Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde

PEDRO AUGUSTO MACEDO SILVA

Teste de uma repetição máxima: Procedimentos, segurança e evidências científicas

Londrina – Paraná
2026

PEDRO AUGUSTO MACEDO SILVA

Teste de uma repetição máxima: Procedimentos, segurança e evidências científicas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde.

Londrina - Paraná

2026

Teste de uma repetição máxima: Procedimentos, segurança e evidências científicas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera, no Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde, área e concentração em “Dimensões Preventivas do Exercício Físico” como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre conferido pela Banca Examinadora formada pelos professores:

_____
Prof. Dr. Alex Silva Ribeiro
Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera

_____
Prof. Dr. Matheus Amarante do Nascimento
Universidade Estadual do Paraná

_____
Prof. Dr. Robson Chacon Castoldi
Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera

Londrina, 25 de março de 2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, Senhor de toda a sabedoria, por nos conceder o dom do aprendizado e, mais do que isso, o dom de ensinar e transmitir um pouco do nosso conhecimento àqueles que precisam e se interessam. Embora pareça clichê dizer, o conhecimento é a única coisa que jamais nos pode ser tirada. Dessa forma, só tenho a agradecer por esses dons tão maravilhosos.

Em segundo lugar, agradeço à minha mãe, minha maior incentivadora, que sempre acreditou em todas as metas que me propus a alcançar, estando ao meu lado em todos os momentos. Em memória, à minha querida avó Violeta, professora, que me ensinou a ler e a escrever antes mesmo da professora da escola. Tenho certeza de que, onde quer que esteja, olha por mim e torce, lá de cima, por cada vitória alcançada. À minha esposa, Lana, que torceu comigo e esteve presente neste importante momento de conquista.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Alex Silva Ribeiro, um dos pesquisadores mais importantes de nossa área em âmbito mundial. Foi extremamente paciente durante todo o processo e me transmitiu uma enorme bagagem de conhecimento em todas as reuniões. Ainda no início do mestrado, na primeira disciplina ministrada por ele, percebi que gostaria de ser seu orientando. Felizmente, esse plano deu certo, e não tenho palavras para agradecer todo o tempo, dedicação e apoio destinados para que este momento se tornasse possível. Muito obrigado!

Agradeço também aos membros da banca. Ao Prof. Dr. Robson Chacon Castoldi, membro interno do programa de mestrado, que foi meu professor e ministrou suas aulas com excelência, transmitindo o máximo de conhecimento que nós, discentes, pudemos absorver. Se pudesse descrevê-lo em uma frase, seria: “um cara muito gente boa”. Ao membro externo, Prof. Dr. Matheus Amarante do Nascimento, que, com toda seriedade, trouxe excelentes questionamentos, os quais me fizeram refletir sobre muitos aspectos, inclusive sobre a razão de produzir este trabalho e o porquê de estar neste programa de mestrado.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos e alunos, que me escutaram falar sobre o conteúdo da pesquisa tantas vezes, transmitiram boas energias, deram sugestões para a apresentação e para as pesquisas, e fizeram parte de toda essa trajetória: desde a aprovação para ingresso no programa até a data da defesa. Muito obrigado!

PEDRO AUGUSTO MACEDO SILVA

SILVA, P.A.M. **Teste de uma repetição máxima: Procedimentos, segurança e evidências científicas.** 54 páginas. Relatório Técnico. Mestrado Profissional em Exercício Físico na Promoção da Saúde. Centro de Pesquisa em Ciências da Saúde. Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera, Londrina. 2026.

RESUMO

A força muscular é um dos principais componentes da aptidão física, sendo determinante tanto para o desempenho esportivo quanto para a saúde e a funcionalidade ao longo do ciclo de vida. Sua produção resulta da interação entre fatores neurais e estruturais, o que reforça a importância de uma compreensão teórica sólida, aliada a métodos de avaliação válidos e aplicáveis à prática profissional. Nesse contexto, a presente dissertação foi estruturada em dois produtos complementares: um manual técnico-científico sobre treinamento e avaliação da força muscular e um artigo científico original voltado ao desenvolvimento e à validação de equações preditivas de força máxima. O primeiro produto consistiu na elaboração de um manual de força muscular, com o objetivo de sistematizar os principais fundamentos teóricos e práticos do treinamento de força. Foram abordados conceitos essenciais, como a definição de força como grandeza biológica, os fatores determinantes da produção de força (neurais e estruturais), as manifestações da força (máxima, rápida e resistência de força), os tipos de ação muscular e os métodos de avaliação. O manual também contemplou a descrição detalhada do teste de repetição máxima (1RM), incluindo seus procedimentos, critérios de segurança, aplicabilidade e limitações, constituindo material de apoio para estudantes e profissionais da área. O segundo produto consistiu em um estudo original que teve como objetivo desenvolver e validar equações específicas por exercício para a predição do 1RM nos exercícios supino, agachamento e rosca direta em homens treinados recreacionalmente. Participaram do estudo 58 indivíduos, distribuídos em grupos de desenvolvimento e de validação cruzada. Foram realizados testes diretos de 1RM e testes de repetições até a falha com carga correspondente a 80% do 1RM. Modelos de regressão linear múltipla foram utilizados para a construção das equações preditivas, tendo como variáveis independentes a carga e o número de repetições. Os resultados demonstraram elevada capacidade preditiva das equações propostas, com coeficientes de determinação elevados (R^2 entre 0,982 e 0,996) e baixos erros de estimativa. Na validação cruzada, as equações apresentaram concordância com os valores reais de 1RM, com viés desprezível e tamanhos de efeito triviais. Em contrapartida, equações tradicionais amplamente utilizadas apresentaram menor acurácia, evidenciando limitações ao serem aplicadas a diferentes exercícios. Conclui-se que a integração entre um material técnico estruturado e a produção de evidências científicas originais fortalece a formação acadêmica e profissional na área do treinamento de força. Além disso, os resultados do estudo reforçam a importância da especificidade na predição da força máxima, oferecendo alternativas práticas, seguras e cientificamente fundamentadas para a avaliação e a prescrição do treinamento resistido.

Palavras-chave: Aptidão física, aptidão neuromuscular, treinamento resistido, avaliação física, equações preditivas

SILVA, P.A.M. **Maximum repetition test: Procedures, safety, and scientific evidence**. 54 pages. Technical Report. Professional Mastering in Physical Exercise in Health Promotion. Center for Health Sciences Research. Pitágoras Unopar Anhanguera University, Londrina. 2026.

ABSTRACT

Muscular strength is one of the main components of physical fitness, being a determinant for both athletic performance and health and functionality throughout the life cycle. Its production results from the interaction between neural and structural factors, which reinforces the importance of a solid theoretical understanding combined with valid assessment methods applicable to professional practice. In this context, this dissertation was structured into two complementary products: a technical-scientific manual on training and assessment of muscular strength and an original scientific article aimed at developing and validating predictive equations for maximum strength. The first product was a manual on muscular strength, aimed at systematizing the key theoretical and practical fundamentals of strength training. Essential concepts were addressed, such as defining strength as a biological variable, the determinants of strength production (neural and structural), manifestations of strength (maximum, rapid, and endurance), types of muscle action, and assessment methods. The manual also included a detailed description of the one-repetition maximum (1RM) test, including procedures, safety criteria, applicability, and limitations, serving as a support resource for students and professionals in the field. The second product was an original study aimed at developing and validating exercise-specific equations to predict 1RM for the bench press, squat, and biceps curl in recreationally trained men. The study involved 58 individuals, divided into development and cross-validation groups. Direct 1RM tests and repetitions-to-failure tests at 80% of 1RM were performed. Multiple linear regression models were used to construct the predictive equations, with load and number of repetitions as independent variables. Results showed a high predictive capacity of the proposed equations, with high determination coefficients (R^2 between 0.982 and 0.996) and low estimation errors. In cross-validation, the equations demonstrated agreement with actual 1RM values, with negligible bias and trivial effect sizes. Conversely, widely used traditional equations showed lower accuracy, highlighting limitations when applied to different exercises. It is concluded that integrating structured technical material with the production of original scientific evidence strengthens academic and professional training in strength training. Additionally, the study results reinforce the importance of specificity in predicting maximum strength, offering practical, safe, and scientifically grounded alternatives for assessment and resistance training prescription.

Keywords: Physical fitness, neuromuscular fitness, resistance training, physical assessment, predictive equations

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 9
1. Produto Técnico..... **9**
1.1 Força como grandeza biológica..... **10**
1.2 Fatores que afetam a produção de força muscular..... **10**
1.2.1 Fatores nervosos..... **10**
1.2.2 Fatores estruturais..... **13**
1.3 Manifestações da força muscular..... **15**
1.3.1 Força máxima..... **15**
1.3.2 Força rápida..... **18**
1.3.3 Resistência de força..... **20**
1.4 Ação muscular..... **22**
1.4.1 Ação muscular dinâmica..... **22**
1.4.2 Ação muscular estática..... **23**
1.5 Avaliação da força muscular..... **23**
1.5.1 Procedimentos para o teste..... **26**
1.5.2 Critérios gerais para aplicação do teste..... **28**
1.5.3 Aquecimento geral e específico..... **29**
1.5.4 Séries de tentativas máximas..... **29**
1.5.5 Registro e interpretação dos resultados..... **30**
1.5.6 Critérios de segurança..... **30**
1.6 Porque treinar força..... **31**
1.6.1 Saúde..... **32**
1.6.2 Performance..... **33**
1.6.3 Redução de lesões..... **34**
Referências..... **35**
CAPÍTULO 2..... 38
2. Artigo Científico..... **38**
2.1 Abstract..... **38**
2.2 Introduction..... **39**
2.3 Methods..... **40**

2.3.1 Participants..... **40**
2.3.2 Anthropometry..... **41**
2.3.3 Muscular strength..... **41**
2.3.4 Muscular endurance and prediction equations..... **42**
2.3.5 Statistical analysis..... **43**
2.4 Results..... **44**
2.4.1 Sample characteristics..... **44**
2.4.2 Development of predictive equations..... **44**
2.4.3 Cross-validation..... **45**
2.5 Discussion..... **49**
2.6 Conclusion..... **51**
References..... **51**

CAPÍTULO 1

1. PRODUTO TÉCNICO



1.1 Força como grandeza biológica

Para iniciar o estudo sobre força e tipos de força treináveis, faz-se necessário conceituar e diferenciar o termo “força” em significados e áreas de atuação completamente distintos. Para a Física, força é uma interação capaz de alterar o estado de movimento (velocidade) ou a forma de um corpo. Em termos mais simples, força é tudo o que pode empurrar ou puxar um objeto. Porém, na área da Educação Física, a força muscular é uma grandeza biológica que pode ser definida como a capacidade do sistema neuromuscular de produzir tensão contra uma resistência determinada.

O sistema neuromuscular é o conjunto formado pelo sistema nervoso e pelos músculos esqueléticos; juntos, controlam e executam os movimentos voluntários do corpo humano. O sistema neuromuscular é o elo entre o comando nervoso (desde o início do impulso elétrico no cérebro até viajar por cada neurônio, por meio das sinapses) e a resposta muscular, seja a contração ou o relaxamento. Fisiologicamente, a tensão surge quando os filamentos de actina e miosina, dentro das fibras musculares, se integram durante a contração. Sendo assim, a capacidade de produção de tensão é o resultado do estímulo enviado pelo sistema neuromuscular, por meio da ativação neural.

A força muscular constitui uma grandeza biológica essencial para a realização do movimento, sendo determinante tanto para o desempenho físico quanto para a execução das atividades da vida diária. Em resumo, podemos concluir que a tensão muscular é a força gerada por um músculo quando é estimulado (ativado), seja para movimentar, permanecer estático ou resistir a forças externas.

1.2 Fatores que afetam a produção de força muscular

Iniciados os estudos sobre a força e, uma vez definida como grandeza biológica, é necessário abordar os pontos e fatores que a afetam e, nesse caso, consideraremos dois pontos específicos: os fatores nervosos e musculares.

