

O impacto da ordem dos exercícios na velocidade de execução do agachamento e supino

Rogério Martins Alves Pereira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências do Desporto
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Henrique Pereira Neiva
Coorientador: Prof. Doutor Diogo Luís Sequeira Torgal Marques

outubro de 2024

Folha em branco

Declaração de Integridade

Eu, Rogério Martins Alves Pereira, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M12711 do 2º ciclo de estudos de Ciências do Desporto da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 06 /10 /2024

Folha em branco

Dedicatória

À minha família, por tudo e por tanto!

Folha em branco

Agradecimentos

Com o término do presente ano letivo dou por concluída mais uma etapa da minha vida. Uma etapa que teve os seus obstáculos, que conduziram, porém, a mais uma conquista. Ao longo deste percurso estive rodeado das pessoas certas, que me auxiliaram nos mais diferentes campos, e é a elas que pretendo endereçar o especial agradecimento:

- Ao professor Doutor Henrique Pereira Neiva, por todo o acompanhamento dado no decorrer deste último ano, mas também por todos os ensinamentos transmitidos nos últimos 5 anos, pelo auxílio constante e pelo modelo de profissional que para mim representa;
- Ao professor Doutor Diogo Luís Sequeira Torgal Marques, pelo auxílio no desenvolvimento desta dissertação, disponibilidade demonstrada e exemplo dado enquanto investigador;
- À professora Doutora Ana Ruivo Alves, aos professores Doutores Daniel Almeida Marinho e António José Silva, e ao professor Pedro Pombo Neves, pela preciosa colaboração em todos os processos que conduziram à publicação de um artigo científico centrado na temática da presente dissertação;
- A todos os docentes que, ao longo dos últimos 5 anos, contribuíram para a minha formação;
- À Mafalda Pinto, pelos ensinamentos, companheirismo e amizade;
- Por fim, à minha família. À minha mãe, Carla, e às minhas irmãs, Beatriz e Natália, a quem, nenhuma conjugação de palavras seria capaz de expressar o sentimento de gratidão por TUDO.

Folha em branco

Publicações

Artigos em Revista

Pereira, R.M., Marques, D.L., Alves, A.R., Marinho, D.A., Neves, P.P., Silva, A.J., & Neiva, H.P. (2024). The Impact of Exercise Order on Velocity Performance in the Bench Press and the Squat: A Comparative Study. *Applied Sciences*, 14(17), 7436. <https://doi.org/10.3390/app14177436>.

Resumos em Conferência

Pereira, R.M., Marques, D.L., Marinho, D.A., Neves, P.P., & Neiva, H.P. (2024, abril 13). *A influência da ordem dos exercícios de agachamento e de supino na velocidade de execução*. VIII Congresso Clínicas Espregueira Mendes. Porto, Portugal.

Folha em branco

Resumo

A ordem dos exercícios desempenha um papel significativo nas respostas ao treino da força e consequentes adaptações, porém, existem ainda alguns aspetos por esclarecer em torno deste tópico, uma vez que recentes investigações têm vindo a contrariar literatura científica previamente publicada. O presente estudo teve como objetivo analisar a influência da ordem dos exercícios de supino e agachamento enquanto primeiro e segundo exercício da sessão de treino na velocidade de execução do movimento. Dez indivíduos treinados (20.9 ± 0.7 anos de idade) foram submetidos, de modo randomizado, a dois protocolos de treino da força, cada um consistindo na execução de três séries de seis repetições com 80% da carga externa correspondente a uma repetição máxima, com diferentes sequências de exercício: supino seguido de agachamento (S+A) e agachamento seguido de supino (A+S). Um medidor linear de velocidade foi acoplado à barra da máquina Smith, com a qual foram os exercícios foram executados, de modo a registar valores referentes à velocidade média propulsiva (VMP), pico de velocidade (PV) e ao tempo até ao pico de velocidade (TPV). Complementarmente, foram também medidos o lactato sanguíneo e a frequência cardíaca. Relativamente ao exercício de supino, diferenças significativas foram encontradas ao nível da VMP na primeira (S+A: $0.50 \pm 0.07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vs. A+S: $0.42 \pm 0.08 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $p = 0.03$, $g = 0.72$) e segunda série ($0.50 \pm 0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vs. $0.42 \pm 0.07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $p = 0.03$, $g = 0.73$), assim como no PV, na segunda série ($0.74 \pm 0.09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vs. $0.63 \pm 0.09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $p = 0.02$, $g = 0.86$). Quanto ao exercício de supino, embora se tenham registado velocidades de execução do movimento superiores no protocolo A+S, não se verificaram diferenças significativas entre protocolos. Estes resultados demonstraram que a execução do exercício de agachamento teve um consequente decréscimo na velocidade de execução do exercício de supino. Contrariamente, a velocidade de execução do exercício de agachamento não foi significativamente afetada pela execução prévia do supino.

