



UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA



Fiabilidade e influência da instrução e modalidade de exercício na taxa de produção de força dos flexores dos joelhos

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre em Treino de Alto Rendimento

Orientador: Professor Doutor Sandro Remo Martins Neves Ramos Freitas

Presidente:

Doutor Gonçalo Laima Vilhena de Mendonça, professor auxiliar da Faculdade de Motricidade Humana

Vogais do Júri:

Doutor Sandro Remo Martins Neves Ramos Freitas, professor auxiliar da Faculdade de Motricidade Humana

Doutor João Pedro Casaca Rocha Vaz, professor auxiliar da Faculdade de Motricidade Humana

Rafael Gregório e Bárto

Lisboa 2022

Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto HamStrong «Refª PTDC/SAU-DES/31497/2017».

FCT

Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais, pois foram eles que me passaram o valor da educação, foram eles que salientaram que a educação é o caminho para uma vida mais realizada e melhor. A eles, em conjunto, quero agradecer todo o apoio e todo o esforço feito na minha educação.

Ao meu pai gostaria de agradecer todo o apoio que me deu, e a capacidade de acreditar que os sonhos de uma vida podem ser cumpridos desde que a capacidade de trabalho esteja presente.

À minha mãe quero agradecer a ética de trabalho que ela me transmitiu, a resiliência, as chamadas de atenção, a capacidade de sacrifício em prol de algo maior que só ela me poderia ter transmitido.

Aos meus irmãos por todo o apoio incondicional, conselhos e amor fraterno que me demonstraram nesta caminhada.

À Daniela, a minha noiva, gostaria de agradecer toda a paciência que tem tido comigo nesta jornada difícil.

À minha Tia e Madrinha Anabela, por ter estado sempre presente em toda a minha viagem académica na Faculdade de Motricidade Humana.

Ao meu orientador Professor Sandro Freitas, por todo o apoio, por toda a resiliência, por nunca me ter deixado desistir, por ter exigido de mim sempre o meu melhor, não poderia ter pedido um orientador melhor.

Ao Professor João Vaz pelo suporte na elaboração desta tese, e pela criação das rotinas do software matlab, sem as quais o processamento dos dados da taxa de produção de força teria sido impossível.

Ao Professor Régis Radaelli por toda a ajuda prestada na elaboração desta tese.

Dedicatória

“Aos meus pais, António Bártolo e Aldina Gregório, por serem os pilares de uma família maravilhosa, sem ela não teria sido capaz”

“Aos meus irmãos, André Bártolo, Alexandra Bártolo, sempre serão motivos de orgulho, espero conseguir retribuir”

“À minha noiva, Daniela Miranda, por todo o apoio que me deu”

“À minha Tia Anabela Bártolo, por ser uma madrinha que me acompanha sempre”

“Ao meu orientador, Sandro Freitas, por nunca me ter deixado desistir.”

“Aos professores João Vaz e Régis Radaelli por toda a ajuda prestada”

Índice

Índice de tabelas	II
Índice de figuras	III
Índice de anexos	IV
Lista de abreviações	V
Resumo	10
Abstract	12
1. Introdução	14
1.1 Estado da arte	14
1.1 Objetivos do estudo e hipóteses	17
2. Revisão de literatura	18
2.1 Taxa de Produção de Força: uma breve introdução	18
2.2 Fiabilidade da TPF medida com dinamometria	21
2.3 Tipo de tarefa unilateral ou bilateral.....	22
2.4 Feedback verbal e instrução na medição da TPF.....	24
3. Métodos.....	28
3.1 Desenho experimental	26
3.2 Participantes	26
3.3 Equipamento	26
3.4 Protocolo.....	27
3.5 Processamento dos dados.....	28
3.7 Análise estatística.....	29
4. Resultados	30
5. Discussão	33
6. Conclusões	36
7. Referências Bibliográficas	37
Anexos	45

Índice de Tabelas

Tabela 1. Desempenho da taxa de produção de força (N.m) (i.e. médias e desvios padrão) para os dois membros nas diferentes condições de teste e reteste (i.e. tipo de instrução e tipo de exercício).....	32
Tabela 2. Resultados dos coeficientes intraclasse (e intervalos de confiança a 95%) da taxa de produção de força relativos aos membros esquerdo e direito.....	33
Tabela 3. Resultados dos coeficientes de variação da taxa de produção de força relativos aos membros esquerdo e direito.....	33
Tabela 4. Níveis de significância (p-value) dos fatores (e interação) da <i>three-way</i> anova: exercício, membro e instrução.....	34

Índice de Figuras

Figura 1. Fatores que influenciam a Taxa de Produção de Força. Adaptado de (Maffioletti et al., 2016a).....	21
Figura 2. Realização do teste (A) unilateral e (B) bilateral.....	28

Índice de Anexos

Anexos I. Teste de Normalidade para a amostra da TPF.....	45
Anexos II. Resultados da análise de variâncias de medidas repetidas para a TPF dos 0 aos 50 ms....	46
Anexos III. Resultados da análise de variâncias de medidas repetidas para a TPF dos 0 aos 100 ms..	48
Anexos IV. Resultados da análise de variâncias de medidas repetidas para a TPF dos 50 aos 100 ms.....	50
Anexos V. Resultados da análise de variâncias de medidas repetidas para a TPF dos 100 aos 200 ms.....	52

Lista de Abreviaturas

MFJ – Músculos Flexores do Joelho

TPT – Taxa de Produção de Torque

TPF – Taxa de Produção de Força

CIVM – Contração Isométrica Voluntária Máxima

UM – Unidade Motora

DP – Desvio Padrão

ICC – Coeficiente de correlação intraclasse

CV - Coeficiente de variação

Título: Fiabilidade e influência da instrução e modalidade de exercício na taxa de produção de força dos flexores dos joelhos

Resumo

Objetivos: (1) Determinar a fiabilidade intra-dia da medida da taxa de produção de força (TPF) dos flexores do joelho, na posição de decúbito ventral, nas seguintes condições de teste: i) realizando a contração unilateralmente ou bilateralmente; e ii) com uma instrução prévia mencionando “rápido e forte” ou “rápido”. (2) Verificar se a TPF é diferente entre modalidades de instrução, tipo de exercício e membros dominante e não-dominante.

Método: Catorze sujeitos ($27,3 \pm 6$ anos; $174 \pm 0,4$ cm; $73 \pm 8,4$ kg) sem historial de lesão nos isquiotibiais realizaram duas sessões de testes, separados por uma hora. Em cada sessão, realizaram 2 séries de 3 repetições de flexão isométrica do joelho de forma unilateral, e 2 séries de 3 repetições de forma bilateral. Em cada um dos tipos de exercício, e antes de uma série de repetições, foi aplicada a instrução “rápido”, e noutra série a instrução “rápido e forte”. As instruções foram aplicadas com ordem aleatória, e os testes realizados com recurso a *feedback* visual, na posição decúbito ventral e com os joelhos fletidos a 30° , num equipamento com células de força embutidas associadas a cada um dos membros. Os dados foram processados utilizando rotinas Matlab. Como critério de momento de início da TPF foi considerado o valor de 3 desvios padrão da linha de base de força detectado de forma automatizada. Para determinação da fiabilidade intra-sessão, foi calculado o coeficiente de correlação intraclassa (ICC) e coeficiente de variação (CV). Para se examinar a influência dos fatores instrução, exercício e membro, foi aplicado o teste de análise de variância de três fatores com medidas repetidas. A análise foi realizada para as seguintes janelas temporais: 0-50ms, 0-100-ms, 50-100ms e 100-200ms.

Resultados: A maioria dos testes de TPF mostraram fiabilidade intra-dia classificada que variou entre moderada a excelente (ICC=0.52-0.91; CV=6%-16%), com exceção do teste TPF realizado de forma bilateral com a instrução “rápido”, no membro direito, na janela 100- 200 ms (ICC = 0.40, IC 95% = -0.17-0.76; CV= 12% ±13%). Nenhum efeito foi observado para as interações entre fatores exercício, instrução e membro. Porém, observou-se um efeito do fator instrução no desempenho da TPF na janela temporal 0-100 ms ($p = 0.049$), bem como um efeito do fator exercício no desempenho e da TPF na janela temporal 100-200 ms ($p < 0.001$).

Conclusões: A quantificação da TPF nos flexores do joelho aparenta ser fiável, quer avaliada com exercício unilateral ou bilateral, ou com diferentes tipos de instruções (i.e. “rápido” e “rápido e forte”). Adicionalmente, e na sua generalidade, a modalidade de exercício (i.e. unilateral vs. bilateral) e tipo de instrução aparenta não afetar o desempenho da TPF, assim como aparenta não existirem diferenças entre membros dominante e não-dominante.

Palavras chave: Instrução verbal; unilateral; bilateral; *feedback*; reprodutibilidade; contração isométrica voluntária máxima; rápido; rápido e forte.

Title: Reliability and influence of instruction and exercise modality on the knee flexors rate of force production.

Abstract

Objective: (1) To determine the intra-day reliability of the measurement of the force rate of force development (RFD) of the knee flexors, in the prone position, under the following test conditions: i) performing the contraction unilaterally or bilaterally; and ii) with a prior instruction mentioning “fast and strong” or “fast”. (2) Verify whether the RFD will differ between instructions, exercise type, and dominant and non-dominant members.

Method: Fourteen subjects (27.3 ± 6 years; 174 ± 0.4 cm; 73 ± 8.4 kg) with no history of hamstring injury performed two testing sessions one hour apart. In each session, they performed 2 sets of 3 repetitions of isometric knee flexion unilaterally, and 2 sets of 3 repetitions bilaterally. In each of the types of exercise, and before a set of repetitions, the instruction “fast” was applied, and in another set the instruction “fast and strong”. The instructions were performed using visual feedback, and in random order. The tests were performed in the prone position and with the knees flexed at 30° , in an equipment with built-in force cells associated with each of the limbs. Data was processed using Matlab routines. The RFD onset time (i.e. onset) of all repetitions was determined based on a threshold of 3 standard deviations from the strength baseline, detected in an automated way. To determine the intra-session reliability, the intra-class correlation coefficient (ICC) and coefficient of variation (CV) were calculated; and to examine the influence of the factors instruction, exercise, and member factors, a three-way repeated measures ANOVA was applied.

Results: Most of the RFD tests showed an intra-day reliability that ranged from moderate to excellent (ICC=0.52-0.91; CV=6%-16%), with the exception of the RFD test performed bilaterally with the

instruction “fast”, in the right limb, in the 100-200 ms window (ICC = 0.40, 95% CI = -0.17-0.76; CV= 12% ±13%). No effect was observed for interactions between exercise, instruction, and limb factors. However, there was an effect of the instruction factor on RFD performance in the 0-100 ms time window ($p = 0.049$), as well as an effect of the exercise factor on performance and RFD in the 100-200 ms time window ($p < 0.001$).

Conclusions: The quantification of RFD in the knee flexors appears to be reliable, whether assessed with unilateral or bilateral exercise, or with different types of instructions (i.e. “fast” and “fast and strong”). Additionally, and in general, the exercise modality (i.e. unilateral vs. bilateral) and type of instruction do not seem to affect the performance of the RFD, as there appears to be no difference between dominant and non-dominant limbs.

Keywords: Verbal instruction; unilateral; bilateral; feedback; reliability; maximum voluntary isometric contraction; fast; fast and strong.