1.2.1 – Fatores nervosos:

Fatores nervosos são fundamentalmente importantes quando falamos sobre a força muscular, especificamente no controle e no desenvolvimento da força. Este tópico se torna ainda mais importante quando o foco são pessoas destreinadas ou com baixa qualidade técnica. No início do treinamento, não conseguimos exigir das pessoas que treinem com a mesma intensidade ou qualidade que uma pessoa já treinada e tecnicamente avançada. Isso se dá porque a capacidade de recrutamento de unidades motoras, a coordenação muscular e a frequência de disparo (taxa de disparo neural) ainda são relativamente baixas em um indivíduo não treinado. Carroll et al. [1] em seu estudo *Neural Adaptations to Resistance Training,* publicado na revista *Sports Medicine,* elencam que o desenvolvimento da força muscular não depende exclusivamente de fatores estruturais do músculo, mas também de adaptações do sistema nervoso. O treinamento de força pode provocar modificações em diferentes níveis do sistema nervoso, incluindo os centros supraspinais, as vias neurais descendentes, os circuitos espinhais e as conexões entre motoneurônios e fibras musculares. Essas adaptações influenciam a forma como os músculos são recrutados e coordenados durante a execução do movimento, contribuindo significativamente para o aumento da força muscular.

Falando sobre fatores nervosos que afetam a força muscular, podemos começar pelo recrutamento das unidades motoras. A unidade motora refere-se ao conjunto formado por um neurônio motor e pelas fibras musculares que o inerva. Para gerar força, o corpo recruta de forma progressiva, primeiro, as menores, fibras do tipo I, logo em seguida as maiores, dos tipos IIa e IIx. Quanto mais unidades motoras forem recrutadas e quanto maior for seu tamanho, maior será a força muscular gerada. Com relação à frequência de disparo (taxa de disparo neural). Um único neurônio pode enviar impulsos mais rapidamente. Quanto maior a frequência de potenciais de ação, maior a somação de contrações; chega-se a um ponto de tetania (contração mantida), gerando uma força mais alta e estável (sem tremulação).

Em seguida, podemos destacar a sincronização das unidades motoras. Com a prática e o treino, as unidades motoras disparam estímulos de forma mais coordenada; isso aumenta o pico de força e a velocidade de produção de força, também chamada de RFD – *Rate of Force Development.* Com várias unidades

motoras disparando simultaneamente e com maior alinhamento temporal, acomete uma melhora significativa na força, especialmente nos estágios iniciais do treino.

O próximo ponto no estudo dos fatores nervosos é a coordenação intra- e intermuscular. Começando pela coordenação intramuscular, trata-se da organização do disparo das unidades motoras no mesmo músculo. Inclui três aspectos que já foram abordados aqui: recrutamento (quantas unidades motoras são acionadas), frequência de disparo (com que rapidez elas disparam) e sincronização (se disparam simultaneamente). Passando ao aspecto intermuscular, temos a coordenação cooperativa de músculos diferentes, trabalhando de forma conjunta num mesmo movimento: agonistas, sinergistas e antagonistas. Pegando como exemplo o supino reto, esta orquestração de diferentes músculos funcionaria da seguinte forma:

- O agonista principal será o peitoral maior, produzindo a maior parte da força de empurrar;

- Sinergistas são tríceps braquial e deltoide anterior, ajudando a completar a extensão de cotovelos e a flexão de ombros;

- Os antagonistas são os músculos das costas, o grande dorsal e os romboides, que atuam de forma estabilizadora e controladora, principalmente na fase excêntrica do movimento.

Esta organização faz com que o movimento seja limpo e controlado, permitindo maior recrutamento muscular e gerando a maior força possível para a execução da tarefa.

O próximo ponto importante é a inibição neural. Possuímos estruturas que atuam de forma inibitória durante a execução do movimento. Estruturas como os órgãos tendinosos de Golgi exercem uma ação de “frenagem” contra a força, evitando lesões. É como se fosse um sistema de proteção do corpo para evitar que façamos movimentos de forma errada. Com o desenvolvimento técnico e o avanço no treinamento, a inibição diminui; ou seja, o corpo entende que o movimento é seguro e, assim, consegue gerar mais força para executar a tarefa pretendida.

1.2.2 – Fatores estruturais:

Além das adaptações neurais, fatores estruturais do músculo exercem influência significativa sobre a capacidade de produção de força muscular. Entre esses fatores, destacam-se o aumento da área de secção transversal das fibras musculares, as alterações na arquitetura muscular e as adaptações nas proteínas contráteis. O treinamento de força promove processos de hipertrofia muscular caracterizados pelo aumento do tamanho das fibras musculares, principalmente das fibras do tipo II, o que contribui diretamente para a elevação da capacidade de gerar tensão muscular. Dessa forma, as adaptações morfológicas do tecido muscular representam um importante determinante dos ganhos de força decorrentes do treinamento resistido [2, 3].

A área de secção transversa afeta diretamente a quantidade de força que o músculo é capaz de produzir; logo, quanto maior o diâmetro do músculo, maior o número de fibras e de pontes cruzadas de actina-miosina disponíveis, ou seja, maior a capacidade de gerar força. Além disso, o aumento da área de secção transversal ocorre por meio da hipertrofia (aumento do volume das fibras). É uma adaptação mais lenta do que as adaptações neurais e tende a demorar semanas ou meses para ocorrer de forma significativa.

Seguindo, temos a arquitetura muscular que consiste no comprimento das fibras, no ângulo de penação e na orientação e disposição das fibras. O comprimento das fibras musculares, mais precisamente o comprimento dos sarcômeros, influencia a quantidade de pontes cruzadas de actina-miosina que podem se formar simultaneamente. A relação comprimento x força decorre da seguinte definição das fibras: quando o músculo está encurtado, os filamentos ficam sobrepostos uns aos outros, reduzindo o número de pontes cruzadas e, consequentemente, gerando menos força. Em um comprimento médio, a sobreposição ideal de actina-miosina é otimizada, permitindo um elevado número de pontes cruzadas e gerando maior força muscular. Já quando o músculo está muito alongado, os filamentos ficam afastados, poucas pontes conseguem se formar e, assim, reduz-se o potencial de produção de força muscular. O ângulo de penação é o ângulo entre as fibras musculares e o tendão. Nem todas as fibras correm paralelamente ao tendão; em muitos músculos, seguem obliquamente, formando um ângulo. Aumentar o ângulo de penação permite

acumular mais fibras em paralelo no mesmo volume de músculo, o que aumenta a capacidade de gerar força. Desta forma, o músculo penado ganha capacidade de força. Por fim, a orientação e a disposição das fibras determinam se o músculo é destinado a produzir força máxima, velocidade, amplitude de movimento ou uma combinação entre eles.

O tipo de fibra muscular é outro fator importante no estudo dos fatores musculares que influenciam a força muscular. As fibras são divididas em três tipos: I, IIa e IIx. Fibras do tipo I são de contração lenta; são as primeiras a serem recrutadas quando o músculo é estimulado. São mais finas em espessura, porém mais resistentes à fadiga muscular, ricas em mitocôndrias, mioglobina e capilares. Usadas predominantemente em estímulos aeróbios (que utilizam oxigênio para produzir energia). Chamadas de fibras vermelhas devido à elevada concentração de mioglobina. Fibras do tipo I são importantes na prática de esportes de longa duração e baixa intensidade, como caminhadas, corridas leves, treinos posturais, mobilidade, equilíbrio, isométricos, etc.

Fibras do tipo II, são as maiores, também chamadas de Fibras de Contração Rápida, e são subdivididas em dois grupos, as do tipo IIa e do tipo IIb ou também chamadas de IIx, aqui usaremos a nomenclatura IIx. Fibras do tipo IIa, possuem as características de contração rápida e moderada resistência à fadiga. Usam o metabolismo aeróbio e anaeróbio como fontes de energia. São também ricas em mitocôndrias e mioglobina, mas menos do que as de tipo I, e possuem coloração vermelha, porém em tom mais claro devido à menor presença de mioglobina. As fibras do tipo IIa são importantes na prática de atividades de média a alta intensidade, como corridas de média distância (metabolismo aeróbio) ou treinos resistidos com carga moderada (metabolismo anaeróbio).

Por fim, fibras do tipo IIx, possuem características de contração muito rápida. Possuem baixa resistência à fadiga, pouca mioglobina e mitocôndrias reduzidas. São usadas predominantemente no metabolismo anaeróbio, servindo de fonte de energia para a glicose. São chamadas de fibras brancas devido à baixa concentração de mioglobina. Fibras de tipo IIx são ideais para esportes que demandam força rápida, como saltos pliométricos, levantamento de peso ou corridas de curta distância (*Sprint*).

Além dos fatores citados acima, devemos considerar outras variáveis que afetam a força, como, por exemplo, a temperatura muscular, que aumenta a velocidade das reações enzimáticas e melhora a eficiência contrátil, o que, consequentemente, aumenta a força de forma moderada. Nesse sentido, fatores um pouco menos importantes ainda podem ser citados, como a hidratação intracelular, o volume muscular momentâneo (a sensação de inchaço que sentimos logo após a execução do exercício) e a fadiga muscular, que, por sua vez, reduz a capacidade de força quando atingida.

1.3 Manifestações da força muscular

A força muscular pode manifestar-se de diferentes formas, dependendo das características do movimento, da velocidade de execução e das exigências impostas pela tarefa motora. No contexto do treinamento físico e do desempenho esportivo, a força costuma ser classificada em diferentes manifestações, como força máxima, força rápida e força resistente. Cada uma dessas manifestações representa a capacidade do sistema neuromuscular de produzir tensão em condições específicas de tempo, intensidade e duração do esforço, o que é fundamental para a compreensão da aplicação prática do treinamento de força em diferentes contextos. A seguir, serão aprofundados os aspectos relacionados aos diferentes tipos de força muscular.

1.3.1 – Força máxima

A força máxima é a maior força que o músculo ou um grupo muscular consegue exercer voluntariamente em uma única ação. Ela representa o limite do sistema neuromuscular, ou seja, o maior pico de recrutamento de fibras musculares que executarão tarefas de puxar, empurrar, levantar ou sustentar, em condições controladas.

A importância da força máxima é enorme, uma vez que é considerada a base para o desenvolvimento de outros tipos de força. Quanto maior a capacidade do indivíduo de desenvolver força máxima, maior será sua capacidade de se mover mais rápido, de saltar mais alto ou até mesmo de suportar cargas por um longo período. Iniciando como base para a força rápida, a velocidade com que um movimento é executado depende da quantidade de força disponível. Um músculo mais forte é

capaz de desempenhar tarefas rapidamente e com menor esforço. Ainda, a força máxima também é considerada a base para o desenvolvimento da resistência à força. Quanto maior a força máxima de um indivíduo, menor será o percentual de esforço relativo necessário para realizar tarefas submáximas. Isso significa que uma pessoa mais forte tem a capacidade de repetir o mesmo movimento por mais tempo com menor fadiga.

Outro ponto importante é salientar que quanto maior a força máxima do indivíduo, menor é o risco de lesões. Músculos fortes têm capacidade estabilizadora mais eficaz e absorvem impactos com maior eficiência, protegendo os ligamentos e os tendões de sobrecargas inesperadas. Devidamente protegidos, os músculos fortes aumentam a autonomia funcional, tornando as atividades do dia a dia mais fáceis e seguras.

Devemos abordar os determinantes da força máxima, uma vez que ela depende de fatores fisiológicos, mecânicos e neurológicos. Entre as principais determinantes, podemos começar pela área de secção transversa. Quanto maior o músculo, presume-se maior capacidade de gerar força. A coordenação intramuscular é muito importante, pois envolve a eficiência com que o sistema nervoso recruta as fibras musculares. Os treinos de força máxima aumentam a capacidade de ativação e de sincronização das unidades motoras. Com esse gancho, ainda precisamos mencionar a coordenação intermuscular, em que músculos diferentes, de forma conjunta, trabalham para a execução daquela tarefa. Músculos diferentes trabalhando de forma harmônica, produzem movimentos mais eficientes, através de uma técnica adequada e a prática avançada otimizando esse fator. Por fim, o tipo de fibra muscular predominante também justifica um desenvolvimento de força máxima elevado. Fibras de contração rápida (tipo II) tendem a ter maior potencial para produzir força máxima. Fatores mecânicos influenciam diretamente a força máxima, primeiramente por meio das alavancas ósseas; a posição das inserções tendíneas determina a vantagem mecânica. Mudanças estruturais, como o comprimento dos ossos, podem favorecer ou dificultar a atingir a força máxima em determinados exercícios. Um exemplo é o tamanho do fêmur, que influencia diretamente o movimento de agachamento e a força que aquela pessoa consegue produzir nesse movimento.