Palavras-chave

Força; variáveis mecânicas; ordem dos exercícios; monitorização; performance.

Folha em branco

Abstract

Exercise order plays a significant role on strength training responses and subsequent adaptations, although some aspects surrounding this topic remain unclear, as recent research findings seem to contradict previous recommendations. The present study aimed to analyse the influence of exercise order using the bench press and squat as the first or second exercise of the session on velocity performance. Ten male-trained individuals (20.9 ± 0.7 years) randomly performed two protocols of three sets of six repetitions at 80% of one-repetition maximum with different exercise sequence: bench press followed by squat (BP+S) and squat followed by bench press (S+BP). A linear velocity transducer attached to the Smith machine barbell measured mean propulsive velocity (MPV), peak velocity (PV), and time to peak velocity (TPV). Additionally, blood lactate and heart rate were measured. Regarding bench press, differences were found in MPV in the first (BP+S: $0.50 \pm 0.07 \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ vs. S+BP: $0.42 \pm 0.08 \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $p = 0.03$, $g = 0.72$) and second sets ($0.50 \pm 0.06 \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ vs. $0.42 \pm 0.07 \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $p = 0.03$, $g = 0.73$), as well as in PV in the second set ($0.74 \pm 0.09 \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ vs. $0.63 \pm 0.09 \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $p = 0.02$, $g = 0.86$). Regarding the squat, although the S+BP tended to show higher velocities, no significant differences were found between protocols. These results showed that squatting first decreased subsequent bench press velocity performance. On the other hand, squat velocity performance was not impaired when preceded by the bench press.

Keywords

Strength; mechanical variables; exercise sequence; monitoring; performance.

Folha em branco

Índice

Dedicatória.....	v
Agradecimentos	vii
Publicações	ix
Resumo	xi
Abstract.....	xiii
Lista de Figuras.....	xvii
Lista de Tabelas	xix
Lista de Acrónimos	xxi
Introdução	1
Metodologia	5
Desenho do estudo.....	5
Amostra.....	6
Procedimentos	8
Sessão de familiarização.....	8
Teste de cargas progressivas no exercício de agachamento e supino	8
Sessões de treino e recolha de dados.....	9
Análise estatística.....	10
Resultados.....	12
Velocidade de execução do movimento	12
Lactato sanguíneo e frequência cardíaca	14
Discussão	16
Conclusão.....	22
Referências bibliográficas.....	24
Anexos.....	30

Folha em branco

Lista de Figuras

Figura 1. Desenho do estudo. 1RM = carga externa correspondente a uma repetição máxima. A+S = agachamento seguido de supino; S+A = supino seguido de agachamento. Cada caixa de texto corresponde a uma sessão.	5
Figura 2. Fluxograma do estudo. A+S = agachamento seguido de agachamento; S+A = supino seguido de agachamento.....	7
Figura 3. Valores de velocidade média propulsiva de cada repetição dos exercícios de supino (A) e agachamento (B). Valores registados nas seis repetições executadas (R1 até R6) durante a primeira (S1), segunda (S2), e terceira (S3) série, em ambos os protocolos de treino: supino seguido de agachamento (S+A) e agachamento seguido de supino (A+S). * $p \leq 0.05$	13
Figura 4. Diferenças relativas entre o protocolo de treino S+A (supino seguido de agachamento) vs. Protocolo de treino A+S (agachamento seguido de supino) ao nível do lactato sanguíneo (A) e frequência cardíaca (B). g: tamanho do efeito (g de Hedge).	15