1. Introdução

1.1 Estado da Arte

As lesões dos músculos posteriores da coxa (i.e. isquiotibiais) são as mais prevalentes em jogos desportivos coletivos que envolvem um número elevado de sprints repetidos (Woods, 2004). Estas representam 12% do total de lesões no futebol (Woods, 2004) e 16% do total de lesões no futebol Australiano (Gabbe et al., 2005). Cada 5.6 lesões tendem a ocorrer por cada 1000 horas de jogo no rugby profissional (Brooks et al., 2006). A taxa de reincidência destas lesões é alta. Por exemplo, no futebol, estima-se que a taxa de reincidência seja entre os 12% e os 63% (Woods, 2004); (de Visser et al., 2012); e cerca de 34% no futebol Australiano (Orchard & Seward, 2002).

A maioria das lesões dos músculos posteriores da coxa ocorre em situações de sprint e na presença de fadiga, enquanto um número pequeno deste tipo de lesões ocorre em situações como rematar a bola. Por exemplo, no futebol Australiano, 80.8% das lesões dos músculos posteriores da coxa ocorreram em situações de sprint e 19.2% em situações de remate (Gabbe et al., 2005). No futebol, 57% das lesões musculares tiveram lugar em situações de corrida e no último terço das primeiras e segundas partes de um jogo (Woods, 2004).

Um estudo prévio concluiu que, numa situação de corrida, os posteriores da coxa fazem uma contração excêntrica no momento antes do contacto do pé com chão, na denominada *late swing phase* (Wood, n.d.). Noutra investigação, foi demonstrado que nesta fase ocorre um pico de alongamento músculo-tendinoso no mesmo momento da contração (Thelen, Chumanov, Best, et al., 2005). A contração excêntrica numa posição de grande alongamento, aliado ao facto de os posteriores da coxa serem responsáveis pela absorção de forças devido à sua natureza bi-articular, coloca os posteriores da coxa numa situação de grande stress; e, como tal, admite-se que possa ser o mecanismo de lesão.

Devido à alta incidência e taxa de reincidência deste tipo de lesões, é de grande importância entender melhor os fatores de risco que predispõem um atleta a este tipo de lesões. Um dos fatores de

risco mais sugeridos é a falta de força muscular dos posteriores da coxa em contrações concêntricas e excêntricas (Mendiguchia et al., 2012). As assimetrias de força, podendo estas ser entre os músculos agonistas e antagonistas (i.e. quadríceps / músculos posteriores da coxa), e bilaterais (i.e. lados esquerdo / direito) (Liu et al., 2012), são também um fator de risco referido na literatura. No entanto, estes fatores de risco parecem ser ainda controversos; e, como tal, mais estudos são necessários (Liu et al., 2012).

Num estudo prévio, verificou-se que, após um jogo de futebol profissional, ocorreu um decréscimo da taxa de produção de força (TPF) dos flexores do joelho (sendo esta diminuição mais marcada numa fase inicial da curva da TPF, entre os 0 e os 50 ms), sem ocorrer uma diminuição da contração isométrica voluntária máxima (CIVM) (Grazioli et al., 2019). Na mesma investigação, verificou-se que não ocorreram alterações na TPF dos músculos extensores do joelho, fazendo com que a relação entre a TPF dos músculos extensores do joelho e dos músculos flexores do joelho também diminuísse (i.e. mais numa fase inicial da curva da TPF do que numa fase mais tardia). Tal efeito não se verificou no mesmo rácio utilizando como critério a CIVM.

Outro fator de risco bastante sugerido em vários estudos é a presença de fadiga muscular (de Visser et al., 2012; Liu et al., 2012; Mendiguchia et al., 2012). A presença de fadiga parece ser um fator de risco preponderante para a ocorrência deste tipo de lesões, na medida em que músculos fatigados tendem a resistir menos ao excessivo alongamento e são, assim, mais susceptíveis a lesões (Mair et al., 1996). Adicionalmente, a fadiga muscular aparenta conduzir a reduções na propriocepção e, no caso dos músculos posteriores da coxa, pode traduzir-se numa maior extensão do joelho, colocando os músculos numa posição de maior susceptibilidade de lesão (Allen et al., 2010). Neste caso, o efeito da fadiga central no decréscimo na TPF é maior do que na CIVM, sendo esse decréscimo mais visível nos primeiros 50 ms (Buckthorpe et al., 2014)

Uma vez que as lesões desta natureza acontecem em frações temporais muito pequenas, e na maioria dos casos na presença de fadiga; e que a maioria das ações de jogo onde este tipo de lesões acontecem se caracterizam por demonstrações de força explosiva (i.e. *sprint*), tem sido sugerido a

avaliação da TPF ao invés da força máxima (Buckthorpe et al., 2014; Tillin et al., 2010), visto que a TPF parece ser um indicador de maior importância e mais sensível no que toca a lesões desta natureza. Um estudo prévio demonstrou que a medição da CIVM unilateral com dinamometria em decúbito ventral se mostrou fiável (Wollin et al., 2016); assim como a TPF demonstrou ser uma medida fiável com dinamómetro de mão fixo para a avaliação dos músculos das coxas em ações de extensão, flexão, adução e abdução (Ishøi et al., 2019). As medidas da TPF são, no entanto, menos fiáveis que as da CIVM, especialmente na fase inicial da contração (Maffiuletti et al., 2016b). São medidas difíceis de obter, uma vez que, se não forem obtidas de forma metódica e cuidadosa, podem não representar uma medida válida e fiável. A revisão narrativa de Maffiuletti et al. (2016) apresentou um conjunto de sugestões metodológicas aquando da medição da TPF tais como, o tipo de tarefa (se a tarefa é específica tendo em conta o que se quer medir, ou se é multiarticular ou uniarticular), a *compliance* dos materiais de fixação do sujeito, a forma como a aquisição dos dados é feita, (se esta é feita com um dispositivo que consiga minimizar o ruído, ou através de um dinamómetro isocinético), o filtro utilizado, o tipo de instrução e o *feedback* verbal, tensão prévia e existência de contramovimento, familiarização, entre outros.

No que se refere à instrução verbal dada aos sujeitos para executar a TPF, um estudo demonstrou que instruir os sujeitos para executarem a contração “o mais rápido possível” (não levando em consideração a quantidade de força demonstrada), leva os sujeitos a apresentar valores de TPF mais elevados, do que instruir os participantes para executarem a contração “forte e rápido” com foco numa contração forte (Jaafar & Lajili, 2018). No entanto, a TPF é, por norma, conjuntamente quantificada com o valor máximo de força, e como tal é sugerido então que a instrução seja “rápido e forte” com ênfase na componente rápida.

1.2 Objetivos do Estudo e Hipóteses

Este estudo teve como objetivos: a) determinar a fiabilidade intra-dia da medida da TPF dos flexores do joelho, realizando o teste unilateralmente ou bilateralmente, e com uma instrução prévia

“rápido e forte” ou “rápido”; b) determinar se o tipo de teste ou instrução usada influenciam o desempenho da TPF. Foram tidas como hipóteses: i) a TPF quantificada bilateralmente com um dinamómetro é mais fiável, ii) a instrução verbal "rápido e forte" é mais fiável, iii) o teste bilateral influencia a TPF e iv) a instrução rápido e forte influencia a TPF

2. Revisão da literatura

2.1 Taxa de Produção de Força: uma breve introdução

A taxa de produção de força (TPF) corresponde à velocidade com que o aumento de força se dá numa contração voluntária rápida a partir de uma condição de repouso. Esta velocidade é derivada da curva de força-tempo e representa seu declive (Aagaard et al., 2002). Esta medida reflete a variação da força muscular pelo tempo, e indica a rapidez com que o músculo desenvolve força muscular (Young & Bilby, 1993). A TPF aparenta estar melhor relacionada com atividades diárias e com a maioria dos desempenhos no âmbito do desporto (Maffiuletti et al., 2010; Tillin et al., 2013). Parece também ser uma medida mais sensível a alterações crónicas e agudas na função neuromuscular, podendo desta forma ser uma medida mais sensível à fadiga e ao dano muscular (Angelozzi et al., 2012; Crameri et al., 2007; Peñailillo et al., 2015)

A TPF é condicionada por determinantes neurais e musculares. No que se refere aos determinantes neurais, destacam-se o recrutamento e a frequência de descarga de unidades motoras (UMs). Em relação aos determinantes musculares, a composição das fibras musculares, a arquitetura muscular, o *stiffness* do complexo músculo-tendinoso e área anatómica transversa do músculo são os determinantes que condicionam a TPF (Maffiuletti et al., 2016a)

Em relação aos determinantes neurais, a TPF é bastante influenciada pela frequência de descarga da UMs, uma vez que uma frequência de descarga aumentada consegue fazer com que as UMs sejam recrutadas a um limiar de excitação mais baixo, sendo, assim, possível aumentar a quantidade de força que se faz numa fase inicial da contração. Isto acontece em contrações balísticas, como por exemplo no caso do músculo tibial anterior, em que todas as UMs são recrutadas numa contração balística e apenas um terço da sua força máxima é empregue (Desmedt & Godaux, 1977). Um estudo mostrou que a TPF continua a aumentar quando estimulada externamente com frequências

de descarga superiores às verificadas numa contração tetânica máxima (Miller et al., 1981). Uma descarga de 100 a 200 Hz aumentou substancialmente a TPF de todas as unidades do grupo de UMs, e estes dados demonstram a importância da frequência de descarga na capacidade de produzir força rapidamente. (Duchateau & Baudry, 2014). Estes valores de frequência de descarga são maiores do que os verificados no momento em que se atinge a força máxima. Estes dados tomados em conjunto ilustram a importância da frequência de descarga na TPF.

No que se refere ao padrão de recrutamento em contrações rápidas, verifica-se que este segue a mesma ordem que se observa em contrações mais lentas, em rampa, cumprindo com o princípio do Tamanho (Henneman et al., 1965 Desmedt & Godaux, 1977). Desta forma, em contrações rápidas, as UM maiores são recrutadas com limiares de excitação mais baixos do que seriam em contrações mais lentas, cumprindo igualmente o princípio do tamanho (Desmedt & Godaux, 1977). A ativação muscular parece ser um fator preponderante para a TPF *in vivo* (Folland et al., 2014; de Ruitter et al., 2004). Um estudo mostrou existir uma relação moderada entre a TPF voluntária nos primeiros 40 ms, e uma contração rápida dos extensores do joelho quando estes são eletricamente estimulados ($r = 0,36$) (Andersen & Aagaard, 2006), sugerindo, assim, que outros mecanismos que não as propriedades intrínsecas do músculo expliquem uma parte da variação da TPF voluntária. No entanto, parece que os fatores neurais são mais importantes em fases iniciais da TPF (25 a 75 ms) e os fatores musculares tomam maior preponderância em fases mais tardias da TPF (50-100 ms) (Folland et al., 2014).

Relativamente aos fatores musculares, uma investigação demonstrou que a força gerada na contração voluntária máxima explica 19, 29, 59 e 78% da variação da TPF voluntária nos primeiros 10, 50, 100 e 200 ms, respectivamente, e está assim fortemente associada à TPF em fases mais tardias na curva (Andersen & Aagaard, 2006). O tipo de fibra muscular é considerado, muitas vezes, um grande fator de influência na TPF muscular, uma vez que a taxa máxima de desenvolvimento do ciclo das pontes cruzadas é um dos fatores que mais limitam a TPF em mamíferos (Fitts & Widrick, 1996), e a taxa de desenvolvimento de tensão é maior nas fibras do tipo II do que do tipo I (Buchthal & Schmalbruch, 1970; Harridge et al., 1996). Este fenómeno acontece, porque as fibras do tipo II têm

uma maior libertação de Ca^{2+} por potencial de ação (Baylor & Hollingworth, 1988) e constantes temporais mais rápidas das correntes de Ca^{2+} , bem como isoformas de miosina, troponina e tropomiosina mais rápidas (Schiaffino & Reggiani, 1996) e dessa forma, formam ciclos das pontes cruzadas mais rápidos (Bottinelli et al., 1996).