Como podemos aumentar nossa força máxima? Por meio de adaptações neurais e estruturais. As adaptações neurais são iniciais, ocorrendo nas primeiras semanas, e podem incluir: maior recrutamento de unidades motoras, melhora da coordenação na execução dos movimentos, aumento da frequência de disparo e redução da coativação dos antagonistas. Essas adaptações explicam como praticantes de treino de força em seu estágio inicial conseguem aumentar sua força sem aumentar muito o volume muscular. Em seguida, as adaptações musculares ocorrem progressivamente e são notadas após semanas ou meses. Nesta fase, notamos hipertrofia miofibrilar, aumento da densidade de pontes de actina e de miosina, e aumento da área de secção transversal muscular.

O treino para aumento da força máxima deve seguir algumas diretrizes específicas. Começando pela intensidade, deve ser trabalhada na faixa de 85% a 100% do 1RM. Partindo do volume, este deve ser trabalhado em séries mais curtas, de 1 a 5 repetições, em um número maior de séries, de 4 a 8. A densidade deve ser trabalhada em períodos longos, de 2 a 5 minutos, o que é necessário para a recuperação neural e bioenergética. A força máxima é geralmente treinada por meio de movimentos completos e multiarticulares, como agachamento, levantamento terra, supino, remadas e *presses*. Esta manifestação da força é bem comum entre levantadores de peso ou powerlifters, uma vez que esses movimentos são a base dos esportes que praticam.

Para controlar o desenvolvimento da força dos atletas em treinamento, é necessário realizar testes de força máxima constantes. Este teste representa a maior tensão produzida em uma única contração involuntária. O teste mais utilizado para mensurar essa capacidade, é o teste de 1RM, em que o atleta levanta a maior carga possível em uma repetição apenas.

Mas também existem outros testes, como o MVC (*Maximum Voluntary Contraction*) isométrico, que é usado para medir a maior força que uma pessoa consegue produzir sem movimento articular, ou seja, empurrando ou puxando contra uma resistência fixa. Testes indiretos de estimativa também podem ser realizados, como os baseados em repetições submáximas (3-10RM).

1.3.2 – Força rápida

Passando para o tema de força rápida, começamos explicando que é a capacidade do sistema neuromuscular de gerar altos níveis de força no menor tempo possível. Esta manifestação da força é representada pela integração entre a força máxima e a velocidade, sendo de suma importância para ações explosivas, como saltar, correr, lançar ou reagir rapidamente. É uma manifestação da força amplamente influenciada por fatores neurais, musculares, mecânicos e tendíneos.

A velocidade com que a força é produzida afeta diretamente a produção de potência muscular, definida como o produto da força e da velocidade (potência = força × velocidade). Para calcular a força rápida, o teste a ser executado pode ser o que avalia a taxa de desenvolvimento de força (TDF).

Fatores neurais, musculares e mecânicos afetam diretamente a produção de força rápida. Iniciando pelos fatores neurais, que são os mais importantes, a força rápida depende da capacidade de recrutamento rápido de unidades motoras. Este fenômeno depende da capacidade de ativar imediatamente unidades motoras de alto limiar (fibras do tipo II). Sendo assim, quanto mais rápido você as recruta, maior é a TDF. A alta frequência de disparo também é de suma importância; o sistema nervoso dispara rajadas rápidas de potenciais de ação logo no início da contração. Esse estímulo neural inicial é determinante para ações que exigem força rápida. Por fim, a velocidade de transmissão do impulso nervoso é outro ponto importante entre os fatores que determinam a força rápida.

Fatores musculares também têm sua importância ao abordarmos o tema da força rápida. Começando pelo tipo de fibra muscular, a que possui maior capacidade de gerar força rápida é a de tipo II. Fibras de contração rápida conseguem gerar mais força por unidade de tempo, apresentam maior velocidade de encurtamento e maior atividade de ATPase. Nesse sentido, quanto maior for o percentual de fibras rápidas (incluindo os fatores genéticos e treináveis), maior será a força rápida. O comprimento das fibras também é importante, pois fibras mais longas têm maior velocidade de encurtamento, ou seja, maior capacidade de gerar força rapidamente. Assim como em outros tipos de manifestação de força, a arquitetura muscular também se faz importante quando falamos de força rápida. Um maior ângulo de penação aumenta a

capacidade de gerar força, mas pode reduzir a velocidade. O número de sarcômeros em série aumenta a velocidade de encurtamento; portanto, músculos fusiformes, com fibras orientadas longitudinalmente, são mais rápidos na contração.

É importante falarmos também sobre fatores mecânicos e tendíneos, começando pela rigidez tendínea. Tendões mais rígidos transmitem força mais rapidamente, reduzem a “perda” de energia elástica e melhoram o desempenho explosivo. Uso do ciclo alongamento-encurtamento também pode ajudar no desempenho da força rápida, saltos, sprints e pliometria utilizam energia elástica acumulada na fase excêntrica prévia. Por fim, o comprimento inicial ideal é outro fator mecânico importante; como na força máxima, há um ponto ótimo de sobreposição entre actina e miosina que permite maior velocidade de contração.

Como podemos desenvolver a força rápida? Existem várias formas de treinar a força rápida, isolada ou combinada; estes métodos contribuem para o resultado final em termos de velocidade. Podemos começar exemplificando com o treinamento pliométrico. Saltos, quedas com contramovimento e saltos horizontais trabalham o CAE (ciclo alongamento–encurtamento) e aumentam a rigidez tendínea, consequentemente melhorando o desempenho na força máxima, principalmente dos membros inferiores. Levantamentos olímpicos e suas variações do *powerlifting*, possuem altíssima produção de força rápida e envolvem coordenação, velocidade e força. Movimentos como *clean*, *snatch* e *highpull* são exemplos de como desenvolver a força rápida através de movimentos de levantamento de peso olímpico e *powerlifting*. Movimentos balísticos são outra estratégia bastante utilizada para desenvolver a força rápida; arremessos com *medicine balls*, *kettlebell swings*, saltos carregando pesos leves ajudam no desenvolvimento da velocidade. Treinos de força com carga moderada (30 – 60% de 1RM) com intenção máxima, são bastante eficazes em movimentos de agachamento, supino e remada. Executados à velocidade máxima, esses movimentos ajudam no desenvolvimento da força máxima; porém, aqui as cargas são leves a moderadas. Finalizando, treinamentos de sprints e acelerações também são importantes e ideais para desenvolver a força rápida dos membros superiores, especialmente em atletas.

O treinamento de força rápida gera adaptações neurais significativas, como aumento expressivo da taxa de disparo inicial, recrutamento mais rápido das fibras de

tipo II, melhora da coordenação e aumento da excitabilidade corticospinal. Adaptações musculares também são percebidas, possível hipertrofia das fibras de tipo II, aumento da rigidez tendínea e melhora da velocidade de encurtamento. No que toca às adaptações mecânicas, é notório o melhor aproveitamento da energia elástica e a maior eficiência no ciclo alongamento-encurtamento.

Resumindo, a força rápida é a capacidade de gerar força em pouco tempo. Depende de fatores neurais, musculares, tendíneos e mecânicos. Pode ser treinada com pliometria, levantamentos olímpicos, movimentos balísticos e exercícios de força com carga moderada realizados com intenção máxima de velocidade. É decisiva para esportes explosivos, para o desempenho funcional e para a prevenção de quedas e está intimamente relacionada ao nível de força máxima.

1.3.3 - Resistência de Força

A resistência de força é a capacidade do sistema neuromuscular de sustentar níveis moderados de força por um período prolongado ou de repetir contrações submáximas várias vezes antes que ocorra fadiga significativa. Em termos simples: é a capacidade de continuar a gerar força por mais tempo, mesmo diante da queda de energia, do acúmulo de metabólitos e do estresse muscular. Ela integra aspectos de força muscular, metabolismo energético, resistência periférica e tolerância à fadiga.

Fatores metabólicos, musculares, neurais e cardiovasculares determinam a resistência à força. Iniciando pelos fatores metabólicos, quanto mais bem desenvolvidos são os sistemas glicolíticos e oxidativos, maior a capacidade de suportar séries prolongadas. Enquanto o sistema energético está em predomínio glicolítico, o corpo apresenta alta tolerância ao lactato. Quando se encontra em predomínio oxidativo, há maior fornecimento de oxigênio e remoção de metabólitos. Tamponamento metabólico: a capacidade de tolerar e tamponar íons H+, fosfatos inorgânicos e lactato permite manter contrações repetidas sem que a queda de pH iniba a função muscular. Por fim, maior densidade mitocondrial, especialmente nas fibras de tipo I. Este aumento de densidade eleva a produção aeróbia de ATP, essencial para esforços mais prolongados.

Em seguida, vamos abordar os fatores musculares que determinam a resistência de força. Começando pela capilarização aumentada, mais capilares geram melhor entrega de oxigênio, maior remoção de metabólitos e melhor recuperação entre as repetições. Os tipos de fibras musculares influenciam a resistência muscular, uma vez que as fibras de tipo I são mais resistentes, possuem maior capacidade oxidativa e são menos suscetíveis à fadiga muscular. Já as fibras de tipo II são mais rápidas e mais suscetíveis à fadiga, mas podem se tornar mais resistentes com o treinamento. As reservas energéticas musculares também são fatores determinantes para a execução de séries mais longas, em razão do alto consumo de glicogênio muscular. Treinos de altas repetições aumentam a capacidade de estocar glicogênio.

Assim como em outras manifestações da força, a fadiga muscular também afeta negativamente a resistência à força. Ela pode ocorrer por fadiga periférica ou central. A fadiga periférica é fisiológica; decorre do acúmulo de H+ e Pi, reduz a sensibilidade ao Ca no retículo sarcoplasmático e dificulta a propagação do potencial de ação. A fadiga central é neurológica; reduz a capacidade de recrutar unidades motoras ao longo das séries com menor *drive* neural. A resistência à força é justamente a capacidade de postergar esses mecanismos.

Como desenvolver a resistência de força? Assim como os demais tipos de manifestação de força, a resistência de força também é altamente treinável. Nessa situação, recomenda-se o uso de cargas de 40% a 70% do 1RM, com repetições altas, de 15 a 25, e intervalos de 30 a 90 segundos. A chave é colocar o sistema neuromuscular em condições de fadiga progressiva. Métodos específicos são usados de forma constante em treinos de resistência muscular; como mencionado anteriormente, séries com alto volume de repetições estimulam a resistência muscular local. Circuitos em que vários exercícios, em sequência, são realizados com pouco descanso trabalham a força de forma metabólica. Superséries e *dropsets* intensificam o estresse metabólico e aumentam a tolerância à fadiga. Treinos intervalados de força, com períodos de trabalho curtos e repetidos, acompanhados de descanso controlado, são outra estratégia interessante. Por fim, as isometrias prolongadas desenvolvem a resistência isométrica.

Finalizando o estudo de resistência à força, faz-se necessário frisar a importância desta manifestação de força, sendo essencial para o desenvolvimento em

esportes de longa duração, como remo, corrida, natação e ciclismo, e em esportes de contato, como judô, jiu-jitsu, boxe e cross-training, além de treinos funcionais e atividades do cotidiano que exigem esforço repetido, como carregar sacolas, subir escadas, mover objetos, etc. A resistência de força também é um fator importante para a prevenção de lesões, pois músculos resistentes suportam cargas repetidas sem perder estabilidade articular.