Lista de Tabelas

Tabela 1. Características dos participantes no momento pré-teste (n = 10).....	7
Tabela 2. Comparação de performance entre protocolos de treino no exercício de supino em cada série.....	12
Tabela 3. Comparação de performance entre protocolos de treino no exercício de agachamento em cada série.	14

Lista de Acrónimos

1RM	Uma Repetição Máxima
A+S	Agachamento seguido de Supino
GRP	Gabinete de Relações Públicas
PPA	Potenciação Pós-Ativação
PV	Pico de Velocidade
S+A	Supino seguido de Supino
SPSS	Statistical Package of Social Science
TPV	Tempo até ao Pico de Velocidade
UBI	Universidade da Beira Interior
VMP	Velocidade Média Propulsiva

Folha em branco

Introdução

A prescrição de um programa de exercício físico e, mais concretamente, de treino da força requer um profundo conhecimento de múltiplas componentes, nomeadamente, ao nível das variáveis diretamente envolvidas na construção destas propostas de treino, com a inerente manipulação e combinação entre si tendo em vista o alcance dos resultados pretendidos (ACSM, 2009; Kraemer & Ratamess, 2004). O volume de treino, a intensidade, a seleção de exercícios, a frequência de treino, o tempo de descanso entre séries e exercícios, a velocidade de execução do movimento e a ordem dos exercícios são variáveis de carácter agudo fulcrais a ter em conta no desenho de um programa de treino (ACSM, 2009; Kraemer & Ratamess, 2004; Simão et al., 2012).

Reconhecido o forte impacto da ordem dos exercícios numa sessão de treino nas respostas e adaptações ao mesmo, esta variável tem sido alvo de atenção por parte da comunidade científica (Neves et al., 2023). No que a esta temática diz respeito, a *American College of Sports Medicine* (ACSM) apresentou um conjunto de recomendações específicas para o treino da força. De um modo geral, é apontado como aconselhável priorizar atividades de treino de natureza multiarticular e que recrutem grandes grupos musculares, sendo, porém, questionável se esta será a abordagem mais adequada no caso do treino tendo em vista a hipertrofia e resistência muscular (ACSM, 2009; Nunes et al., 2021; Simão et al., 2012).

Contrastando com recomendações mencionadas, Simão et al. (2012) elaboraram uma revisão da literatura em torno desta temática, destacando que a execução dos exercícios propostos numa fase mais avançada da sessão de treino será afetada pela acumulação de fadiga induzida por exercícios prévios. Adicionalmente, no que a adaptações crónicas diz respeito, verificou-se que exercícios realizados primeiramente numa sessão de treino potenciam maiores ganhos de força e hipertrofia nos respetivos grupos musculares recrutados. Estas observações sugerem então que, relativamente à ordem dos exercícios numa sessão de treino, deverão ser priorizados aqueles que vão ao encontro das necessidades e objetivos de cada indivíduo, sem descurar outros princípios e variáveis envolvidas na prescrição do programa de treino (ACSM, 2009; Nunes et al., 2021; Simão et al., 2012).

No sentido de obter um conhecimento mais profundo em torno das respostas a uma sessão de treino da força, Neves et al. (2023) monitorizou variáveis como a potência

mecânica e o trabalho realizado nos exercícios de supino e agachamento. Adotando um modelo de estudo cruzado (“crossover”), os sujeitos que compuseram a amostra foram submetidos, de forma randomizada, a 2 sessões de treino da força com os exercícios realizados em ordens distintas: A: supino + agachamento; B: agachamento + supino. Em cada um destes treinos, os participantes executaram 3 séries de 6 repetições com 80% de uma repetição máxima (1RM) de cada um dos exercícios. Os resultados demonstraram que realizar o exercício de agachamento antes do supino poderá impactar negativamente a performance mecânica neste último exercício. Uma possível explicação para esta observação recai na maior exigência cardiovascular, metabólica e neuromuscular inerente à execução do exercício de agachamento comparado com o supino (Andrade et al., 2022; Neves et al., 2023).