O tamanho do músculo e a sua arquitetura também podem estar associados à taxa de produção de força, uma vez que está associada à força máxima (Mirkov et al., 2004). Alguns estudos mostraram que aumentos na área transversa do quadrícipite são acompanhados de aumentos na TPF (Häkkinen et al., 2003; Rønnestad et al., 2012). Deste modo, tudo o que afete a força máxima poderá de certa forma ter impacto na TPF, estando entre vários fatores o tamanho e a arquitetura muscular. Músculos com um ângulo de penação maior têm maior área de secção transversal fisiológica e dessa forma desenvolvem mais força máxima (Aagaard et al., 2001; Blazevich, 2006) e um maior aumento da TPF. Contudo, músculos com um ângulo de penação menor transmitem melhor a força produzida ao tendão no qual se inserem (Maffiuletti et al., 2016a).

Músculos com fascículos maiores poderão ter uma TPF mais lenta, uma vez que exibem uma maior extensão de elementos elásticos em série. A TPF parece estar associada com a complacência dos elementos elásticos em série, e músculos com fascículos maiores podem, teoricamente, ter um aumento de força mais lento (Edman & Josephson, 2007). Há, no entanto, músculos com fascículos mais pequenos, que apresentam TPFs mais lentas quando comparados com outros que têm fascículos maiores. Como é o caso dos flexores plantares, que devido ao facto de terem de transmitir força através da fásia plantar e do tendão de Aquiles, torna a taxa de produção de força mais lenta (Wilkie, 1949). Uma vez que os dados sobre a influência da arquitetura muscular sobre a TPF são controversos, serão necessários mais estudos.

O *stiffness* do tendão (e do complexo músculo-tendinoso) é também um fator que pode influenciar a capacidade do músculo de produzir força. O *stiffness* do tendão é inversamente proporcional ao seu comprimento, logo tecidos mais compridos são mais complacentes e podem, por isso, transmitir forças de forma mais lenta levando assim a uma TPF também mais lenta (Wilkie,

1949). Uma outra investigação mostrou que o *stiffness* do complexo músculo-tendinoso está associado com a TPF em janelas temporais mais tardias. No entanto, este efeito parece estar relacionado com a força máxima, uma vez que quando se normaliza a TPF esta relação com o *stiffness* do complexo músculo-tendinoso não se observa. (Hannah & Folland, 2015).

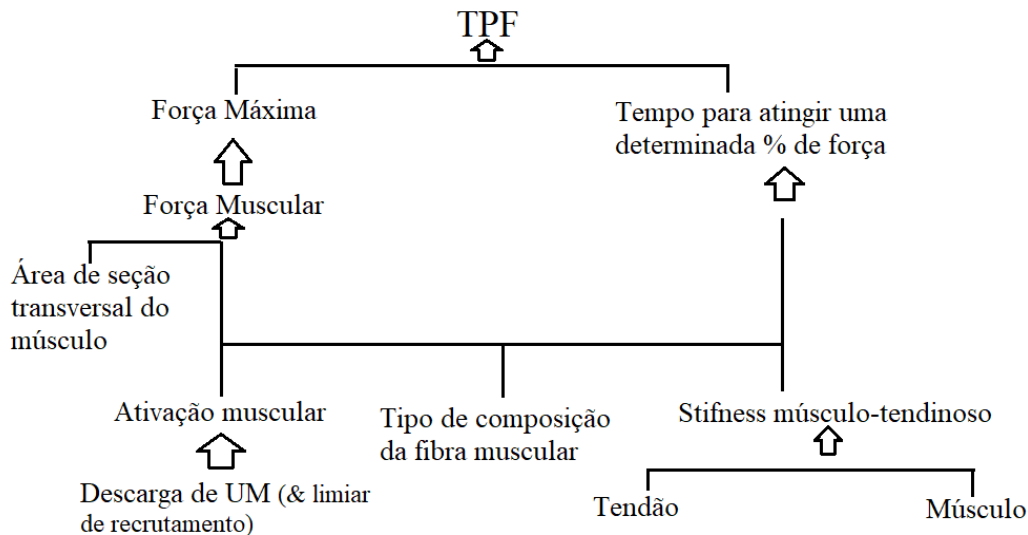


Figura 1. Fatores que influenciam a Taxa de Produção de Força. Adaptado de (Maffiuletti et al., 2016a)

2.2 Fiabilidade da TPF medida com dinamometria

Já ficou demonstrada a fiabilidade da TPF quando se utilizam aparelhos feitos à medida que incorporam células de força (Tillin et al., 2010). Nesta investigação, foi realizada uma tarefa de extensão do joelho, onde os sujeitos estariam “presos” numa cadeira e realizavam uma tarefa de extensão do joelho isométrica contra uma fita colocada na zona do tornozelo, que está presa a uma célula de força. O coeficiente de variação foi 12.8%, 5.7%, e 12.5% para as janelas temporais de 0-50 ms, 50-100 ms e 100-150 ms, respectivamente, obtendo coeficientes de variação bons a excelentes, o que demonstra assim a sua fiabilidade absoluta.

A CIVM demonstrou também ser uma medida fiável com dinamometria fixa externamente (Wollin et al., 2016). Esta pesquisa revelou que, numa posição de decúbito ventral, a CIVM mostrou

ser uma recolha fiável entre diferentes avaliadores, no mesmo dia, e em diferentes semanas com o mesmo avaliador. Nesta pesquisa, os sujeitos estavam deitados sobre uma mesa, com um ângulo de flexão na zona da bacia e realizavam uma tarefa de flexão do joelho contra uma fita colocada na zona do tornozelo que, por sua vez, estava presa a uma célula de força. O coeficiente intraclassa (ICC) combinado para a fiabilidade no mesmo dia e com o diferentes avaliadores foi considerado bom [ICC=0.87 (95% CI = 0.75–0.93)] com uma percentagem do erro padrão de medição (SEM%) de 4.7, e uma percentagem da alteração mínima detectável (MDC%) de 12.9. Para diferentes semanas e com o mesmo avaliador o ICC foi igualmente considerado bom [ICC=0.86 (95% CI, 0.74–0.93)] com uma percentagem do erro padrão de medição (SEM%) de 5.0, e uma percentagem da alteração mínima detectável (MDC%) de 14.

A TPF também demonstrou ser fiável quando medida diretamente na célula de força (Holtermann et al., 2007). Este grupo de investigação utilizou um dispositivo feito para o propósito, no qual os sujeitos se sentavam numa cadeira, e colocavam o seu pé num pedal que estaria ligado a uma célula de força de forma a realizarem uma contração isométrica voluntária máxima. O coeficiente da variação das primeiras 5 repetições da primeira sessão de treino foi de 3.9% para a TPF, e menor do que 7.9% para a TPF em diferentes janelas temporais. Numa meta-análise os investigadores concluíram que a fiabilidade da TPF é mais dependente da variável em estudo (TPF, tempo para o pico da TPF, TPF em vários intervalos temporais) do que do aparelho que se utiliza para recolher a TPF (Hernández-Davó, Jose & Sabido, Rafael. 2014).

2.3 Tipo de tarefa unilateral ou bilateral

A determinação da tarefa com que se mede a TPF é considerada importante, por ser um fator que influencia esta medida e contribui para que seja fiável e representativa. No que concerne à simetria da tarefa com que se mede a TPF, não há estudos que revelem se a medição é mais fiável sendo feita de forma bilateral ou unilateral. Em relação à força máxima, há dois estudos (Opar et al.,

2013; Cuthbert et al., 2021) que apontam para o facto de avaliar esta qualidade física de forma bilateral, nos músculos posteriores da coxa, fazer com que a medida seja mais fiável. Isto porque a TPF está em parte relacionada com a força máxima (i.e. em mais fases tardias da curva Força-Tempo) (Andersen & Aagaard 2006), e como tal admite-se que esta situação também se verifique no que toca à medição da TPF.

Numa investigação feita com um aparelho feito à medida baseado no exercício *Nordic Hamstring Curl*, chegou-se à conclusão de que atletas que não tinham historial de lesão, quando avaliados bilateralmente, obtêm melhores resultados de ICC (i.e. 0.83 a 0.90), do que quando avaliados de forma unilateral (i.e. 0.56 a 0.80) (Opar et al., 2013). Outro grupo de investigação (Cuthbert et al., 2021) chegou a uma conclusão semelhante. Para averiguar dois testes unilaterais e dois testes bilaterais para medir a força máxima, um grupo de vinte e nove jogadoras de futebol realizou três testes isométricos e um *Nordic Hamstring Curl* para averiguar a força excêntrica. Dois dos testes foram realizados em decúbito dorsal fazendo uma ação isométrica de flexão do joelho unilateral a 30 e a 90 graus. O terceiro teste consistiu numa tarefa de flexão do joelho isométrica bilateral a 90 graus em decúbito ventral. Os testes bilaterais foram considerados mais fiáveis entre testes realizados na mesma sessão e entre sessões. Os testes isométricos a 30 e a 90 graus em decúbito dorsal demonstraram uma fiabilidade intra- e entre-sessões fraca a boa na perna esquerda [teste isométrico a 30 graus: ICC=0.76 (IC95%=0.290–0.815); teste isométrico a 90 graus: ICC=0.698 (IC95%=0.274–0.873)]; e uma fiabilidade intra e entre sessões razoável a excelente na perna direita [teste isométrico a 30 graus: ICC=0.857 (IC 95%=0.638–0.941); teste isométrico a 90 graus: ICC=0.798 (IC 95%=0.530–0.914)]. Já o teste realizado em decúbito ventral obteve níveis de fiabilidade intra- e entre-sessões fracos a razoáveis ICC=0.679 (IC 95% = 0.231–0.865) na perna direita, e níveis de fiabilidade intra- e entre-sessões razoáveis a excelentes ICC 0.909 (IC 95% = 0.788–0.962) na perna esquerda. No entanto, o teste realizado bilateralmente teve níveis de concordância moderados e os unilaterais níveis de concordância fracos a razoáveis (Cuthbert et al., 2021).

A CIVM mostrou também ser fiável quando medida unilateralmente, mas quando os resultados foram analisados de forma conjunta (perna esquerda + perna direita) as medidas da CIVM mostraram ser mais fiáveis do que quando analisadas separadamente. Quando os resultados foram combinados, obtiveram-se valores de fiabilidade bons a muito bons $ICC=0.87$ ($IC\ 95\%=0.75-0.93$). Quando se analisaram os resultados de forma independente, os valores de ICC foram considerados pelos investigadores de bons a muito bons na perna dominante $IC=0.91$ ($IC\ 95\%=0.75-0.97$) e maus a muito bons na perna não dominante $ICC=0.83$ ($IC95\%=0.58-0.94$) (Wollin et al., 2016).

Uma outra pesquisa (Hart, Nicolas et al. 2012) sobre a fiabilidade e validade de medidas de força isométrica feitas unilateralmente e bilateralmente, utilizando um aparelho feito à medida com uma plataforma de forças, chegou à conclusão de que apenas o pico de força é fiável nos dois modos de teste. O pico de TPF quase atingiu valores de reprodutibilidade ($CV < 15.2$; $ICC > 0.931$) nas condições bilaterais e unilaterais da perna dominante. Os investigadores atribuíram este resultado ao facto de os sujeitos serem treinados, mas não serem considerados atletas sub-elite ou de elite, e à pouca estabilidade dos materiais (Hart, Nicolas et al. 2012).