1.4 Ação Muscular

A produção de força pelo músculo esquelético ocorre por meio de diferentes tipos de ação muscular, caracterizados pela forma como o músculo desenvolve tensão durante o movimento ou ao tentar resistir a uma carga externa. Essas ações musculares podem ser classificadas principalmente em concêntrica, excêntrica e isométrica, dependendo da relação entre a tensão produzida e a alteração no comprimento do músculo durante a contração. A compreensão dessas diferentes formas de ação muscular é fundamental para a compreensão da mecânica do movimento e para a prescrição adequada do treinamento de força. Neste capítulo, serão abordadas as duas grandes categorias de ação muscular: dinâmica e estática.

1.4.1 – Ação muscular dinâmica

A ação muscular dinâmica ocorre quando o músculo muda de comprimento ao exercer força, produzindo movimento articular. Este tipo de ação divide-se em duas fases principais: excêntrica e concêntrica.

Na fase concêntrica, a ação é caracterizada pelo encurtamento do músculo enquanto ele supera a resistência. Como exemplos, temos: subir a fase positiva do supino (empurrar a barra para cima), elevar o corpo em barra fixa e a fase de subida de um agachamento. Estes exemplos deixam bem claro como identificar a fase concêntrica do movimento. Nesta fase, as características fisiológicas são de extrema importância. Aqui, as pontes cruzadas de actina e miosina encurtam o sarcômero. A força concêntrica máxima é menor que a força excêntrica máxima. Esta fase requer maior gasto energético do que a ação excêntrica.

Na fase excêntrica, a ação ocorre quando o músculo se alonga e gera força. Geralmente para controlar ou frear um movimento imposto pela gravidade ou por uma

carga externa. Exemplos desta fase do movimento são: descer a barra do supino, a fase de descida do agachamento e a fase de descida do *leg press*. Estes exemplos deixam bem claro como identificar a fase excêntrica do movimento; ainda assim, podemos associar a fase excêntrica ao momento em que o músculo está na extensão das fibras musculares. Aqui, a produção de força é maior do que na fase concêntrica. O custo energético é mais baixo. Nesta fase, há maior solicitação de estruturas não contráteis (tendões e tecido conjuntivo) e maior incidência de microlesões musculares.

1.4.2 – Ação muscular estática

A ação muscular estática, também chamada de isométrica, ocorre quando o músculo produz força sem alterar seu comprimento. Ou seja, há tensão, mas não há movimento articular perceptível. Exemplos de ação de força estática são: segurar uma carga na altura do peito sem mover os braços, manter a posição de prancha, empurrar uma parede sem que ela se mova.

É importante abordarmos as características fisiológicas da ação muscular estática. O torque produzido é igual ao torque externo; portanto, não há movimento. Há um alto recrutamento neural, especialmente no controle da estabilidade. O músculo pode gerar forças muito altas, às vezes próximas da força máxima concêntrica. Por fim, a fadiga decorre da restrição do fluxo sanguíneo durante as contrações isométricas intensas e sustentadas.

A ação muscular estática é de suma importância no treinamento, uma vez que melhora a estabilidade articular, é útil em fases de reabilitação nas quais o movimento dinâmico ainda não é recomendado e ajuda a aumentar a força em ângulos articulares específicos.

1.5 Avaliação da Força Muscular:

A avaliação da força muscular constitui etapa fundamental em contextos clínicos, esportivos e de treinamento físico, uma vez que permite quantificar a capacidade funcional do sistema neuromuscular, monitorar adaptações ao treinamento, orientar a prescrição de exercícios e identificar possíveis assimetrias ou limitações musculares. Diversos métodos podem ser utilizados para avaliar a força

muscular, variando quanto ao grau de complexidade, à especificidade, ao custo e à aplicabilidade.

De maneira geral, a força muscular pode ser avaliada por meio de testes laboratoriais e de campo. Entre os métodos laboratoriais, destaca-se a dinamometria isocinética, considerada padrão-ouro para a mensuração do torque muscular, por permitir o controle preciso da velocidade angular e a avaliação detalhada do desempenho muscular. No entanto, seu elevado custo e menor aplicabilidade prática limitam seu uso a ambientes clínicos. A dinamometria manual também é utilizada para avaliar a força, especialmente em contextos de reabilitação e em estudos populacionais.

Nos contextos esportivos e de treinamento de força, os testes dinâmicos com cargas externas são amplamente empregados devido à sua simplicidade, baixo custo e alta especificidade. Esses testes incluem a estimativa da força máxima por meio de repetições máximas (por exemplo, 5RM ou 10RM) e do teste de uma repetição máxima (1RM). Além disso, a força muscular pode ser avaliada de forma indireta por meio de testes funcionais, como saltos verticais, arremessos e testes de potência, que refletem a capacidade de produção de força em tarefas específicas.

Dentre os diferentes métodos disponíveis para a avaliação da força muscular, o teste de 1RM destaca-se como o procedimento mais utilizado para mensurar a força máxima dinâmica, especialmente em exercícios resistidos [4-6].

O teste de 1RM é definido como o maior peso que um indivíduo consegue deslocar voluntariamente, uma única vez, com execução técnica adequada e amplitude de movimento previamente padronizada.

Esse método apresenta elevada validade prática, pois reproduz movimentos comumente empregados no treinamento de força e demonstra boa confiabilidade quando aplicado por meio de protocolos padronizados. Sua execução requer apenas equipamentos básicos, como barras, anilhas ou máquinas de treinamento resistido, o que contribui para seu baixo custo operacional e para sua ampla aplicação tanto em centros de treinamento quanto em pesquisas científicas [4, 6].

Além de sua utilização na mensuração da força máxima, o teste de 1RM é amplamente empregado na prescrição das intensidades de treino em programas de força, servindo como referência para a definição de cargas relativas. O método também permite avaliar a eficácia de programas de treinamento, por meio do monitoramento das alterações na força ao longo do tempo.

Adicionalmente, os valores obtidos no teste de 1RM podem ser utilizados para classificar o nível de treinamento do praticante iniciante, intermediário, treinado ou avançado, com base na relação entre a carga levantada e a massa corporal [7]. Dessa forma, o teste de 1RM fornece informações relevantes tanto para profissionais quanto para pesquisadores, sendo recomendado para o diagnóstico dos níveis de força muscular e para a avaliação dos efeitos de diferentes protocolos de treinamento.

Grgic et al. [6], em uma revisão sistemática, analisaram de forma abrangente a confiabilidade do teste de 1RM em diferentes exercícios, populações e contextos experimentais. Os autores buscaram determinar se o teste de 1RM fornece medidas consistentes da força máxima quando repetido em diferentes momentos, bem como identificar fatores que influenciam essa confiabilidade. Foram incluídos estudos que avaliaram a confiabilidade do teste-reteste do 1RM em pelo menos dois momentos distintos, por meio de exercícios de resistência com pesos livres ou máquinas. A amostra total agregada dos estudos incluídos abrangeu indivíduos de diferentes níveis de treinamento (não treinados, recreacionalmente ativos e treinados), ambos os sexos, além de populações especiais, como idosos e indivíduos com condições clínicas. Os resultados indicaram que o teste de 1RM apresenta excelente confiabilidade teste–reteste, na maioria dos exercícios analisados. Exercícios multiarticulares, como supino reto, agachamento e levantamento terra, demonstraram elevada consistência quando protocolos padronizados foram adotados. Além disso, os autores observaram que a confiabilidade do teste tende a ser ainda maior em indivíduos treinados, possivelmente devido à maior familiaridade com os movimentos, à melhor coordenação neuromuscular e à menor variabilidade técnica entre as sessões. Estudos que utilizaram sessões de familiarização prévias apresentaram menores erros de medida e maior estabilidade dos resultados. Ademais, os autores destacaram que diversos fatores metodológicos podem influenciar a confiabilidade do teste de 1RM, entre eles: experiência prévia com treinamento de força, padronização

do aquecimento e do protocolo de teste, intervalo entre as sessões de teste e reteste, técnica de execução do exercício, motivação e feedback fornecido aos participantes. A ausência de familiarização adequada foi apontada como um dos principais fatores associados à redução da confiabilidade, especialmente em indivíduos não treinados.

A revisão concluiu que o teste de 1RM pode ser considerado um método seguro, confiável e reprodutível para avaliar a força máxima dinâmica, desde que se adotem protocolos bem controlados. Esse achado sustenta o uso do 1RM como medida de referência (padrão-ouro) em estudos que desenvolvem e validam equações preditivas. Além disso, os autores ressaltam que, embora o teste direto de 1RM seja confiável, sua aplicação pode ser limitada em determinados contextos, como em avaliações frequentes, em populações especiais ou em situações que visam minimizar o risco de lesões, reforçando a importância de métodos indiretos validados.

1.5.1 Procedimentos para o teste

O teste consiste, basicamente, em levantar, em uma única repetição, o maior peso possível em determinado exercício [4, 6]. Para isso, em um ou mais exercícios selecionados, serão aplicados pesos progressivamente até atingir a carga máxima, ou seja, aquela que o avaliado consiga superar a resistência oferecida em não mais do que uma única ação voluntária máxima, respeitando um padrão predeterminado de execução. As recomendações para a aplicação de testes de 1RM sugerem que sejam realizadas entre 3 e 5 tentativas por exercício [4]. Tal recomendação baseia-se no pressuposto de que, para obter o desempenho máximo do sistema neuromuscular, é necessário que o indivíduo esteja completamente recuperado do esforço físico realizado anteriormente. O teste é realizado por tentativa e erro; portanto, o uso de várias tentativas pode subestimar a carga máxima no teste de 1RM. Assim, assumindo que o tempo necessário para a execução de uma única ação voluntária máxima seja de poucos segundos, o sistema energético predominante será o fosfagênio (ATP-CP).

Estudos têm indicado que a recuperação dessa via metabólica ocorre em intervalos de 3 a 5 minutos [8, 9]. Por exemplo, Weir et al. [8] analisaram o efeito de intervalos de 1, 3, 5 e 10 minutos entre as tentativas no supino reto. Os resultados indicaram que, com um intervalo de três minutos, nenhuma queda de desempenho foi identificada e que aproximadamente 25% dos participantes não conseguiram repetir

o desempenho após um minuto de descanso. Matuszak et al. [9] também observaram que um intervalo de um minuto resultou em 23,5% de falhas na tentativa seguinte, enquanto um intervalo de três minutos resultou em apenas 5,9% de falhas. Portanto, para garantir que o sistema esteja totalmente recuperado, o intervalo entre as tentativas deve ser de 3 a 5 minutos.

Por ser um teste que exige força máxima, é justo questionar a segurança ortopédica e cardiovascular do 1RM. Nesse sentido, Pollock et al. [10] verificaram a incidência de lesões no teste. Os resultados mostraram 11 lesões entre os 57 participantes (19,3%), enquanto o programa de treinamento de 26 semanas resultou em apenas duas lesões entre os 21 participantes (4,8%). Entretanto, Nichols et al. [11] relataram 2,8% de lesões durante o teste e nenhuma durante o programa de treino. Shaw et al. [12], por sua vez, relataram uma incidência de 2,4% de lesões entre os sujeitos submetidos ao teste de 1RM. Assim, o risco de lesões é reduzido quando os procedimentos seguem as recomendações metodológicas. Em relação à dor muscular tardia, ela é relativamente leve, variando de 1 a 2 pontos em uma escala de 4 pontos [4].

Do ponto de vista cardiovascular, Lovell et al. [13] observaram maiores alterações hemodinâmicas em séries a 50% da carga máxima em comparação com o teste de 1RM. A pressão arterial sistólica e diastólica, assim como a frequência cardíaca, aumentaram mais durante séries com 50% da carga máxima do que durante séries com 1RM. Portanto, o teste de 1RM parece ser um método seguro quanto ao sistema cardiovascular.

