n. 3, p. 492, 2016.

MCLELLAN, Christopher P.; LOVELL, Dale I.; GASS, Gregory C. The role of rate of force development on vertical jump performance. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 25, n. 2, p. 379-385, 2011.

RADAELLI, Régis et al. Higher muscle power training volume is not determinant for the magnitude of neuromuscular improvements in elderly women. **Experimental Gerontology**, v. 110, p. 15-22, 2018.

SAHALY, R. et al. Maximal voluntary force and rate of force development in humans—importance of instruction. **European Journal of Applied Physiology**, v. 85, n. 3-4, p. 345-350, 2001.

STASINAKI, Angeliki-Nikoletta et al. Rate of force development and muscle architecture after fast and slow velocity eccentric training. **Sports**, v. 7, n. 2, p. 41, 2019.

SUETTA, Charlotte et al. Training-induced changes in muscle CSA, muscle strength, EMG, and rate of force development in elderly subjects after long-term unilateral disuse. **Journal of Applied Physiology**, v. 97, n. 5, p. 1954-1961, 2004.

TAYLOR, A. D. et al. Electrophoretic separation of myosin heavy chain isoforms in the human m. vastus lateralis: references to reproducibility and relationships with force, electromechanical delay, fibre conduction velocity, endurance and electromyography. **Archives of Physiology and Biochemistry**, v. 105, n. 1, p. 10-18, 1997.

TILLIN, Neale A. et al. Neuromuscular performance of explosive power athletes versus untrained individuals. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 781-790, 2010.

TILLIN, Neale A.; PAIN, Matthew TG; FOLLAND, Jonathan P. Short-term unilateral resistance training affects the agonist–antagonist but not the force–agonist activation relationship. **Muscle & Nerve**, v. 43, n. 3, p. 375-384, 2011.

TILLIN, Neale A.; PAIN, Matthew TG; FOLLAND, Jonathan P. Short-term training for explosive strength causes neural and mechanical adaptations. **Experimental Physiology**, v. 97, n. 5, p. 630-641, 2012.

TILLIN, Neale Anthony; PAIN, Matthew Thomas Gerard; FOLLAND, Jonathan. Explosive force production during isometric squats correlates with athletic performance in rugby union players. **Journal of Sports Sciences**, v. 31, n. 1, p. 66-76, 2013.

VAN CUTSEM, Michaël; DUCHATEAU, Jacques; HAINAUT, Karl. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. **The Journal of Physiology**, v. 513, n. 1, p. 295-305, 1998.

VARESCO, Giorgio et al. Rate of force development and rapid muscle activation characteristics of knee extensors in very old men. **Experimental Gerontology**, v. 124, p. 110640, 2019.

ZEMKOVÁ, Erika; POÓR, Oliver; PECHO, Juraj. Peak Rate of Force Development and Isometric Maximum Strength of Back Muscles Are Associated

With Power Performance During Load-Lifting Tasks. **American Journal of Men's Health**, v. 13, n. 1, 2019.