Já ficou demonstrado na literatura, que existe um défice bilateral da TPF, e que esse défice é, em parte, explicado devido a uma redução do impulso neural quando os dois membros são solicitados ao mesmo tempo (Van Dieën et al. 2003), o que pode significar que as tarefas unilaterais possam ser mais fiáveis na medição da TPF.

2.4 Feedback verbal e a instrução na medição da TPF

A instrução que é dada aos executantes de uma tarefa com o objectivo de recolher a TPF é importante uma vez que esta pode determinar a qualidade da recolha. Uma investigação concluiu (Bemben et al., 1990) que, quando os executantes foram instruídos para realizarem uma contração isométrica o mais forte e rápido possível, as medidas de TPF máxima eram mais baixas do que quando realizaram a mesma tarefa mas a instrução e foco da execução foi para o fazerem o mais

rápido possível não tendo em conta a magnitude da força demonstrada. Por outro lado, o efeito na CIVM foi o oposto, tendo sido registadas medidas de CIVM mais altas na instrução “*forte e rápido*” e mais baixas na instrução “*rápido*” (Bemben et al., 1990). Resultados semelhantes foram obtidos numa outra investigação; a TPF foi significativamente mais alta (+20-46%) com a instrução “*rápido*” em comparação à instrução “*forte e rápido*”, mas não se verificou o efeito na CIVM, sendo que a instrução não levou a diferenças neste parâmetro (Sahaly et al., 2001).

Além de a instrução influenciar a TPF, pode influenciar também variáveis neuromusculares como a taxa máxima de ativação muscular e o atraso eletromecânico máximo. A primeira variável foi mais elevada com a instrução “*rápido*” e a segunda foi menos elevada na mesma instrução em comparação à instrução “*forte e rápido*”, numa tarefa isométrica de extensores dos joelhos (Jaafar & Lajili, 2018). Um outro estudo que utilizou 4 protocolos num exercício isométrico de extensão do joelho não encontrou diferenças significativas entre a instrução “*rápido*” e “*rápido e forte*” (Schlumberger et al. 1999) citado em (Sahaly et al., 2001).

Uma vez que a TPF tem uma relação com a CIVM (Bellumori et al., 2011), fará sentido manter na instrução uma componente que peça ao sujeito que desenvolva níveis de força elevados. Dessa forma é sugerido que se utilize uma instrução “*rápido e forte*” ao invés de “*forte e rápido*” de forma a que o sujeito manifeste níveis elevados de força e torne a medida da TPF mais representativa (Maffiuletti et al., 2016a).

3. Métodos

3.1 Desenho experimental

Um estudo de fiabilidade teste-reteste foi implementado para atingir o propósito desta investigação. O estudo determinou a fiabilidade para as condições metodológicas: i) duas formas de realizar o teste, bilateral e unilateral; e ii) duas instruções verbais diferentes, “*Rápido*” e “*Rápido e Forte*”. Para o efeito, os participantes do estudo realizaram 2 sessões de testes, com 60 minutos de intervalo entre as sessões.

3.2 Participantes

Catorze sujeitos ativos e saudáveis do sexo masculino, (27.30 ± 6 anos; 174 ± 0.4 cm; 73 ± 8.40 kg) sem historial de lesões nos músculos flexores do joelho foram recrutados para este estudo. O recrutamento foi feito na Faculdade de Motricidade Humana através de contactos pessoais dos investigadores. Aos participantes foi entregue um consentimento informado, bem como informações sobre o projeto e os benefícios da sua participação no mesmo. Foram partilhados também os critérios de inclusão e exclusão. Algumas medidas antropométricas foram recolhidas tais como, altura, massa corporal e comprimento da perna no início da primeira sessão. Este estudo foi realizado no âmbito de um projeto de investigação aprovado pelo comité de ética da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa (#9/2019).

3.3 Equipamento

Dinamometria

O torque flexor do joelho foi medido a uma taxa de amostragem de 1 kHz utilizando um equipamento feito sob medida (Figura 3). Os indivíduos foram posicionados em decúbito ventral, com a bacia em posição neutra e o joelho testado fletido a 30° (0° = extensão total) com a tíbia em posição neutra. O pé do membro testado foi fixado num suporte específico que continha um transdutor de

força (Modelo STC, Vishay Precision, Malvern, PA, EUA; Figura 1) ao nível do calcanhar para recolher a força linear perpendicular à orientação da perna e com o tornozelo a 90°. Os dados de força foram amplificados (Modelo UA73.202, Sensor Techniques, Cowbridge, Reino Unido), convertidos digitalmente (USB-230 Series, Measurement Computing Corporation Norton, MA, EUA), registrados utilizando o software DAQami (v4.1, Measurement Computing Corporation, Norton, MA, EUA), e foram multiplicados pela distância perpendicular entre o centro do transdutor de força e o côndilo lateral femoral para estimar o torque do joelho. *Feedback* visual da produção de força foi fornecido aos indivíduos durante as avaliações.

O ângulo de flexão do joelho foi fixado entre os 30° e 40°, uma vez que ficou demonstrado que o ângulo de flexão do joelho na *late swing phase* será entre os 30° e os 45°, e este será o ângulo no qual o pé contacta com o solo e o mecanismo de lesão ocorre (Thelen, Chumanov, Hoerth, et al., 2005). Para garantir esse ângulo do joelho, a equipa de investigação utilizou um inclinómetro digital (Mourcou et al., 2015).

3.4 Protocolo

Foram recolhidos dados demográficos e antropométricos (i.e. data de nascimento, peso, altura, medida do comprimento da perna) dos sujeitos na primeira sessão de teste. O aquecimento consistiu numa corrida ligeira de 5 minutos; e a familiarização em 2 repetições de teste onde foi providenciado *feedback* visual sobre a linha de base de força e *feedback* verbal. Nas duas sessões de teste, os sujeitos realizaram duas séries de três repetições de flexões isométricas unilaterais do joelho para cada perna, sendo que uma série de três repetições foram realizadas com a instrução verbal “Rápido e Forte” e outra série com a instrução “Rápido”. Ambas as instruções foram realizadas com recurso a *feedback* visual. Os sujeitos também realizaram duas séries de três repetições de uma flexão isométrica do joelho bilateralmente, com as mesmas instruções verbais e *feedback* visual. A ordem das repetições foi aleatória.

Na instrução “Rápido e Forte”, os sujeitos foram instruídos a fazer o máximo de força o mais rápido possível, e que mantivessem a contração isométrica por pelo menos 2 segundos. Na instrução “Rápido”, foi pedido aos sujeitos que exercessem força o mais rápido possível sem prestar grande atenção à quantidade de força desenvolvida, não mantendo a contração isométrica. Os sujeitos descansaram 30 segundos entre as repetições. O teste foi repetido, no mesmo dia, após um intervalo de 60 minutos.

Foi realizada uma inspeção visual para todas as repetições, e excluídas as repetições com resultados TPF negativos (i.e. devido a presença de contramovimento) e anómalos (i.e. com um valor muito baixo) por concluir que as repetições não foram realizadas como esperado (e.g. quando a força não aumentou continuamente dentro dos primeiros 250ms após o início da TPF).

A



B



Figura 3. Dispositivo feito à medida para avaliar a taxa de produção de força na posição de decúbito ventral com dinamometria fixa. Realização do teste (A) unilateral e (B) bilateral.

3.5 Processamento de Dados

Todos os dados relacionados com a TPF foram recolhidos utilizando o software Daqami (v4.2.1, Measuring Computing Corporation, Norton, Massachusetts, EUA). Os dados gerados pelo software foram exportados para um ficheiros .csv, estes ficheiros foram processados utilizando rotinas

Matlab automatizadas (The Mathworks Inc., Natick, Massachusetts, EUA). O momento de início da TPF de todas as repetições foi calculado pelas rotinas Matlab tendo como critério um valor igual a 3 vezes o valor do desvio padrão da linha de base do sinal da força. A TPF foi calculada nas janelas temporais 0-50 ms, 0-100 ms, 50-100 ms, e 100-200 ms em todas as repetições. A melhor repetição em relação a todos os intervalos de tempo foi considerada para análise estatística.

3.6 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o software SPSS (v26, Chicago EUA) e o software Microsoft Excel (vOffice 16, Redmond EUA). A normalidade dos dados foi confirmada através do teste Shapiro-Wilk. A fiabilidade intra-dia foi determinada calculando o coeficiente de correlação intraclass (ICC), e classificados como pobre (ICC<0.5), moderado (ICC=0.5-0.75), bom (ICC=0.75-0.9) e excelente (ICC>0.9) (Koo & Li, 2016). O coeficiente de variação foi igualmente calculado de forma a apurar a fiabilidade absoluta. De notar que os valores dos coeficientes de variação reportados na literatura tendem a ser maiores em fases mais iniciais da TPF (i.e. 12.8-16.6% na janela 0-50ms) e menores em fases mais tardias da TPF (4.5-5.3% na janela 0-100 ms e 4.5-5.1% na janela 0-150 ms (Malffiulletti et al 2016a). O teste de Mauchly foi realizado para verificar a esfericidade. Uma análise de variância com medidas repetidas foi realizada de forma a testar o efeito dos fatores instrução (“rápido” ou “rápido e forte”), exercício (bilateral ou unilateral), e membro (dominante ou não dominante) em quatro intervalos temporais da TPF: 0-50 ms, 0-100 ms, 50-100 ms e 100-200 ms. Foi considerado um nível de significância $p<0.05$.

4. Resultados

O desempenho da TPF (i.e. médias e desvios padrão) para os dois membros nas diferentes condições de teste e reteste (i.e. tipo de instrução e tipo de exercício) está apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Desempenho da taxa de produção de força (N.m/ms) (i.e. médias e desvios padrão) para os dois membros nas diferentes condições de teste e reteste (i.e. tipo de instrução e tipo de exercício).

		Membro direito				Membro esquerdo			
		Rápido e Forte		Rápido		Rápido e Forte		Rápido	
	Janela	Unilateral	Bilateral	Unilateral	Bilateral	Unilateral	Bilateral	Unilateral	Bilateral
TESTE	0-50 ms	0.75 ± 0.22	0.81 ± 0.21	0.82 ± 0.15	0.84 ± 0.29	0.75 ± 0.17	0.72 ± 0.22	0.74 ± 0.17	0.78 ± 0.62
	0-100 ms	0.94 ± 0.26	0.94 ± 0.24	1.03 ± 0.21	0.99 ± 0.28	0.92 ± 0.20	0.88 ± 0.26	0.93 ± 0.20	0.93 ± 0.25
	50-100 ms	1.13 ± 0.31	1.10 ± 0.30	1.24 ± 0.26	1.14 ± 0.28	1.10 ± 0.23	1.04 ± 0.30	1.11 ± 0.23	1.08 ± 0.25
	100-200 ms	0.86 ± 0.21	0.78 ± 0.24	0.91 ± 0.24	0.78 ± 0.17	0.81 ± 0.16	0.77 ± 0.21	0.83 ± 0.17	0.76 ± 0.17
RETESTE	0-50 ms	0.74 ± 0.15	0.75 ± 0.20	0.81 ± 0.19	0.78 ± 0.18	0.73 ± 0.20	0.68 ± 0.21	0.81 ± 0.26	0.71 ± 0.20
	0-100 ms	0.94 ± 0.19	0.91 ± 0.23	1.01 ± 0.22	0.94 ± 0.20	0.91 ± 0.27	0.86 ± 0.26	0.95 ± 0.25	0.88 ± 0.23
	50-100 ms	1.14 ± 0.23	1.07 ± 0.27	1.21 ± 0.26	1.10 ± 0.24	1.09 ± 0.31	1.03 ± 0.32	1.10 ± 0.28	1.05 ± 0.26
	100-200 ms	0.90 ± 0.20	0.77 ± 0.22	0.92 ± 0.25	0.80 ± 0.21	0.83 ± 0.20	0.79 ± 0.21	0.74 ± 0.23	0.79 ± 0.18

Os parâmetros de fiabilidade dos testes de TPF apresentam-se nas tabelas 2 e 3. Quase todos os testes de TPF mostraram valores de ICC entre o moderado e o excelente (ICC=0.52-0.91: CV=6-16%), com excepção dos testes TPF realizados com a instrução “rápido” e de forma bilateral, na janela temporal 100-200 ms (ICC = 0.40; IC 95% = -0.17-0.76). As performances da TPF obtidas bilateralmente demonstraram ser ligeiramente mais reprodutíveis, uma vez que apresentaram, de uma forma geral, melhores resultados dos ICC e coeficientes de variação mais baixos. Adicionalmente, a TPF demonstrou ser ligeiramente mais fiável nas repetições obtidas no membro esquerdo.