O teste de 1RM apresenta boa reprodutibilidade [14]; no entanto, diversos estudos observaram aumento significativo da força entre sessões de teste, mesmo sem treino [14-18]. Esses achados indicam que, para obter uma medida confiável, será necessária uma bateria de avaliações maior para garantir a estabilização da carga. No geral, as investigações têm mostrado que são necessárias entre duas e três sessões para estabilizar a carga, dependendo da população avaliada [4]. Além disso, a estabilização da carga pode depender do tipo de exercício: os mais complexos exigem mais sessões de estabilização do que os mais simples [19]. Por exemplo, Dias et al. [20] verificaram que o tempo de familiarização com o exercício de rosca direta foi menor do que com exercícios multiarticulares mais complexos, como o supino

horizontal e o agachamento. Além disso, o nível de experiência prévia do avaliado na prática do exercício também pode influenciar o número de sessões necessárias para estabilizar a carga. Nesse sentido, Nascimento et al. [14] observaram que mulheres mais experientes em exercícios resistidos precisaram de menos sessões de teste para estabilizar a carga, em comparação com as menos experientes nesse tipo de exercício.

1.5.2 Critérios gerais para aplicação do teste:

A aplicação do teste de 1RM exige cuidados metodológicos específicos para assegurar a validade, a confiabilidade e a segurança dos resultados. Por se tratar de um teste baseado no esforço máximo e no método de tentativa e erro, a padronização dos procedimentos é fundamental.

De forma geral, o avaliado deve estar descansado, hidratado e adequadamente alimentado, evitando esforços extenuantes no mesmo grupo muscular nas 48 a 72 horas anteriores ao teste. O praticante deve apresentar familiarização prévia com o exercício a ser avaliado, dominando o gesto motor exigido, o que reduz o risco de lesões e aumenta a precisão da mensuração. Após as sessões de aprendizagem, recomenda-se realizar de duas a três sessões adicionais para estabilizar as cargas, garantindo valores representativos da força máxima.

A motivação do avaliado é outro fator determinante, uma vez que o teste exige esforço voluntário máximo. Além disso, a experiência do avaliador exerce influência direta sobre os resultados, especialmente na escolha e no ajuste adequado das cargas entre as tentativas. Avaliadores pouco experientes podem subestimar ou superestimar o valor real do 1RM, comprometendo a interpretação dos dados, sobretudo em indivíduos iniciantes, em que a variabilidade tende a ser maior.

Protocolo padronizado para avaliação da força máxima:

Preparação prévia e segurança:

Antes da realização do teste, recomenda-se:

Realizar anamnese prévia, considerando histórico de lesões musculoesqueléticas, condições clínicas e experiência com treinamento de força;

Utilizar vestuário e calçados adequados;

Garantir que os equipamentos estejam corretamente ajustados e em bom estado (barras, anilhas, travas e apoios);

Assegurar a presença de *spotters*, especialmente em exercícios com pesos livres e elevada complexidade técnica, como supino e agachamento;

Explicar claramente o procedimento, a técnica de execução e os sinais de comunicação entre o avaliador e o avaliado.

1.5.3 Aquecimento geral e específico:

O aquecimento deve ser realizado em duas etapas:

Aquecimento geral: 5 a 10 minutos de atividade aeróbia leve a moderada, com o objetivo de elevar a temperatura corporal;

Aquecimento específico:

1 série de 8 a 10 repetições com aproximadamente 40–60% da carga estimada de 1RM;

Após 1 a 2 minutos de descanso, 1 série de 3 a 5 repetições com 60–80% da carga estimada;

Intervalo de 2 a 3 minutos antes do início das tentativas máximas.

1.5.4 Séries de tentativas máximas:

Após o aquecimento, o avaliado deve realizar tentativas únicas, com cargas progressivamente maiores, até atingir a carga máxima em apenas uma repetição. Recomenda-se:

Limitar o número total de tentativas máximas a 3–5, evitando fadiga excessiva;

Ajustar a carga em incrementos de (2,5–10%), conforme o exercício e o nível de treinamento;

Respeitar intervalos de descanso de 3 a 5 minutos entre as tentativas.

A maior carga levantada com execução técnica adequada, amplitude completa de movimento e sem auxílio externo deve ser registrada como o valor de 1RM.

1.5.5 Registro e interpretação dos resultados:

O maior peso levantado com sucesso deve ser registrado como o valor de 1RM. Esse valor pode ser utilizado para:

Classificação do nível de força muscular;

Prescrição de intensidades relativas de treino (%1RM);

Monitoramento da eficácia de programas de treinamento de força;

Comparações longitudinais e entre indivíduos.

1.5.6 - Critérios de segurança

A segurança deve ser considerada prioridade ao longo de todo o processo. Para isso, recomenda-se:

Supervisão direta de profissionais qualificados;

Aplicação preferencial do teste em indivíduos com experiência prévia em treinamento de força;

Uso obrigatório de spotters em exercícios de maior risco;

Interrupção imediata do teste em caso de dor, tontura, desconforto intenso ou perda da técnica;

Respeito aos intervalos de descanso;

Realização do teste em ambiente adequado, organizado e com equipamentos seguros.

Quando esses critérios são respeitados, o teste de 1RM apresenta elevada confiabilidade e segurança, constituindo um método eficaz para a avaliação da força muscular máxima em contextos profissionais e científicos.

1.6 Por que treinar força

O treinamento de força é amplamente reconhecido como um dos componentes fundamentais dos programas de exercício físico. Tradicionalmente associado ao desempenho esportivo, atualmente compreende-se que o desenvolvimento da força muscular desempenha papel central também na promoção da saúde, na manutenção da funcionalidade e na prevenção de lesões.

Além disso, o treinamento de força promove adaptações fisiológicas importantes, envolvendo os sistemas neuromuscular, musculoesquelético e metabólico. Essas adaptações contribuem não apenas para a melhora do desempenho físico, mas também para a prevenção de doenças crônicas e para a redução do risco de lesões.

Podemos usar, como exemplo, estudos científicos com idosos, como o de Nelson et al. [21], que demonstram que a prática regular de treinamento de força está associada a melhorias significativas na qualidade de vida. Em comparação com indivíduos sedentários, idosas que participaram de programas de treinamento resistido apresentaram maior capacidade funcional, melhor desempenho em atividades da vida diária e maior autonomia. Este estudo, realizado com idosas pós-menopausa e com osteoporose, mostrou como os múltiplos riscos de fraturas podem ser alterados quando os pacientes são submetidos a um programa de treinamento de força. Observou-se aumento significativo da força muscular, melhora da mobilidade e maior percepção da qualidade de vida quando comparados a indivíduos não treinados.

Diante desse contexto, o treinamento de força pode ser considerado uma estratégia relevante tanto no âmbito da saúde quanto no desenvolvimento da performance física.

1.6.1 Saúde

O treinamento de força desempenha um papel importante na promoção da saúde e na prevenção de diversas doenças crônicas não transmissíveis. A prática regular de exercícios resistidos está associada a melhorias significativas na composição corporal, no controle metabólico e na capacidade funcional.

Entre os principais benefícios para a saúde, destaca-se o aumento ou a manutenção da massa muscular, fator essencial para o metabolismo energético e a funcionalidade do organismo. Com o avanço da idade, ocorre um processo natural de redução da massa e da força muscular, conhecido como sarcopenia. O treinamento de força é uma das estratégias mais eficazes para atenuar esse processo, contribuindo para a preservação da autonomia funcional.

Blair et al. [22] apontam evidências científicas de que a prática regular de atividade física desempenha um papel importante na prevenção e no controle das doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs), como as doenças cardiovasculares, o diabetes tipo 2 e a obesidade. Estudos comparando indivíduos fisicamente ativos e sedentários demonstram que níveis mais elevados de atividade física estão associados a melhores indicadores de saúde, menor risco de mortalidade e maior capacidade funcional. Dessa forma, a adoção de um estilo de vida ativo constitui uma estratégia fundamental para a promoção da saúde e o manejo de condições crônicas na população.

Outro benefício importante está relacionado à saúde óssea. Exercícios que envolvem sobrecarga mecânica estimulam a formação e a manutenção da densidade mineral óssea, reduzindo o risco de osteopenia e osteoporose. Além disso, o treinamento de força pode contribuir para o controle de fatores de risco cardiometabólicos, como a resistência à insulina, a obesidade e as dislipidemias.

Do ponto de vista funcional, indivíduos com níveis adequados de força apresentam maior facilidade para realizar tarefas do cotidiano, menor risco de quedas e melhor qualidade de vida. Dessa forma, o treinamento de força desempenha um papel relevante nas estratégias de promoção da saúde ao longo do ciclo da vida.

1.6.2 Performance

No contexto do desempenho físico e esportivo, o treinamento de força é considerado uma das bases para o desenvolvimento de diversas capacidades físicas. A melhora da força muscular contribui diretamente para o aprimoramento de habilidades como velocidade, potência e resistência.

Atletas e praticantes de atividade física que apresentam níveis mais elevados de força tendem a produzir maiores níveis de potência muscular, o que se reflete em movimentos mais eficientes e explosivos. Essa relação é particularmente importante em modalidades que exigem aceleração, saltos, mudanças rápidas de direção ou produção elevada de força em curto intervalo de tempo.

Podemos pegar como exemplo a inclusão do treinamento de força em programas de preparação de atletas de Endurance, que têm demonstrado efeitos positivos no desempenho esportivo. O estudo de Paavolainen et al. [23] indica que o desenvolvimento da força muscular pode melhorar a economia de corrida, a capacidade de produção de potência e a eficiência neuromuscular durante o movimento. Em uma investigação realizada com corredores de endurance, observou-se que atletas submetidos a um programa de treinamento de força explosiva apresentaram melhora significativa na economia de corrida e no desempenho em provas quando comparados a atletas que realizaram apenas treinamento aeróbio.

Além disso, o aumento da força muscular pode melhorar a economia de movimento, permitindo que determinadas tarefas sejam realizadas com menor esforço relativo. Isso contribui para um melhor desempenho em atividades físicas prolongadas e para maior eficiência na execução de movimentos específicos.

O treinamento de força também possibilita adaptações neuromusculares importantes, como a melhora do recrutamento de unidades motoras, maior coordenação intermuscular e aumento da capacidade de produção de tensão muscular. Essas adaptações são fundamentais para o desenvolvimento do desempenho em diferentes contextos esportivos e recreacionais.

1.6.3 Redução de lesões

Outro aspecto relevante do treinamento de força está relacionado à redução do risco de lesões. O fortalecimento muscular contribui para maior estabilidade articular e para melhor controle dos movimentos, fatores importantes para a proteção das estruturas musculoesqueléticas.

A inclusão do treinamento de força em programas de preparação física também tem sido associada à redução do risco de lesões esportivas. Evidências científicas indicam que o fortalecimento muscular contribui para maior estabilidade articular, melhor controle neuromuscular e maior capacidade de absorção de cargas durante a prática esportiva. Em uma revisão sistemática com meta-análise abrangendo diferentes modalidades esportivas, observou-se que programas de treinamento de força reduziram significativamente a incidência de lesões, evidenciando o papel preventivo do fortalecimento muscular no contexto esportivo [24].

Músculos mais fortes são capazes de absorver e dissipar melhor as forças aplicadas ao corpo durante atividades físicas e esportivas. Isso reduz a sobrecarga sobre ligamentos, tendões e articulações, diminuindo a probabilidade de lesões.

Além disso, o treinamento de força contribui para o equilíbrio entre diferentes grupos musculares, o que favorece o alinhamento biomecânico adequado durante a execução de movimentos. Desequilíbrios musculares podem aumentar o risco de lesões, especialmente em atividades que envolvem movimentos repetitivos ou de alta intensidade.

Programas de treinamento que incluem exercícios de força também podem melhorar a propriocepção, o controle motor e a estabilidade corporal, aspectos importantes para a prevenção de lesões tanto em atletas quanto na população em geral.

Portanto, quando planejado e executado adequadamente, o treinamento de força não apenas melhora a capacidade física, mas também atua como importante ferramenta de prevenção, contribuindo para a prática segura de atividades físicas e esportivas.

Referências:

1. Carroll TJ, Riek S, Carson RG. Neural adaptations to resistance training: implications for movement control. Sports Med. 2001;31(12):829-40.
2. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The importance of muscular strength: Training considerations. Sports Med. 2018;48(4):765-85.
3. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. Sports Med. 2016;46(10):1419-49.
4. Ritti-Dias RM, Avelar A, Menêses AL, Salvador EP, Silva DRP, Cyrino ES. Segurança, reprodutibilidade, fatores intervenientes e aplicabilidade de testes de 1-RM. Motriz. 2013;19(1):231-42.
5. Seo DI, Kim E, Fahs CA, Rossow L, Young K, Ferguson SL, et al. Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. J Sports Sci Med. 2012;11(2):221-5.
6. Grgic J, Lazinica B, Schoenfeld BJ, Pedisic Z. Test-retest reliability of the one-repetition maximum (1RM) strength assessment: a systematic review. Sports Med Open. 2020;6(1):31.
7. Santos Junior ERT, de Salles BF, Dias I, Ribeiro AS, Simão R, Willardson JM. Classification and determination model of resistance training status. Strength Cond J. 2021;43(5):77-86.
8. Weir JP, Wagner LL, Housh TJ. The effect of rest interval length on repeated maximal bench presses. J Strength Cond Res. 1994;8(1):58-60.
9. Matuszak ME, Fry AC, Weiss LW, Ireland TR, McKnight MM. Effect of rest interval length on repeated 1 repetition maximum back squats. J Strength Cond Res. 2003;17(4):634-7.
10. Pollock ML, Carroll JF, Graves JE, Leggett SH, Braith RW, Limacher M, et al. Injuries and adherence to walk/jog and resistance training programs in the elderly. Med Sci Sports Exerc. 1991;23(10):1194-200.
11. Nichols JF, Omizo DK, Peterson KK, Nelson KP. Efficacy of heavy-resistance training for active women over sixty: muscular strength, body composition, and program adherence. J Am Geriatr Soc. 1993;41(3):205-10.
12. Shaw CE, McCully KK, Posner JD. Injuries during the one repetition maximum assessment in the elderly. J Cardiopulm Rehabil. 1995;15(4):283-7.

13. Lovell DI, Cuneo R, Gass GC. The blood pressure response of older men to maximum and sub-maximum strength testing. J Sci Med Sport. 2011;14(3):254-8.
14. Amarante do Nascimento M, Ribeiro AS, Padilha CS, Silva DRP, Mayhew JL, Campos Filho MGA, et al. Reliability and smallest worthwhile difference in 1RM tests according to previous resistance training experience in young women. Biol Sport. 2017;34:279-85.
15. Amarante do Nascimento M, Borges Januario RS, Gerage AM, Mayhew JL, Cheche Pina FL, Cyrino ES. Familiarization and reliability of one repetition maximum strength testing in older women. J Strength Cond Res. 2013;27(6):1636-42.
16. Ribeiro AS, Nascimento MA, Mayhew JL, Ritti-Dias RM, Avelar A, Okano AH, et al. Reliability of 1RM test in detrained men with previous resistance training experience. Isokinet Exerc Sci. 2014;22:137-43.
17. Ribeiro AS, Nascimento MA, Salvador EP, Gurjão ALD, Ritti-Dias RM, Mayhew JL, et al. Reliability of one-repetition maximum test in untrained young adult men and women. Isokinet Exerc Sci. 2014;22:175-82.
18. Soares-Caldeira LF, Ritti-Dias RM, Okuno NM, Cyrino ES, Gurjao AL, Ploutz-Snyder LL. Familiarization indexes in sessions of 1-RM tests in adult women. J Strength Cond Res. 2009;23(7):2039-45.
19. Cronin JB, Henderson ME. Maximal strength and power assessment in novice weight trainers. J Strength Cond Res. 2004;18(1):48-52.
20. Dias RMR, Cyrino ES, Salvador EP, Soares-Caldeira LF, Nakamura FY, Papst RR, et al. Influência do processo de familiarização para avaliação da força muscular em testes de 1-RM. Rev Bras Med Esporte. 2005;11(1):34-8.
21. Nelson ME, Fiatarone MA, Morganti CM, Trice I, Greenberg RA, Evans WJ. Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A randomized controlled trial. JAMA. 1994;272(24):1909-14.
22. Blair SN, Kohl HW, 3rd, Paffenbarger RS, Jr., Clark DG, Cooper KH, Gibbons LW. Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. JAMA. 1989;262(17):2395-401.
23. Paavolainen L, Hakkinen K, Hamalainen I, Nummela A, Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. J Appl Physiol (1985). 1999;86(5):1527-33.

24. Lauersen JB, Andersen TE, Andersen LB. Strength training as superior, dose-dependent and safe prevention of acute and overuse sports injuries: a systematic review, qualitative analysis and meta-analysis. Br J Sports Med. 2018;52(24):1557-63.

CAPÍTULO 2

2 ARTIGO CIENTÍFICO

Development and cross-validation of exercise-specific equations to predict one-repetition maximum in bench press, squat, and arm curl in recreationally trained men

Running head: Exercise-Specific 1RM Prediction

2.1 Abstract

Purpose: This study aimed to develop and cross-validate exercise-specific equations to predict one-repetition maximum (1RM) in the bench press (BP), squat (SQ), and arm curl (AC) in recreationally trained men, and to compare their accuracy with commonly used prediction equations. **Methods**: Fifty-eight recreationally trained men were randomly allocated into a development group (n = 37) and a cross-validation group (n = 21). Participants performed direct 1RM tests and a repetition-to-failure test at 80% of 1RM for BP, SQ, and AC. Multiple linear regression analyses were conducted in the development sample, using test load and number of repetitions as predictors, to generate new equations. **Results**: The newly developed equations showed good predictive accuracy (R^2 = 0.982–0.996; SEE = 0.84–2.23 kg). The equations were: BP: 1RM = −4.248 + (1.254 × load) + (0.288 × reps); SQ: 1RM = −6.981 + (1.255 × load) + (0.373 × reps); AC: 1RM = −5.953 + (1.331 × load) + (0.321 × reps). In cross-validation, the new equations did not differ from measured 1RM in any exercise (p > 0.05), demonstrated negligible bias (−0.27 to 0.51 kg), narrow limits of agreement, minimal percentage differences (−0.7% to 0.4%), and trivial ES (−0.03 to 0.02). Most traditional equations systematically overestimated BP and SQ and underestimated AC. **Conclusion**: The proposed equations provide accurate, reliable, and exercise-specific estimates of 1RM in recreationally trained men and represent a practical alternative to direct maximal strength testing.

Keywords: Maximal strength; repetition to failure testing; prediction models; resistance exercise; cross-validation

2.2 Introduction

Muscular strength is a fundamental component of physical fitness, playing a pivotal role in functional capacity, health, longevity, and disease prevention [1-3]. Adequate strength levels are associated with decreased morbidity, increased autonomy, and improved physical performance across various sports disciplines [2, 4-6]. Consequently, accurate assessment of maximal strength is essential for exercise prescription, monitoring training adaptations, and evaluating physical performance.

The one-repetition maximum (1RM) test is widely regarded as the gold standard for assessing maximal dynamic strength due to its simplicity, low cost, and applicability to various resistance exercises [7, 8]. However, direct 1RM testing may not always be feasible in practical or clinical settings due to time constraints, the need for multiple familiarization sessions, and concerns about safety and musculoskeletal stress. As a result, prediction equations based on submaximal loads and repetitions to failure have been proposed as practical alternatives for estimating maximal dynamic strength [9-13].

Despite their widespread use, an important limitation of most 1RM prediction equations is that they were developed using specific exercises, most commonly the bench press and squat, and later generalized to other movements, which compromises their generalizability to other multi- and single-joint movements. Evidence indicates that prediction accuracy varies significantly across exercises, with studies revealing inconsistent results when equations developed for one exercise are applied to others, particularly between upper- and lower-body movements [14-16]. Furthermore, a recent meta-regression analysis demonstrated that the relationship between repetitions-to-failure and the percentage of 1RM varies systematically across exercises, highlighting the need for exercise-specific prediction models [17].

Moreover, the accuracy of 1RM prediction equations may change with resistance-training adaptations. Longitudinal investigations have demonstrated that while some equations improve their agreement with actual 1RM values after a structured training program, others exhibit reduced accuracy over time. [13, 14]. For example, Ribeiro et al. [14] showed that some equations exhibited minimal bias both before and after training, whereas others that were accurate at baseline became significantly biased after training, or vice versa. These findings reinforce that prediction equations do not respond uniformly to changes in training status, likely reflecting alterations in strength–endurance relationships and fatigue resistance. Consequently, the validity of a given equation may depend not only on the exercise tested but also on

the individual's training history, underscoring the need for exercise-specific and population-specific validation of 1RM prediction models.

Furthermore, many equations derived from samples composed predominantly of athletes or highly trained individuals [18-21]; thus, there is little information regarding moderately trained individuals. Training status influences the load–repetition relationship [22], therefore affecting the accuracy of submaximal 1RM estimation (Reynolds et al., 2006).

Despite decades of investigation, recent studies continue to demonstrate inconsistent findings regarding the accuracy and agreement of prediction equations across exercises, populations, and methodological approaches, reinforcing that this remains an open and relevant research topic [14, 15, 23]. Therefore, the purpose of this study was to develop and cross-validate exercise-specific equations to predict one-repetition maximum (1RM) in the bench press (BP), squat (SQ), and arm curl (AC) in recreationally trained men, and to compare their accuracy with that of commonly used prediction equations.

2.3 Methods

2.3.1 Participants

A total of 58 recreationally trained men were recruited for this study. All participants had prior experience with resistance training and had trained continuously for at least 4 months, with a minimum of 3 sessions per week. Participants were randomly allocated into a development group (~60%, n = 37) and a cross-validation group (~40%, n = 21) for the construction and validation of the predictive equations, respectively.

Before participation, all individuals completed a detailed health history questionnaire. Participants were included only if they were apparently healthy, did not present signs or symptoms of cardiovascular, metabolic, or musculoskeletal disease, were not using medications or nutritional supplements, did not report the use of androgenic–anabolic steroids, had no current injuries or orthopedic limitations, and were not competitive athletes. All participants were fully informed about the study procedures, objectives, potential benefits, and risks before providing written informed consent. The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki and was approved by the local Research Ethics Committee.

2.3.2 Anthropometry

Body mass was measured to the nearest 0.1 kg using a calibrated electronic scale (Filizola, model ID 110, São Paulo, Brazil), with participants wearing light workout clothing and no shoes. Height was measured with a wooden stadiometer to the nearest 0.1 cm while participants stood without shoes. Body mass index (BMI) was calculated as body mass (kg) divided by the square of height (m^2).

2.3.3 Muscular strength

Maximal dynamic strength was assessed using 1RM for the bench press (BP), squat (SQ), and arm curl (AC), in that order, at baseline and after the intervention period. In the BP, the grip was such that the thumbs were at shoulder width when the bar rested on the support standards. The complete range of motion consisted of lowering the bar until it touched the chest, then immediately pushing it upward until the elbows were locked at the top of the press. The 1RM SQ was performed with a Smith machine. Feet were parallel and placed shoulder-width apart. The full range of motion consisted of lowering the body by flexing the knees to 90° and then rising until the knees were fully extended. For the execution of the AC, participants stood with their backs against a wall to prevent any assistive motion and with their knees slightly flexed. From a full arm-extended position, with hands in supination, placed slightly wider than shoulder-width and directly under the bar, the AC was executed using the anterior arm flexor muscles through a range of motion of approximately 120^0 or until full elbow flexion.

Rest periods between exercises ranged from three to five minutes. The test in each exercise was preceded by a warm-up set (6-10 repetitions) with 50% of the estimated load used in the first attempt of the 1RM test. This warm-up also familiarized the participants with the testing equipment and lifting techniques. Each testing procedure was initiated two minutes after the warm-up. Participants were instructed to attempt 2 repetitions with the imposed load and were allowed 3 attempts per exercise. If a participant was successful on the first attempt, additional weight (3-10% of the first attempt load) was added, a 3-5 min rest was provided, and a second attempt was made. If this attempt was successful, a third attempt was given with an increased load (3-10% of the second attempt load), following a 3-5 min rest. If the subject was

unsuccessful in the first or second attempt, weight was removed (3-10% of the previous attempt load), and another attempt was given. The 1RM was recorded as the last load lifted at which the subject could complete a full-range maximum repetition.