Tabela 2. Resultados dos coeficientes intraclasse (e intervalos de confiança a 95%) da taxa de produção de força relativos aos membros esquerdo e direito, em testes realizados com diferentes instruções e modalidades de exercício.

	Membro direito				Membro esquerdo			
	Rápido e Forte		Rápido		Rápido e Forte		Rápido	
	Unilateral	Bilateral	Unilateral	Bilateral	Unilateral	Bilateral	Unilateral	Bilateral
0-50 ms	0.62 [0.14-0.86]	0.75 [0.41-0.91]	0.64 [0.17-0.87]	0.54 [0.06-0.83]	0.71 [0.30-0.90]	0.80 [0.51-0.93]	0.56 [0.10-0.83]	0.83 [0.50-0.95]
0-100 ms	0.70 [0.29-0.90]	0.85 [0.81-0.95]	0.79 [0.46-0.93]	0.76 [0.42-0.92]	0.76 [0.41-0.92]	0.89 [0.69-0.96]	0.75 [0.41-0.91]	0.91 [0.70-0.97]
50-100 ms	0.75 [0.37-0.91]	0.86 [0.64-0.95]	0.83 [0.55-0.94]	0.85 [0.60-0.95]	0.78 [0.46-0.92]	0.91 [0.73-0.97]	0.79 [0.46-0.93]	0.90 [0.74-0.97]
100-200 ms	0.77 [0.44-0.92]	0.69 [0.26-0.89]	0.78 [0.44-0.93]	0.40 [-0.17-0.76]	0.83 [0.55-0.94]	0.82 [0.54-0.94]	0.52 [0.06-0.81]	0.72 [0.33-0.90]

Tabela 3. Resultados dos coeficientes de variação da taxa de produção de força relativos aos membros esquerdo e direito, em testes realizados com diferentes instruções e modalidades de exercício.

	Membro direito				Membro esquerdo			
	Rápido e Forte		Rápido		Rápido e Forte		Rápido	
	Unilateral	Bilateral	Unilateral	Bilateral	Unilateral	Bilateral	Unilateral	Bilateral
0-50 ms	15 ± 8.4 %	11.6 ± 9.6%	8 ± 8.5%	15 ± 11.4%	12.6 ± 8.9%	11.1 ± 9.3%	13.5 ± 10.3%	8.1 ± 6.4%
0-100 ms	12.2 ± 8.2%	8.9 ± 8.2%	6.8 ± 6.7%	9.8 ± 6.3%	11.2 ± 7.2%	8.7 ± 7.8%	9.9 ± 6.8%	5.6 ± 5.1%
50-100 ms	10.4 ± 8.4%	9.2 ± 8%	6 ± 7.1%	7.4 ± 4.5%	10.2 ± 7%	7.8 ± 6.7%	8.7 ± 5.9%	5.9 ± 4.8%
100-200 ms	9.1 ± 7.9%	15.9 ± 9.7%	11.4 ± 7.9%	12.3 ± 12.7%	9.4 ± 5.3%	6.6 ± 4.8 %	11.8 ± 21%	8.9% ± 9%

A tabela 4 apresenta os níveis de significância da análise de variância com medidas repetidas para os fatores instrução e exercício, nas janelas temporais de TPF 0-50 ms, 0-100 ms, 50-100 ms e 100- 200 ms.

Tabela 4. Níveis de significância (p-value) dos fatores (e interação) da *three-way* anova: exercício, membro e instrução.

Intervalo	0-50 ms	0-100 ms	50-100 ms	100-200 ms
Instrução	p = 0,116	p = 0,049*	p = 0,059	p = 0,642
Exercício	p = 0,460	p = 0,612	p = 0,085	p < 0,001*
Membro	p = 0,117	p = 0,099	p = 0,099	p = 0,168
Instrução* Exercício	p = 0,676	p = 0,996	p = 0,655	p = 0,416
Instrução*Membro	p = 0,492	p = 0,399	p = 0,334	p = 0,553
Exercício*Membro	p = 0,224	p = 0,806	p = 0,581	p = 0,130
Instrução*Exercício*Membro	p = 0,154	p = 0,133	p = 0,156	p = 0,825

Legenda: * Estatisticamente significativo ($p < 0,05$).

Não se observou qualquer efeito para as interações entre os fatores instrução, exercício e membro ($p > 0,05$). Observou-se um efeito no fator “instrução” na janela 0-100 ms ($p = 0,049$, potência observada=0,519), com a média dos desempenhos da TPF a ser maior na instrução “rápido”(0.85 ± 0,17 N.m/ms). Observou-se também um efeito no fator “exercício”,na janela temporal 100-200 ms ($p < 0,001$, potência observada=0,99), com a média dos desempenhos da TPF a ser maior no exercício “unilateral”(0.924 ± 0.22 N.m/ms) . Nas restantes análises em outras janelas temporais, não se observou qualquer efeito dos fatores.

5. Discussão

Tanto quanto sabemos, este é o primeiro estudo a comparar a fiabilidade da recolha da TPF com recurso a várias considerações metodológicas. Assim, as principais conclusões desta investigação são: i) a TPF mostrou ser fiável quando medida com as instruções “rápido” e “rápido e forte”; ii) a TPF evidenciou fiabilidade quando recolhida de forma unilateral ou bilateral; iii) foram detetados efeitos dos fatores instrução e exercício sobre a TPF nas janelas temporais dos 0 aos 100 ms e dos 100 aos 200 ms, respetivamente; iv) não foi detetado nenhum efeito das interações entre fatores, e a TPF.

A TPF demonstrou ser fiável quando medida em decúbito ventral e num aparelho feito à medida com células de força. Esta situação também se verifica em investigações anteriores (Neale A. Tillin et al., 2010; Holtermann et al., 2007) realizados com aparelhos feitos à medida e com células de força, onde mostraram que a TPF é medida fiável. Contudo, tanto quanto sabemos, esta investigação foi a primeira a analisar essa condição nos músculos flexores do joelho.

Um achado importante deste estudo foi que, quando medida com recurso a um *onset* que utiliza como parâmetro 3 desvios padrão da linha base de força para determinar o início da produção de força, a TPF revelou ser uma medida fiável, estando em concordância com a literatura (de Ruyter et al., 2004, 2006).

A instrução verbal não parece afetar a reprodutibilidade da TPF, uma vez que não foram vistas diferenças significativas entre valores de ICC e CV entre as diferentes instruções verbais. Sendo que TPF está ligada à força máxima (Mirkov et al., 2004) a expectativa deste estudo era que a TPF fosse mais reprodutível com a instrução “rápido e forte”, uma vez que a instrução continha uma componente “rápido” alusiva à produção de força o mais rapidamente possível e uma componente “forte” alusiva à quantidade de força demonstrada tal como sugerido na literatura (Maffioletti et al., 2016a).

A reprodutibilidade da TPF também não pareceu ser influenciada pelo exercício (i.e unilateral ou bilateral). Apesar de no membro esquerdo a TPF ter demonstrado maiores valores de ICC e CV, a diferença não se mostra significativa; e no membro direito, esta situação não se verifica. Não há estudos na literatura que analisem a reprodutibilidade da TPF unilateral ou bilateralmente, no entanto, CVIM é mais reprodutível em ações bilaterais do que unilaterais (Wollin et al 2016; Cuthbert et al 2021). Uma vez que TPF está ligada à força máxima (Mirkov et al., 2004), a expectativa desta investigação era que a TPF fosse mais reprodutível bilateralmente e tal não se verificou.

O facto de os sujeitos desta investigação serem indivíduos saudáveis e treinados, mas não serem considerados atletas, pode ajudar a explicar a não existência de influência do exercício e da instrução verbal na reprodutibilidade da TPF. Por outro lado, foi visto na literatura que a fiabilidade da TPF é mais dependente da variável em estudo (TPF, tempo para o pico da TPF, TPF em vários intervalos temporais) do que do aparelho que se utiliza para recolher a TPF (Hernández-Davó, Jose & Sabido, Rafael. 2014) e poderá acontecer a mesma situação no que as condições metodológicas diz respeito.

Verificou-se um efeito dos fator instrução sobre a performance da TPF dos 0 aos 100 ms, com a média dos desempenhos da TPF a ser maior na instrução “rápido”, no entanto, tal não se verificou nas restantes janelas temporais. Uma vez que a potência observada é baixa (potência observada=0,519) e o efeito do fator instrução sobre a performance da TPF não se verifica em todas as janelas temporais, considerou-se então este efeito pouco significativo, contrariando o que já foi descrito na literatura (Bemben et al., 1990; Sahaly et al., 2001). Era esperado que a instrução “rápido e forte” exercesse maior efeito na performance da TPF uma vez que os sujeitos são instruídos a fazer força de forma rápida tendo também em conta o nível de força demonstrado, tendo assim em consideração a força máxima, além da velocidade com que a força é exercida. As investigações anteriores analisaram a TPF máxima ao invés da TPF em diferentes janelas temporais e este facto pode ajudar a explicar a ausência de influência deste fator na performance da TPF. Outro facto que

pode ajudar a esclarecer estes resultados prende-se com os sujeitos deste estudo e o facto de estes não serem atletas.

Uma vez que os fatores neurais são mais importantes em fases iniciais da TPF (25 a 75 ms) do que em fases mais tardias (50-100 ms) (Folland et al., 2014) podemos sugerir que se analise a influência deste fator em duas fases temporais distintas, uma mais inicial e uma mais tardia e em populações de atletas.

A forma como o exercício é realizado (i.e bilateral ou unilateral) parece influenciar a TPF dos 100 aos 200ms, sendo a média dos desempenhos da TPF maior quando o exercício é realizado de forma unilateral. O facto de não existir um efeito significativo do exercício, em todas as janelas temporais, bem como a fiabilidade da TPF não ser claramente maior quando medida bilateralmente, leva-nos a crer, que o efeito da interação deste fator com a TPF não tenha tanto impacto na performance da mesma, não indo ao encontro do que era esperado pela presente investigação. Era esperado que o exercício bilateral exercesse maior efeito na performance da TPF uma vez que esta está relacionada com a CIVM (Bellumori et al., 2011) e que parece existir a um impulso neural comum em que o membro dominante recebe atenção focada dos potenciais corticais relacionados ao movimento e o membro não dominante recebe atenção subsidiária (Oda & Moritani, 1996). No entanto tal não se verificou, e pode ser devido ao facto de existir um défice bilateral da TPF, e que esse défice é, em parte, explicado devido a uma redução do impulso neural quando os dois membros são solicitados ao mesmo tempo (Van Dieën et al. 2003).