The execution technique and form of each exercise were standardized and continuously monitored to enhance reliability in the maximum strength assessment. Three experienced researchers supervised all sessions to ensure participants' safety and integrity during the tests. Verbal encouragement was given during every attempt. Four 1RM sessions were separated by 48 hours (ICC > 0.98). The highest load among the four sessions was used for analysis in each exercise. Throughout all sessions, participants were permitted to drink water as needed and encouraged to remain hydrated.

2.3.4 Muscular endurance and prediction equations

A resistance test was performed 2-3 days after the 1RM test sessions. The exercises and performance order for the muscular endurance test were the same as for the 1RM tests. The test protocol consisted of performing one set at 80% of 1RM until voluntary exhaustion. Participants were asked to perform as many repetitions as possible for each exercise. The rest interval between exercises was 3-5 min. The exercises were preceded by a warm-up set of 6-10 repetitions with 50% of the load to be used in the first set. The load and number of repetitions performed in each exercise were used to predict the 1RM in 10 equations [13, 14], as described in Table 1.

Table 1. Prediction equations to estimate 1RM.

Source	Equations
Adams	1RM (kg) = load / (1 − 0.02 × reps)
Brown	1RM (kg) = (reps × 0.0328 + 0.9849) × load
Brzycki	1RM (kg) = load / (1.0278 − 0.0278 × reps)
Lander	1RM (kg) = load / (1.013 − 0.0267123 × reps)
Lombardi	1RM (kg) = $reps^{0.1}$ × load
Epley	1RM (kg) = load × (1 + 0.0333 × reps)
Mayhew	1RM (kg) = load / (0.522 + 0.419 × $e^{(-0.055 \times reps)}$)
O'Connor	1RM (kg) = 0.025 × (load × reps) + load
Wathen	1RM (kg) = load / (0.488 + 0.538 × $e^{(-0.075 \times reps)}$)
Welday	1RM (kg) = (reps × 0.0333) × load + load

Note:

2.3.5 *Statistical Analysis*

Data distribution was assessed using the Shapiro–Wilk test. Differences in general characteristics between the development and cross-validation groups were assessed using an independent t-test. Multiple linear regression analyses were conducted in the development sample to derive exercise-specific equations for predicting 1RM for BP, SQ, and AC. The load lifted during the repetition-to-failure test, and the number of repetitions performed were entered as independent variables. Model performance was evaluated using the coefficient of determination (R^2), the standard error of estimate (SEE), and residual analysis. In the cross-validation sample, predicted 1RM values obtained from the newly developed equations and from previously published equations were compared with the measured 1RM using paired t-tests. Agreement between predicted and measured 1RM values was further examined using Bland–Altman analyses [24], including calculation of bias (mean difference), standard deviation of the differences, and 95% limits of agreement (bias ± 1.96 SD). Percentage differences between predicted and measured 1RM values were calculated as [(predicted − measured) / measured] × 100. Effect size (ES) was calculated by dividing the mean difference between predicted and measured 1RM by the standard deviation of the measured 1RM [25]. Effect sizes were interpreted as trivial (< 0.20), small (0.20–0.49), moderate (0.50–0.79), or large (≥ 0.80). All statistical

analyses were performed using IBM SPSS Statistics (version 28.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA). Statistical significance was set at $p < 0.05$.

2.4 Results

2.4.1 Sample characteristics

No significant differences were observed between the development and cross-validation groups for age, body mass, height, BMI, relative strength, or total strength (all $p > 0.05$; Table 2). These findings indicate that the groups were comparable and suitable for model development and validation.

Table 2. General characteristics of the sample.

Variables	**Development group (n = 37)**	**Cross-validation group (n = 21)**	***p*-value**
Age (years)	23.1 ± 4.1	22.1 ± 3.2	0.33
Body mass (kg)	73.0 ± 8.5	72.0 ± 10.8	0.71
Height (cm)	176.6 ± 6.0	177.3 ± 7.1	0.70
BMI (kg/m²)	23.3 ± 2.2	22.8 ± 2.8	0.47
Relative strength BP (%)	108.5 ± 19.9	113.4 ± 17.3	0.34
Relative strength SQ (%)	189.1 ± 31.6	197.5 ± 29.6	0.33
Relative strength AC (%)	62.1 ± 8.1	64.7 ± 10.0	0.29
Total strength (kg)	260.5 ± 36.1	269.5 ± 45.3	0.42

Note: BMI = body mass index. BP = bench press; SQ = squat; AC = arm curl.

2.4.2 Development of predictive equations

Multiple linear regression models demonstrated excellent predictive capacity for estimating 1RM in all exercises (Table 3). The BP equation accounted for 99.6% of the variance ($R^2 = 0.996$) and had a low standard error of estimate (SEE = 0.87 kg). Similarly, the SQ and AC models showed high coefficients of determination ($R^2 = 0.988$ and 0.982, respectively) and acceptable SEE values (2.23 kg and 0.84 kg), indicating strong accuracy across exercises.

Table 3. Equations developed according to the exercise.

Exercise	Equation	SEE	R^2
Bench press	1RM = −4.248 + (1.254 x load) +(0.288 x reps)	0.87	0.996
Squat	1RM = −6.981 + (1.255 x load) + (0.373 x reps)	2.23	0.988
Arm curl	1RM = −5.953 + (1.331 x load) + (0.321x reps)	0.84	0.982

Note: Load refers to the test load (kg) used in the test, and reps corresponds to the maximum number of repetitions performed with that load. SEE = standard error of estimate.

2.4.3 Cross-validation

For BP, the new equation did not differ from the actual 1RM ($p > 0.05$). Similarly, the equations proposed by Adams, Lombardi, and O'Connor showed no significant differences compared with the measured 1RM ($p > 0.05$). In contrast, the equations of Brown, Brzycki, Lander, Epley, Mayhew, Wathen, and Welday significantly overestimated BP 1RM ($p < 0.05$). For SQ, only the newly provided equation yields estimates comparable to the actual 1RM. All traditional equations (Adams, Brown, Brzycki, Lander, Lombardi, Epley, Mayhew, O'Connor, Wathen, and Welday) significantly overestimated SQ 1RM ($p < 0.05$). For AC, the new equation and the Lombardi equation did not differ from the measured 1RM. Conversely, the equations of Adams, Brown, Brzycki, Lander, Epley, Mayhew, O'Connor, Wathen, and Welday significantly underestimated AC 1RM ($p < 0.05$).

Table 4. Scores in kg of 1RM and predictive equations according to exercise (n = 21).

Equations	Bench press	Squat	Arm curl
Actual 1RM	81.7 ± 17.4	140.7 ± 22.8	46.3 ± 8.0
New equation	81.6 ± 17.2	141.3 ± 22.9	46.0 ± 8.3
Adams	80.6 ± 18.0	144.2 ± 28.0	42.3 ± 7.1*
Brown	84.4 ± 18.9*	150.9 ± 29.4*	43.7 ± 7.5*
Brzycki	84.9 ± 19.8*	154.4 ± 33.5*	43.1 ± 7.4*
Lander	85.4 ± 19.9*	155.1 ± 33.3*	43.5 ± 7.4*
Lombardi	82.4 ± 17.5	144.5 ± 24.5*	42.6 ± 12.2
Epley	85.7 ± 19.2*	153.2 ± 29.9*	44.4 ± 7.6*
Mayhew	85.0 ± 18.5*	150.5 ± 27.3*	45.2 ± 7.6*
O'Connor	80.9 ± 17.7	143.7 ± 26.7	42.8 ± 7.2*
Wathen	86.4 ± 19.5*	154.6 ± 30.4*	44.4 ± 7.7*
Welday	85.7 ± 19.2*	153.2 ± 29.9*	44.4 ± 7.6*

Note: 1RM = one repetition maximum. * $p < 0.05$ vs. actual 1RM. Data are presented as mean and standard deviation.

For BP, the new equation demonstrated an almost null bias (−0.10 ± 0.80 kg), very narrow limits of agreement (−1.7 to 1.5 kg), a negligible percentage difference (−0.1 ± 1.2%), and a trivial ES (ES = −0.00), indicating excellent agreement with the actual 1RM. The Lombardi (0.61 ± 1.54 kg; ES = 0.04) and O'Connor (−0.85 ± 2.75 kg; ES = −0.05) equations also showed small biases, relatively narrow limits of agreement, and trivial ES values. In contrast, the equations of Brown, Brzycki, Lander, Epley, Mayhew, Wathen, and Welday exhibited positive biases ranging from 2.6 to 4.6 kg, wider limits of agreement, percentage differences exceeding 3%, and small ES values (ES = 0.15–0.27), indicating systematic overestimation of BP 1RM.

For SQ, the new equation again presented the lowest bias (0.51 ± 2.39 kg), the narrowest limits of agreement (−4.2 to 5.2 kg), minimal percentage difference (0.4 ± 1.8%), and a trivial ES (ES = 0.02). All traditional equations showed substantially larger positive biases (3.4–14.3 kg), markedly wider limits of agreement (−14 to 42 kg), percentage differences of 2.0%-9.5%, and small-to-moderate ES values (ES = 0.15–0.62), reflecting consistent overestimation of SQ 1RM.

For AC, the new equation showed a small negative bias (−0.27 ± 1.10 kg), narrow limits of agreement (−2.4 to 1.8 kg), low percentage difference (−0.7 ± 2.6%), and a trivial ES (ES = −0.03), indicating strong agreement with the measured 1RM. All traditional equations demonstrated negative biases ranging from −1.15 to −4.02 kg, wider limits of agreement, percentage differences ranging from −2.3% to −8.5%, and small to moderate negative ES values (ES = −0.14 to −0.50), indicating a systematic underestimation of AC 1RM. Among these, the Lombardi equation showed the widest limits of agreement for AC.

Table 5. Mean differences (kg), standard deviation, and limits of agreement (95% CI) between actual 1RM and prediction equations according to exercise (n = 21).

Equations	Bench press				Squat				Arm curl			
	Bias (kg)	LoA 95% (kg)	% difference	ES	Bias (kg)	LoA 95% (kg)	% difference	ES	Bias (kg)	LoA 95% (kg)	% difference	ES
New equation	−0.1 ± 0.8	−1.7; 1.5	−0.1 ± 1.2	−0.01	0.5 ± 2.4	−4.2; 5.2	0.4 ± 1.8	0.02	−0.3 ± 1.1	−2.4; 1.8	−0.7 ± 2.6	−0.03
Adams	−1.2 ± 3.3	−7.6; 5.3	−1.5 ± 4.1	−0.07	3.4 ± 8.6	−13.4; 20.3	2.0 ± 5.9	0.15	−4.0 ± 2.0	−7.9; −0.1	−8.5 ± 3.9	−0.50
Brown	2.6 ± 3.9	−4.9; 10.1	3.1 ± 4.6	0.15	10.1 ± 9.8	−9.5; 29.7	6.8 ± 6.3	0.44	−2.6 ± 2.4	−7.3; 2.0	−5.4 ± 5.2	−0.32
Brzycki	3.1 ± 5.5	−7.7; 13.9	3.6 ± 6.5	0.18	13.6 ± 14.6	−14.3; 41.5	9.0 ± 9.5	0.59	−3.3 ± 2.6	−8.5; 1.9	−6.8 ± 5.6	−0.41
Lander	3.7 ± 5.4	−6.1; 13.8	4.3 ± 6.3	0.21	14.3 ± 14.3	−13.7; 42.4	9.5 ± 9.2	0.62	−2.9 ± 2.6	−7.9; 2.1	−5.9 ± 5.5	−0.35
Lombardi	0.6 ± 1.5	−2.4; 3.6	0.8 ± 2.0	0.04	3.7 ± 4.1	−4.3; 11.6	2.5 ± 2.8	0.16	−3.8 ± 9.2	−21.9; 14.2	−8.3 ± 21.3	−0.47
Epley	3.9 ± 4.0	−3.9; 11.7	4.7 ± 4.6	0.23	12.4 ± 10.1	−7.5; 32.3	8.4 ± 6.4	0.54	−1.9 ± 2.4	−6.6; 2.7	−3.9 ± 5.3	−0.24
Mayhew	3.2 ± 2.7	−2.0; 8.4	3.9 ± 3.2	0.18	9.7 ± 6.9	−3.9; 23.2	6.6 ± 4.4	0.42	−1.2 ± 1.8	−4.6; 2.3	−2.3 ± 4.0	−0.14
O'Connor	−0.9 ± 2.7	−6.2; 4.5	−1.1 ± 3.4	−0.05	3.0 ± 7.0	−10.7; 16.6	1.8 ± 4.8	0.13	−3.6 ± 2.0	−7.4; 0.2	−7.5 ± 4.0	−0.44
Wathen	4.6 ± 4.3	−3.8; 13.1	5.6 ± 4.9	0.27	13.8 ± 10.7	−7.3; 34.8	9.3 ± 6.8	0.60	−2.0 ± 2.7	−7.3; 3.3	−4.0 ± 6.0	−0.24
Welday	3.9 ± 4.0	−3.9; 11.7	4.7 ± 4.6	0.23	12.4 ± 10.1	−7.5; 32.3	8.4 ± 6.4	0.54	−1.9 ± 2.4	−6.6; 2.7	−3.9 ± 5.3	−0.24

Note: Bias values are presented as mean ± standard deviation. LoA = limits of agreement (bias ± 1.96 SD). ES = effect size (difference divided by SD of the measured 1RM). Effect size classification: trivial < 0.20, small = 0.20–0.49, moderate = 0.50–0.79, large ≥ 0.80.