6. Conclusões

Conclui-se, assim, que a TPF é uma medida considerada fiável. Esta apresentou valores de ICC moderados a excelentes e coeficientes de variação bons a moderados, quando avaliada com dinamometria, tanto bilateral como unilateralmente, e com ambas as instruções “rápido” e “rápido e forte”. A TPF, quando medida bilateralmente no lado esquerdo, apresentou índices de reprodutibilidade relativa mais elevados, no entanto não se considerou este facto significativo. Apesar de existir um efeito dos fatores instrução e exercício com a TPF, dos 0 aos 100 ms e dos 100 aos 200 ms, respectivamente, não se considerou que essa interação fosse relevante. Sugere-se que futuras investigações avaliem a influência da instrução em duas fases temporais distintas, uma mais inicial e uma mais tardia, e em populações de atletas.

7. Referências

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A. M., Wagner, A., Magnusson, S. P., Halkjaer-Kristensen, J., & Simonsen, E. B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *The Journal of Physiology*, 534(Pt. 2), 613–623.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318–1326.
- Allen, T. J., Leung, M., & Proske, U. (2010). The effect of fatigue from exercise on human limb position sense. In *The Journal of Physiology*, 588 (8), 1369–1377.
- Andersen, L. L., & Aagaard, P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 96(1), 46–52.
- Baylor, S. M., & Hollingworth, S. (1988). Fura-2 calcium transients in frog skeletal muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 403, 151–192.
- Bellumori, M., Jaric, S., & Knight, C. A. (2011). The rate of force development scaling factor (RFD-SF): protocol, reliability, and muscle comparisons. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation Cerebrale*, 212(3), 359–369.
- Bemben, M. G., Clasey, J. L., & Massey, B. H. (1990). 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*, 61(1), 96–99.
- Blazevich, A. J. (2006). Effects of physical training and detraining, immobilisation, growth and aging on human fascicle geometry. *Sports Medicine*, 36(12), 1003–1017.
- Blazevich, A. J., Cannavan, D., Horne, S., Coleman, D. R., & Aagaard, P. (2009). Changes in muscle

- force-length properties affect the early rise of force in vivo. *Muscle & Nerve*, 39(4), 512–520.
- Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., & Reggiani, C. (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *The Journal of Physiology*, 495 (Pt 2), 573–586.
- Brooks, J. H. M., Fuller, C. W., Kemp, S. P. T., & Reddin, D. B. (2006). Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(8), 1297–1306.
- Buchthal, F., & Schmalbruch, H. (1970). Contraction times and fibre types in intact human muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 79(4), 435–452.
- Buckthorpe, M., Pain, M. T. G., & Folland, J. P. (2014). Central fatigue contributes to the greater reductions in explosive than maximal strength with high-intensity fatigue. *Experimental Physiology*, 99(7), 964–973.
- Cuthbert, M., Comfort, P., Ripley, N., McMahon, J. J., Evans, M., & Bishop, C. (2021). Unilateral vs. bilateral hamstring strength assessments: comparing reliability and inter-limb asymmetries in female soccer players. *Journal of Sports Sciences* 39(13), 1481–1488.
- de Ruiter, C. J., Kooistra, R. D., Paalman, M. I., & de Haan, A. (2004). Initial phase of maximal voluntary and electrically stimulated knee extension torque development at different knee angles. *Journal of Applied Physiology*, 97(5), 1693–1701.
- de Ruiter, C. J., Van Leeuwen, D., Heijblom, A., Bobbert, M. F., & de Haan, A. (2006). Fast unilateral isometric knee extension torque development and bilateral jump height. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(10), 1843–1852.
- de Ruiter, C. J., Vermeulen, G., Toussaint, H. M., & de Haan, A. (2007). Isometric knee-extensor torque development and jump height in volleyball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1336–1346.
- Desmedt, J. E., & Godaux, E. (1977). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *The Journal of Physiology*, 264(3), 673–693.

- de Visser, H. M., Reijman, M., Heijboer, M. P., & Bos, P. K. (2012). Risk factors of recurrent hamstring injuries: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, *46*(2), 124–130.
- Duchateau, J., & Baudry, S. (2014). Maximal discharge rate of motor units determines the maximal rate of force development during ballistic contractions in human. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 234.
- Edman, K. A. P., & Josephson, R. K. (2007). Determinants of force rise time during isometric contraction of frog muscle fibres. *The Journal of Physiology*, *580*(Pt.3), 1007–1019.
- Folland, J. P., Buckthorpe, M. W., & Hannah, R. (2014). Human capacity for explosive force production: neural and contractile determinants. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *24*(6), 894–906.
- Gabbe, B. J., Finch, C. F., Bennell, K. L., & Wajswelner, H. (2005). Risk factors for hamstring injuries in community level Australian football. *British Journal of Sports Medicine*, *39*(2), 106–110.
- Granacher, U., Gruber, M., & Gollhofer, A. (2009). Resistance training and neuromuscular performance in seniors. *International Journal of Sports Medicine*, *30*(9), 652–657.
- Grazioli, R., Lopez, P., Andersen, L. L., Machado, C. L. F., Pinto, M. D., Cadore, E. L., & Pinto, R. S. (2019). Hamstring rate of torque development is more affected than maximal voluntary contraction after a professional soccer match. *European Journal of Sport Science: EJSS: Official Journal of the European College of Sport Science*, *19*(10), 1336–1341.
- Haider, G., & Folland, J. P. (2014). Nitrate supplementation enhances the contractile properties of human skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *46*(12), 2234–2243.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J., & Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*, *89*(1), 42–52.
- Hannah, R., & Folland, J. P. (2015). Muscle-tendon unit stiffness does not independently affect

- voluntary explosive force production or muscle intrinsic contractile properties. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(1), 87–95.
- Hannah, R., Minshull, C., Buckthorpe, M. W., & Folland, J. P. (2012). Explosive neuromuscular performance of males versus females. *Experimental Physiology*, 97(5), 618–629.
- Harridge, S. D., Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., Reggiani, C., Esbjörnsson, M., & Saltin, B. (1996). Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. *Pflugers Archiv: European Journal of Physiology*, 432(5), 913–920.
- Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF CELL SIZE IN SPINAL MOTONEURONS. *Journal of Neurophysiology*, 28, 560–580.
- Holtermann, A., Roeleveld, K., Vereijken, B., & Ettema, G. (2007). The effect of rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects. *European Journal of Applied Physiology*, 99(6), 605–613.
- Ishøi, L., Hölmich, P., & Thorborg, K. (2019). Measures of hip muscle strength and rate of force development using a fixed handheld dynamometer: intra-tester intra-day reliability of a clinical set-up. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 14(5), 715–723.
- Jaafar, H., & Lajili, H. (2018). The Influence of Verbal Instruction on Measurement Reliability and Explosive Neuromuscular Performance of the Knee Extensors. *Journal of Human Kinetics*, 65, 21–34.
- Johnson, S. T., Kipp, K., Norcross, M. F., & Hoffman, M. A. (2015). Spinal and supraspinal motor control predictors of rate of torque development. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(5), 623–629.
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163.
- Liu, H., Garrett, W. E., Moorman, C. T., & Yu, B. (2012). Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. In *Journal of Sport and Health Science* 1 (2), 92–101.

- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016a). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(6), 1091–1116.
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016b). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, *116*(6), 1091–1116.
- Maffiuletti, N. A., Bizzini, M., Widler, K., & Munzinger, U. (2010). Asymmetry in quadriceps rate of force development as a functional outcome measure in TKA. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, *468*(1), 191–198.
- Mair, S. D., Seaber, A. V., Glisson, R. R., & Garrett, W. E., Jr. (1996). The role of fatigue in susceptibility to acute muscle strain injury. *The American Journal of Sports Medicine*, *24*(2), 137–143.
- Mendiguchia, J., Alentorn-Geli, E., & Brughelli, M. (2012). Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction? *British Journal of Sports Medicine*, *46*(2), 81–85.
- Miller, R. G., Mirka, A., & Maxfield, M. (1981). Rate of tension development in isometric contractions of a human hand muscle. *Experimental Neurology*, *73*(1), 267–285.
- Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., Milanovic, S., & Jaric, S. (2004). Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *European Journal of Applied Physiology*, *91*(2-3), 147–154.
- Mourcou, Q., Fleury, A., Diot, B., Franco, C., & Vuillerme, N. (2015). Mobile Phone-Based Joint Angle Measurement for Functional Assessment and Rehabilitation of Proprioception. *BioMed Research International*, *2015*, 328142.
- Opar, D. A., Piatkowski, T., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2013). A novel device using the Nordic hamstring exercise to assess eccentric knee flexor strength: a reliability and retrospective injury study. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *43*(9), 636–640.
- Orchard, J., & Seward, H. (2002). Epidemiology of injuries in the Australian Football League,

- seasons 1997-2000. *British Journal of Sports Medicine*, 36(1), 39–44.
- Peñailillo, L., Blazeovich, A., Numazawa, H., & Nosaka, K. (2015). Rate of force development as a measure of muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(3), 417–427.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2012). High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1457–1466.
- Rousanoglou, E. N., Herzog, W., & Boudolos, K. D. (2010). Moment-angle relations in the initial time of contraction. *International Journal of Sports Medicine*, 31(9), 651–655.
- Sahaly, R., Vandewalle, H., Driss, T., & Monod, H. (2001). Maximal voluntary force and rate of force development in humans--importance of instruction. *European Journal of Applied Physiology*, 85(3-4), 345–350.
- Schiaffino, S., & Reggiani, C. (1996). Molecular diversity of myofibrillar proteins: gene regulation and functional significance. *Physiological Reviews*, 76(2), 371–423.
- Soda, P., Mazzoleni, S., Cavallo, G., Guglielmelli, E., & Iannello, G. (2010). Human movement onset detection from isometric force and torque measurements: a supervised pattern recognition approach. *Artificial Intelligence in Medicine*, 50(1), 55–61.
- Thelen, D. G., Chumanov, E. S., Best, T. M., Swanson, S. C., & Heiderscheit, B. C. (2005). Simulation of biceps femoris musculotendon mechanics during the swing phase of sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 1931–1938.
- Thelen, D. G., Chumanov, E. S., Hoerth, D. M., Best, T. M., Swanson, S. C., Li, L., Young, M., & Heiderscheit, B. C. (2005). Hamstring muscle kinematics during treadmill sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(1), 108–114.
- Tillin, N. A., Jimenez-Reyes, P., Pain, M. T. G., & Folland, J. P. (2010). Neuromuscular performance of explosive power athletes versus untrained individuals. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(4), 781–790.

- Tillin, N. A., Pain, M. T. G., & Folland, J. (2013). Explosive force production during isometric squats correlates with athletic performance in rugby union players. *Journal of Sports Sciences*, 31(1), 66–76.
- Van Dieën, J. H., Ogita, F., & De Haan, A. (2003). Reduced neural drive in bilateral exertions: a performance-limiting factor? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(1), 111–118.
- Wilkie, D. R. (1949). The relation between force and velocity in human muscle. *The Journal of Physiology*, 110(3-4), 249–280.
- Wollin, M., Purdam, C., & Drew, M. K. (2016). Reliability of externally fixed dynamometry hamstring strength testing in elite youth football players. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 19(1), 93–96.
- Wood, G. A. (n.d.). Biomechanical Limitations to Sprint Running. In *Medicine and Sport Science* (pp. 58–71). <https://doi.org/10.1159/000414398>
- Woods, C. (2004). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. In *British Journal of Sports Medicine* 38 (1), 36–41.
- FITTS, ROBERT H. Ph.D.; WIDRICK, JEFFREY J. Ph.D. Muscle Mechanics, Exercise and Sport Sciences Reviews: January 1996 24 (1), 427-474.
- Hart, Nicolas & Nimphius, Sophia & Cochrane Wilkie, Jodie & Newton, Robert. (2012). Reliability and validity of unilateral and bilateral isometric strength measures using a customized, portable apparatus. *Journal of Australian Strength and Conditioning*. 20 (1), 61-67.
- Hernández-Davó, Jose & Sabido, Rafael. (2014). Rate of force development: reliability, improvements and influence on performance. A review. *European Journal of Human Movement*. 33. 46-69.
- Young, Warren B.; Bilby, Glenn E. The Effect of Voluntary Effort to Influence Speed of Contraction on Strength, Muscular Power, and Hypertrophy Development, *Journal of Strength and*

Conditioning Research: August 1993, 7 (3) , 172-178

Anexos

Testes de normalidade para a amostra

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
RF_UNI_dom_M2_test_0_50	,176	14	,200 [*]	,923	14	,244
RF_UNI_ndom_M2_test_0_50	,109	14	,200 [*]	,971	14	,895
RF_BIL_dom_M2_test_0_50	,146	14	,200 [*]	,978	14	,960
RF_BIL_ndom_M2_test_0_50	,147	14	,200 [*]	,933	14	,337
R_UNI_dom_M2_test_0_50	,185	14	,200 [*]	,911	14	,161
R_UNI_ndom_M2_test_0_50	,101	14	,200 [*]	,980	14	,975
R_BIL_dom_M2_test_0_50	,166	14	,200 [*]	,901	14	,118
R_BIL_ndom_M2_test_0_50	,210	14	,096	,887	14	,074

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Resultados da *Three-way* anova de medidas repetidas da TPF dos 0-50 ms

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: TPF_0_50

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
Instrução	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Exercício	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Exercício	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Exercício * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Exercício * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000

Tests the null hypothesis that the error covariance matrix of the orthonormalized transformed dependent variables is proportional to an identity matrix.

a. Design: Intercept

Within Subjects Design: Instrução + Exercício + Membro + Instrução * Exercício + Instrução * Membro + Exercício * Membro + Instrução * Exercício * Membro

b. May be used to adjust the degrees of freedom for the averaged tests of significance. Corrected tests are displayed in the Tests of Within-Subjects Effects table.

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: TPF_0_50

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Instrução	Sphericity Assumed	,046	1	,046	2,843	,116	,179	2,843	,346
	Greenhouse-Geisser	,046	1,000	,046	2,843	,116	,179	2,843	,346
	Huynh-Feldt	,046	1,000	,046	2,843	,116	,179	2,843	,346
	Lower-bound	,046	1,000	,046	2,843	,116	,179	2,843	,346
Error(Instrução)	Sphericity Assumed	,211	13	,016					
	Greenhouse-Geisser	,211	13,000	,016					
	Huynh-Feldt	,211	13,000	,016					
	Lower-bound	,211	13,000	,016					
Exercício	Sphericity Assumed	,015	1	,015	,581	,460	,043	,581	,109
	Greenhouse-Geisser	,015	1,000	,015	,581	,460	,043	,581	,109
	Huynh-Feldt	,015	1,000	,015	,581	,460	,043	,581	,109
	Lower-bound	,015	1,000	,015	,581	,460	,043	,581	,109
Error(Exercício)	Sphericity Assumed	,328	13	,025					
	Greenhouse-Geisser	,328	13,000	,025					
	Huynh-Feldt	,328	13,000	,025					
	Lower-bound	,328	13,000	,025					
Membro	Sphericity Assumed	,089	1	,089	2,821	,117	,178	2,821	,343
	Greenhouse-Geisser	,089	1,000	,089	2,821	,117	,178	2,821	,343
	Huynh-Feldt	,089	1,000	,089	2,821	,117	,178	2,821	,343
	Lower-bound	,089	1,000	,089	2,821	,117	,178	2,821	,343
Error(Membro)	Sphericity Assumed	,409	13	,031					
	Greenhouse-Geisser	,409	13,000	,031					
	Huynh-Feldt	,409	13,000	,031					
	Lower-bound	,409	13,000	,031					
Instrução * Exercício	Sphericity Assumed	,003	1	,003	,182	,676	,014	,182	,068
	Greenhouse-Geisser	,003	1,000	,003	,182	,676	,014	,182	,068
	Huynh-Feldt	,003	1,000	,003	,182	,676	,014	,182	,068
	Lower-bound	,003	1,000	,003	,182	,676	,014	,182	,068
Error(Instrução*Exercício)	Sphericity Assumed	,211	13	,016					
	Greenhouse-Geisser	,211	13,000	,016					
	Huynh-Feldt	,211	13,000	,016					
	Lower-bound	,211	13,000	,016					
Instrução * Membro	Sphericity Assumed	,004	1	,004	,500	,492	,037	,500	,101
	Greenhouse-Geisser	,004	1,000	,004	,500	,492	,037	,500	,101
	Huynh-Feldt	,004	1,000	,004	,500	,492	,037	,500	,101
	Lower-bound	,004	1,000	,004	,500	,492	,037	,500	,101
Error(Instrução*Membro)	Sphericity Assumed	,092	13	,007					
	Greenhouse-Geisser	,092	13,000	,007					
	Huynh-Feldt	,092	13,000	,007					
	Lower-bound	,092	13,000	,007					
Exercício * Membro	Sphericity Assumed	,010	1	,010	1,633	,224	,112	1,633	,220
	Greenhouse-Geisser	,010	1,000	,010	1,633	,224	,112	1,633	,220
	Huynh-Feldt	,010	1,000	,010	1,633	,224	,112	1,633	,220
	Lower-bound	,010	1,000	,010	1,633	,224	,112	1,633	,220
Error(Exercício*Membro)	Sphericity Assumed	,081	13	,006					
	Greenhouse-Geisser	,081	13,000	,006					
	Huynh-Feldt	,081	13,000	,006					
	Lower-bound	,081	13,000	,006					
Instrução * Exercício * Membro	Sphericity Assumed	,019	1	,019	2,288	,154	,150	2,288	,289
	Greenhouse-Geisser	,019	1,000	,019	2,288	,154	,150	2,288	,289
	Huynh-Feldt	,019	1,000	,019	2,288	,154	,150	2,288	,289
	Lower-bound	,019	1,000	,019	2,288	,154	,150	2,288	,289
Error (Instrução*Exercício*Mem bro)	Sphericity Assumed	,105	13	,008					
	Greenhouse-Geisser	,105	13,000	,008					
	Huynh-Feldt	,105	13,000	,008					
	Lower-bound	,105	13,000	,008					

a. Computed using alpha = ,05

Resultados da *Three-way* anova de medidas repetidas da TPF dos 0-100 ms

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: TPF_0_100

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Greenhouse-Geisser	Epsilon ^b	
						Huynh-Feldt	Lower-bound
Instrução	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Exercício	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Exercício	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Exercício * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Exercício * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000

Tests the null hypothesis that the error covariance matrix of the orthonormalized transformed dependent variables is proportional to an identity matrix.

a. Design: Intercept

Within Subjects Design: Instrução + Exercício + Membro + Instrução * Exercício + Instrução * Membro + Exercício * Membro + Instrução * Exercício * Membro

b. May be used to adjust the degrees of freedom for the averaged tests of significance. Corrected tests are displayed in the Tests of Within-Subjects Effects table.

Resultados da *Three-way* anova de medidas repetidas da TPF dos 0-100 ms

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: TPF_0_100

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Instrução	Sphericity Assumed	,056	1	,056	4,701	,049	,266	4,701	,519
	Greenhouse-Geisser	,056	1,000	,056	4,701	,049	,266	4,701	,519
	Huynh-Feldt	,056	1,000	,056	4,701	,049	,266	4,701	,519
	Lower-bound	,056	1,000	,056	4,701	,049	,266	4,701	,519
Error(Instrução)	Sphericity Assumed	,154	13	,012					
	Greenhouse-Geisser	,154	13,000	,012					
	Huynh-Feldt	,154	13,000	,012					
	Lower-bound	,154	13,000	,012					
Exercício	Sphericity Assumed	,006	1	,006	,270	,612	,020	,270	,077
	Greenhouse-Geisser	,006	1,000	,006	,270	,612	,020	,270	,077
	Huynh-Feldt	,006	1,000	,006	,270	,612	,020	,270	,077
	Lower-bound	,006	1,000	,006	,270	,612	,020	,270	,077
Error(Exercício)	Sphericity Assumed	,306	13	,024					
	Greenhouse-Geisser	,306	13,000	,024					
	Huynh-Feldt	,306	13,000	,024					
	Lower-bound	,306	13,000	,024					
Membro	Sphericity Assumed	,116	1	,116	3,159	,099	,195	3,159	,377
	Greenhouse-Geisser	,116	1,000	,116	3,159	,099	,195	3,159	,377
	Huynh-Feldt	,116	1,000	,116	3,159	,099	,195	3,159	,377
	Lower-bound	,116	1,000	,116	3,159	,099	,195	3,159	,377
Error(Membro)	Sphericity Assumed	,478	13	,037					
	Greenhouse-Geisser	,478	13,000	,037					
	Huynh-Feldt	,478	13,000	,037					
	Lower-bound	,478	13,000	,037					
Instrução * Exercício	Sphericity Assumed	2,519E-7	1	2,519E-7	,000	,996	,000	,000	,050
	Greenhouse-Geisser	2,519E-7	1,000	2,519E-7	,000	,996	,000	,000	,050
	Huynh-Feldt	2,519E-7	1,000	2,519E-7	,000	,996	,000	,000	,050
	Lower-bound	2,519E-7	1,000	2,519E-7	,000	,996	,000	,000	,050
Error(Instrução*Exercício)	Sphericity Assumed	,146	13	,011					
	Greenhouse-Geisser	,146	13,000	,011					
	Huynh-Feldt	,146	13,000	,011					
	Lower-bound	,146	13,000	,011					
Instrução * Membro	Sphericity Assumed	,005	1	,005	,760	,399	,055	,760	,128
	Greenhouse-Geisser	,005	1,000	,005	,760	,399	,055	,760	,128
	Huynh-Feldt	,005	1,000	,005	,760	,399	,055	,760	,128
	Lower-bound	,005	1,000	,005	,760	,399	,055	,760	,128
Error(Instrução*Membro)	Sphericity Assumed	,077	13	,006					
	Greenhouse-Geisser	,077	13,000	,006					
	Huynh-Feldt	,077	13,000	,006					
	Lower-bound	,077	13,000	,006					
Exercício * Membro	Sphericity Assumed	,000	1	,000	,063	,806	,005	,063	,056
	Greenhouse-Geisser	,000	1,000	,000	,063	,806	,005	,063	,056
	Huynh-Feldt	,000	1,000	,000	,063	,806	,005	,063	,056
	Lower-bound	,000	1,000	,000	,063	,806	,005	,063	,056
Error(Exercício*Membro)	Sphericity Assumed	,081	13	,006					
	Greenhouse-Geisser	,081	13,000	,006					
	Huynh-Feldt	,081	13,000	,006					
	Lower-bound	,081	13,000	,006					
Instrução * Exercício * Membro	Sphericity Assumed	,018	1	,018	2,563	,133	,165	2,563	,317
	Greenhouse-Geisser	,018	1,000	,018	2,563	,133	,165	2,563	,317
	Huynh-Feldt	,018	1,000	,018	2,563	,133	,165	2,563	,317
	Lower-bound	,018	1,000	,018	2,563	,133	,165	2,563	,317
Error (Instrução*Exercício*Membro)	Sphericity Assumed	,093	13	,007					
	Greenhouse-Geisser	,093	13,000	,007					
	Huynh-Feldt	,093	13,000	,007					
	Lower-bound	,093	13,000	,007					

a. Computed using alpha = ,05

Estimated marginal means para a variável independente instrução TPF dos 0 aos 100 ms