2.5 Discussion

The purpose of this study was to develop and cross-validate exercise-specific equations to predict 1RM in BP, SQ, and AC in recreationally trained men, and to compare their accuracy with that of commonly used prediction equations. The main finding was that the exercise-specific equations developed for the BP, SQ, and AC provide highly accurate estimates of 1RM in recreationally trained men. Across all exercises, the proposed equations did not differ from the measured 1RM and showed near-zero bias, narrow limits of agreement, minimal percentage differences, and trivial effect sizes (ES). These findings indicate that generalized prediction models may not accurately estimate maximal strength across different resistance exercises.

Prediction accuracy varied substantially across exercises, underscoring the importance of exercise specificity. In BP, some classical equations (Adams, Lombardi, and O'Connor) showed acceptable agreement with the measured 1RM, whereas most equations overestimated maximal strength. In SQ, all traditional equations significantly overestimated 1RM, presenting large biases, very wide limits of agreement, and small-to-moderate ES, indicating reduced robustness of these models for lower-body multi-joint exercises. These discrepancies may be partially explained by differences in the extent of muscle mass involvement, intermuscular coordination, and neuromuscular fatigue [26].

Importantly, the inclusion of AC as a monoarticular exercise represents a relevant and novel contribution, as most previous studies have focused almost exclusively on multi-joint exercises. In AC, most equations consistently underestimated 1RM, which may reflect distinct neuromuscular and fatigue characteristics of single-joint exercises, including reduced recruitment of muscle mass and a different strength–endurance relationship. Together, these findings highlight that the accuracy of repetition-based prediction equations is strongly dependent on the mechanical and neuromuscular characteristics of the exercise performed.

An additional factor likely contributing to the superior performance of the proposed equations is the rigorous familiarization protocol used for the direct 1RM assessment. Previous studies have demonstrated that reliable stabilization of 1RM values often requires two to three testing sessions [27, 28]. In the present study, participants completed four 1RM testing sessions for each exercise, which increases confidence that the measured values closely reflected their true maximal strength capacity. Consequently, the equations were developed using stable, non-

underestimated 1RM values, thereby reducing systematic bias in the criterion measure. This methodological rigor contrasts with several previous studies that relied on one or two 1RM testing sessions, potentially incorporating underestimation of maximal strength into the development of prediction models. The superior performance of the equations proposed in the present study likely reflects a combination of methodological and conceptual advances relative to previously published models. First, the equations were developed using an exercise-specific approach, avoiding the common assumption that the load–repetition relationship is transferable across different resistance exercises. Second, the models were derived and validated exclusively in recreationally trained men, a population that is underrepresented in the development of traditional equations but exhibits greater interindividual variability in repetition-to-failure performance. By calibrating the equations to this specific training status, systematic biases commonly observed when applying equations developed in highly trained samples were minimized. Collectively, these factors explain why the proposed equations demonstrated negligible bias, narrower limits of agreement, and trivial effect sizes compared with existing models, supporting their superior applicability for estimating 1RM in recreationally trained individuals.

The present results are consistent with both early and contemporary evidence demonstrating that prediction accuracy varies substantially across exercises [14-16]. Recent investigations have shown inconsistent agreement when equations developed for a specific exercise are generalized to others, particularly between upper- and lower-body movements. Moreover, longitudinal data suggest that training-induced adaptations can modify the load–repetition relationship, such that some equations improve their accuracy following a training period, whereas others lose precision [14].

Training status also appears to play a critical role in the validity of prediction models. Previous studies have demonstrated that the relationship between relative load and repetitions-to-failure differs between trained and less-trained individuals, potentially altering the accuracy of equations developed in homogeneous, well-trained samples [10, 21, 22]. This observation supports the present findings and reinforces the importance of developing and validating prediction equations specifically for recreationally trained populations.

From a practical standpoint, the equations proposed in this study offer a safe, time-efficient, and accurate alternative for estimating 1RM in recreationally trained men, reducing the need for direct maximal testing. Accurate estimation of maximal

strength is essential for appropriate load prescription, fatigue management, and progression planning. Inaccurate prediction of 1RM may lead to inappropriate training intensities, potentially compromising training effectiveness and increasing injury risk. The use of exercise-specific equations is therefore particularly relevant in gym-based settings, group training programs, and applied or clinical environments.

Some limitations of this study should be acknowledged. The sample consisted exclusively of young, recreationally trained men, limiting the generalizability of the findings to women, older adults, or highly trained athletes. In addition, the testing protocol used repetitions to failure at 80% of 1RM, and different relative loads may yield different prediction errors. On the other hand, this study presents several strengths, including the use of independent development and cross-validation groups and the inclusion of both multi-joint and single-joint exercises. These methodological features enhance the robustness and practical relevance of the findings.

2.6 Conclusion

The present study demonstrates that the newly developed exercise-specific equations provide accurate and consistent estimates of 1RM in recreationally trained men. Overall, the findings indicate that the proposed equations represent a valid, accurate, and practical alternative to traditional 1RM prediction models for assessing maximal strength in recreationally trained men. Their use allows reliable estimation of maximal strength while minimizing the need for direct maximal testing, thereby enhancing safety and feasibility in both research and applied training settings.

References

1. D'Onofrio G, Kirschner J, Prather H, Goldman D, Rozanski A. Musculoskeletal exercise: Its role in promoting health and longevity. Prog Cardiovasc Dis. 2023;77:25-36.

2. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyere O, Cederholm T, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. Age Ageing. 2019;48(1):16-31.

3. Zhao M, Veeranki SP, Magnussen CG, Xi B. Recommended physical activity and all cause and cause specific mortality in US adults: prospective cohort study. BMJ. 2020;370:m2031.

4. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. Sports Med. 2016;46(10):1419-49.

5. Cid-Calfucura I, Herrera-Valenzuela T, Franchini E, Falco C, Alvial-Moscoso J, Pardo-Tamayo C, et al. Effects of strength training on physical fitness of olympic combat sports athletes: a systematic review. Int J Environ Res Public Health. 2023;20(4).

6. Balsalobre-Fernandez C, Santos-Concejero J, Grivas GV. Effects of strength training on running economy in highly trained runners: a systematic review with meta-analysis of controlled trials. J Strength Cond Res. 2016;30(8):2361-8.

7. Ritti-Dias RM, Avelar A, Menêses AL, Salvador EP, Silva DRP, Cyrino ES. Segurança, reprodutibilidade, fatores intervenientes e aplicabilidade de testes de 1-RM. Motriz. 2013;19(1):231-42.

8. Grgic J, Lazinica B, Schoenfeld BJ, Pedisic Z. Test-retest reliability of the one-repetition maximum (1RM) strength assessment: a systematic review. Sports Med Open. 2020;6(1):31.

9. Pereira M, Gomes P. Muscular strength and endurance tests: reliability and prediction

of one repetition maximum – Review and new evidences. Rev Bras Med Esporte. 2003;9(5):336-46.

10. Reynolds JM, Gordon TJ, Robergs RA. Prediction of one repetition maximum strength from multiple repetition maximum testing and anthropometry. J Strength Cond Res. 2006;20(3):584-92.

11. Julio U, Panissa V, Franchini E. Prediction of one repetition maximum from the maximum number of repetitions with submaximal loads in recreationally strength-trained men. Science & Sports. 2012;27:69-76.

12. Mayhew JL, Ball TE, Arnold MD, Bowen JC. Relative muscular endurance performance as a predictor of bench press strength in college men and women. J Appl Sport Sci Res. 1992;6(4):200-6.

13. Mayhew JL, Johnson BD, Lamonte MJ, Lauber D, Kemmler W. Accuracy of prediction equations for determining one repetition maximum bench press in women before and after resistance training. J Strength Cond Res. 2008;22(5):1570-7.
14. Ribeiro AS, Silva JA, Nascimento MA, Martinho DV, dos Santos L, de Salles BF, et al. Accuracy of 1RM prediction equations before and after resistance training in three different lifts. International Journal of Strength and Conditioning. 2024;4(1).
15. Yavuz M, Dişçeken O, Işıkdemir E, Işık M, Cihan H. Validity of formulas used to estimate one repetition maximum strength of upper and lower extremities. Pamukkale J Sport Sci. 2025;16(2):490-514.
16. LeSuer DA, McCormick JH, Mayhew JL, Wasserstein RL, Arnold MD. The accuracy of prediction equations for estimating 1-RM performance in the bench press, squat, and deadlift. J Strength Cond Res. 1997;11(4):211-3.
17. Nuzzo JL, Pinto MD, Nosaka K, Steele J. Maximal number of repetitions at percentages of the one repetition maximum: a meta-regression and moderator analysis of sex, age, training status, and exercise. Sports Med. 2023.
18. Desgorces FD, Berthelot G, Dietrich G, Testa MS. Local muscular endurance and prediction of 1 repetition maximum for bench in 4 athletic populations. J Strength Cond Res. 2010;24(2):394-400.
19. Mayhew JL, Kerksick CD, Lentz D, Ware JS, Mayhew DL. Using repetitions to fatigue to predict one-repetition maximum bench press in male high school athletes. Pediatr Exerc Sci. 2004;16:265-76.
20. Morales J, Sobonya S. Use of submaximal repetition tests for predicting 1-RM strength in class athletes. J Strength Cond Res. 1996;10(3):186-9.
21. Richens B, Cleather DJ. The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. Biol Sport. 2014;31(2):157-61.
22. Ribeiro AS, Avelar A, Schoenfeld BJ, Trindade MC, Ritti-Dias RM, Altimari LR, et al. Effect of 16 weeks of resistance training on fatigue resistance in men and women. J Hum Kinet. 2014;42:165-74.
23. Roberts TD, Smith RW, Arnett JE, Ortega DG, Schmidt RJ, Housh TJ. Cross-validation of equations for estimating 1 repetition maximum from repetitions to failure for the bench press and leg extension. J Strength Cond Res. 2025;39(2):e96-e105.
24. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet. 1986;1(8476):307-10.

25. Cohen J. A power primer. Psychol Bull. 1992;112(1):155-9.

26. Zhang J, Pearson AZ, Grunau M, Iannetta D, Millet GY, Aboodarda SJ. The role of muscle mass in endurance performance and neuromuscular fatigue: A Systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2025;55(11):2809-24.

27. Ribeiro AS, Nascimento MA, Mayhew JL, Ritti-Dias RM, Avelar A, Okano AH, et al. Reliability of 1RM test in detrained men with previous resistance training experience. Isokinet Exerc Sci. 2014;22:137-43.

28. Ribeiro AS, Nascimento MA, Salvador EP, Gurjão ALD, Ritti-Dias RM, Mayhew JL, et al. Reliability of one-repetition maximum test in untrained young adult men and women. Isokinet Exerc Sci. 2014;22:175-82.