Estimates

Measure: TPF_0_100

Instrução	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1	,924	,058	,798	1,049
2	,968	,057	,846	1,090

Resultados da *Three-way* anova de medidas repetidas da TPF dos 5-100 ms

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: TPF_50_100

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
Instrução	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Exercício	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Exercício	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Exercício * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Exercício * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000

Tests the null hypothesis that the error covariance matrix of the orthonormalized transformed dependent variables is proportional to an identity matrix.

a. Design: Intercept

Within Subjects Design: Instrução + Exercício + Membro + Instrução * Exercício + Instrução * Membro + Exercício * Membro + Instrução * Exercício * Membro

b. May be used to adjust the degrees of freedom for the averaged tests of significance. Corrected tests are displayed in the Tests of Within-Subjects Effects table.

Resultados da *Three-way* anova de medidas repetidas para TPF dos 50 aos 100 ms

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: TPF_50_100

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Instrução	Sphericity Assumed	,063	1	,063	4,293	,059	,248	4,293	,483
	Greenhouse-Geisser	,063	1,000	,063	4,293	,059	,248	4,293	,483
	Huynh-Feldt	,063	1,000	,063	4,293	,059	,248	4,293	,483
	Lower-bound	,063	1,000	,063	4,293	,059	,248	4,293	,483
Error(Instrução)	Sphericity Assumed	,189	13	,015					
	Greenhouse-Geisser	,189	13,000	,015					
	Huynh-Feldt	,189	13,000	,015					
	Lower-bound	,189	13,000	,015					
Exercício	Sphericity Assumed	,083	1	,083	3,486	,085	,211	3,486	,409
	Greenhouse-Geisser	,083	1,000	,083	3,486	,085	,211	3,486	,409
	Huynh-Feldt	,083	1,000	,083	3,486	,085	,211	3,486	,409
	Lower-bound	,083	1,000	,083	3,486	,085	,211	3,486	,409
Error(Exercício)	Sphericity Assumed	,308	13	,024					
	Greenhouse-Geisser	,308	13,000	,024					
	Huynh-Feldt	,308	13,000	,024					
	Lower-bound	,308	13,000	,024					
Membro	Sphericity Assumed	,142	1	,142	3,149	,099	,195	3,149	,376
	Greenhouse-Geisser	,142	1,000	,142	3,149	,099	,195	3,149	,376
	Huynh-Feldt	,142	1,000	,142	3,149	,099	,195	3,149	,376
	Lower-bound	,142	1,000	,142	3,149	,099	,195	3,149	,376
Error(Membro)	Sphericity Assumed	,587	13	,045					
	Greenhouse-Geisser	,587	13,000	,045					
	Huynh-Feldt	,587	13,000	,045					
	Lower-bound	,587	13,000	,045					
Instrução * Exercício	Sphericity Assumed	,002	1	,002	,209	,655	,016	,209	,071
	Greenhouse-Geisser	,002	1,000	,002	,209	,655	,016	,209	,071
	Huynh-Feldt	,002	1,000	,002	,209	,655	,016	,209	,071
	Lower-bound	,002	1,000	,002	,209	,655	,016	,209	,071
Error(Instrução*Exercício)	Sphericity Assumed	,147	13	,011					
	Greenhouse-Geisser	,147	13,000	,011					
	Huynh-Feldt	,147	13,000	,011					
	Lower-bound	,147	13,000	,011					
Instrução * Membro	Sphericity Assumed	,007	1	,007	1,008	,334	,072	1,008	,154
	Greenhouse-Geisser	,007	1,000	,007	1,008	,334	,072	1,008	,154
	Huynh-Feldt	,007	1,000	,007	1,008	,334	,072	1,008	,154
	Lower-bound	,007	1,000	,007	1,008	,334	,072	1,008	,154
Error(Instrução*Membro)	Sphericity Assumed	,087	13	,007					
	Greenhouse-Geisser	,087	13,000	,007					
	Huynh-Feldt	,087	13,000	,007					
	Lower-bound	,087	13,000	,007					
Exercício * Membro	Sphericity Assumed	,003	1	,003	,320	,581	,024	,320	,082
	Greenhouse-Geisser	,003	1,000	,003	,320	,581	,024	,320	,082
	Huynh-Feldt	,003	1,000	,003	,320	,581	,024	,320	,082
	Lower-bound	,003	1,000	,003	,320	,581	,024	,320	,082
Error(Exercício*Membro)	Sphericity Assumed	,119	13	,009					
	Greenhouse-Geisser	,119	13,000	,009					
	Huynh-Feldt	,119	13,000	,009					
	Lower-bound	,119	13,000	,009					
Instrução * Exercício * Membro	Sphericity Assumed	,020	1	,020	2,263	,156	,148	2,263	,286
	Greenhouse-Geisser	,020	1,000	,020	2,263	,156	,148	2,263	,286
	Huynh-Feldt	,020	1,000	,020	2,263	,156	,148	2,263	,286
	Lower-bound	,020	1,000	,020	2,263	,156	,148	2,263	,286
Error (Instrução*Exercício*Mem bro)	Sphericity Assumed	,116	13	,009					
	Greenhouse-Geisser	,116	13,000	,009					
	Huynh-Feldt	,116	13,000	,009					
	Lower-bound	,116	13,000	,009					

a. Computed using alpha = ,05

Resultados da *Three-way* anova de medidas repetidas da TPF dos 100-200 ms

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: TPF_100_200

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Epsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Lower-bound
Instrução	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Exercício	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Exercício	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Exercício * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Instrução * Exercício * Membro	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000

Tests the null hypothesis that the error covariance matrix of the orthonormalized transformed dependent variables is proportional to an identity matrix.

a. Design: Intercept

Within Subjects Design: Instrução + Exercício + Membro + Instrução * Exercício + Instrução * Membro + Exercício * Membro + Instrução * Exercício * Membro

b. May be used to adjust the degrees of freedom for the averaged tests of significance. Corrected tests are displayed in the Tests of Within-Subjects Effects table.

Resultados da *Three-way* anova para a TPF dos 100 aos 200 ms

Tests of Within-Subjects Effects

Measure: TPF_100_200

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Instrução	Sphericity Assumed	,005	1	,005	,227	,642	,017	,227	,073
	Greenhouse-Geisser	,005	1,000	,005	,227	,642	,017	,227	,073
	Huynh-Feldt	,005	1,000	,005	,227	,642	,017	,227	,073
	Lower-bound	,005	1,000	,005	,227	,642	,017	,227	,073
Error(Instrução)	Sphericity Assumed	,311	13	,024					
	Greenhouse-Geisser	,311	13,000	,024					
	Huynh-Feldt	,311	13,000	,024					
	Lower-bound	,311	13,000	,024					
Exercício	Sphericity Assumed	,177	1	,177	23,510	,000	,644	23,510	,994
	Greenhouse-Geisser	,177	1,000	,177	23,510	,000	,644	23,510	,994
	Huynh-Feldt	,177	1,000	,177	23,510	,000	,644	23,510	,994
	Lower-bound	,177	1,000	,177	23,510	,000	,644	23,510	,994
Error(Exercício)	Sphericity Assumed	,098	13	,008					
	Greenhouse-Geisser	,098	13,000	,008					
	Huynh-Feldt	,098	13,000	,008					
	Lower-bound	,098	13,000	,008					
Membro	Sphericity Assumed	,053	1	,053	2,136	,168	,141	2,136	,273
	Greenhouse-Geisser	,053	1,000	,053	2,136	,168	,141	2,136	,273
	Huynh-Feldt	,053	1,000	,053	2,136	,168	,141	2,136	,273
	Lower-bound	,053	1,000	,053	2,136	,168	,141	2,136	,273
Error(Membro)	Sphericity Assumed	,322	13	,025					
	Greenhouse-Geisser	,322	13,000	,025					
	Huynh-Feldt	,322	13,000	,025					
	Lower-bound	,322	13,000	,025					
Instrução * Exercício	Sphericity Assumed	,011	1	,011	,706	,416	,051	,706	,122
	Greenhouse-Geisser	,011	1,000	,011	,706	,416	,051	,706	,122
	Huynh-Feldt	,011	1,000	,011	,706	,416	,051	,706	,122
	Lower-bound	,011	1,000	,011	,706	,416	,051	,706	,122
Error(Instrução*Exercício)	Sphericity Assumed	,207	13	,016					
	Greenhouse-Geisser	,207	13,000	,016					
	Huynh-Feldt	,207	13,000	,016					
	Lower-bound	,207	13,000	,016					
Instrução * Membro	Sphericity Assumed	,003	1	,003	,371	,553	,028	,371	,087
	Greenhouse-Geisser	,003	1,000	,003	,371	,553	,028	,371	,087
	Huynh-Feldt	,003	1,000	,003	,371	,553	,028	,371	,087
	Lower-bound	,003	1,000	,003	,371	,553	,028	,371	,087
Error(Instrução*Membro)	Sphericity Assumed	,117	13	,009					
	Greenhouse-Geisser	,117	13,000	,009					
	Huynh-Feldt	,117	13,000	,009					
	Lower-bound	,117	13,000	,009					
Exercício * Membro	Sphericity Assumed	,020	1	,020	2,608	,130	,167	2,608	,322
	Greenhouse-Geisser	,020	1,000	,020	2,608	,130	,167	2,608	,322
	Huynh-Feldt	,020	1,000	,020	2,608	,130	,167	2,608	,322
	Lower-bound	,020	1,000	,020	2,608	,130	,167	2,608	,322
Error(Exercício*Membro)	Sphericity Assumed	,100	13	,008					
	Greenhouse-Geisser	,100	13,000	,008					
	Huynh-Feldt	,100	13,000	,008					
	Lower-bound	,100	13,000	,008					
Instrução * Exercício * Membro	Sphericity Assumed	,001	1	,001	,051	,825	,004	,051	,055
	Greenhouse-Geisser	,001	1,000	,001	,051	,825	,004	,051	,055
	Huynh-Feldt	,001	1,000	,001	,051	,825	,004	,051	,055
	Lower-bound	,001	1,000	,001	,051	,825	,004	,051	,055
Error (Instrução*Exercício*Mem bro)	Sphericity Assumed	,131	13	,010					
	Greenhouse-Geisser	,131	13,000	,010					
	Huynh-Feldt	,131	13,000	,010					
	Lower-bound	,131	13,000	,010					

a. Computed using alpha = ,05

Estimated marginal means para a variável independente exercício da TPF dos 100 aos 200 ms

Estimates

Measure: TPF_100_200

Exercício	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1	,852	,046	,752	,951
2	,772	,042	,681	,863