Apesar da existência de literatura científica em torno da temática da ordem dos exercícios numa sessão de treino da força, ainda assim, tanto quanto é do nosso conhecimento, nenhum trabalho de investigação foi realizado tendo em vista compreender os efeitos da ordem dos exercícios na velocidade de execução dos exercícios de supino e agachamento. Neste âmbito, da perspetiva dos profissionais de exercício físico e investigadores, revela-se essencial perceber se a execução do exercício de agachamento afeta a subsequente velocidade de execução do supino e vice-versa no sentido de aprimorar a prescrição das sessões de treino da força, tendo em conta as necessidades individuais.

No que diz respeito às variáveis associadas à velocidade de execução do movimento, a literatura aponta a velocidade média propulsiva (VMP) como uma das variáveis mecânicas mais relevantes no treino da força, estando intimamente associada à carga relativa movida e, por isso, à intensidade do exercício (Sánchez-Medina et al., 2010). Estudos desenvolvidos neste âmbito apontaram que esta forte relação possibilita a estimação de 1RM e determinação das respetivas cargas relativas, assim como a prescrição do treino tendo por base a velocidade de execução do movimento nos diferentes exercícios (Conceição et al., 2015; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). A VMP é uma variável cujo valor é obtido entre o início da fase concêntrica do movimento até ao instante em que a aceleração da barra é menor que a aceleração gravítica, isto é, menor que $-9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Por outro lado, o pico de velocidade (PV) remete para o valor de velocidade máxima atingido durante a fase concêntrica do movimento. Tal como a VMP, também esta variável é referida como sendo uma variável com bastante utilidade no contexto do treino da força. Reforçando esta ideia, Banyard et al. (2018) apresentaram, no seu estudo,

resultados sugerindo que esta poderá ser uma variável altamente fiável no sentido de determinar perfis individuais de carga-velocidade no exercício de agachamento completo. Além disso, neste campo, alguns autores admitem a hipótese de os valores de PV serem mais fiáveis que os de VMP, por estarem menos sujeitos à influência de irregularidades na fase concêntrica do movimento (García-Ramos et al., 2016; Hori et al., 2007). Estudos realizados neste âmbito demonstraram também que o PV poderá ser uma variável útil a utilizar para a monitorização da performance a curto e longo prazo nos exercícios de agachamento e supino (Davies et al., 2019; Filip-Stachnik et al., 2022; Moura et al., 2024)

A variável correspondente ao tempo até alcançar o PV (TPV) refere-se, como sugere a designação, ao intervalo de tempo até que seja atingido o PV na fase concêntrica do movimento. Os seus registos assumem particular relevância no contexto desportivo em gestos técnicos cujo tempo disponível para a produção de força é reduzido, tal como saltos, sprints e lançamentos (García-Ramos et al., 2018; González-Badillo & Marques, 2010; Jiménez-Reyes et al., 2016; Lu et al., 2023; Pérez-Castilla et al., 2021). Deste modo, esta variável poder-se-á revelar uma ferramenta útil na prescrição de programas de treino e posterior análise da performance no mesmo, no âmbito do treino desportivo.

Sabendo a relevância da VMP, PV e TPV na monitorização do treino da força, demonstra-se necessário analisar as respostas mecânicas a diferentes ordens de exercícios, usando, para isso, uns dos exercícios mais comuns no treino da força, o supino e agachamento, procurando, com isso, estabelecer padrões e elaborar recomendações práticas para praticantes, profissionais de exercício físico e comunidade científica. Deste modo, procuramos no presente estudo analisar a influência da ordem dos exercícios de supino e agachamento, enquanto primeiro e segundo exercícios da sessão de treino nas variáveis correspondentes à VMP, PV e TPV. Adicionalmente, foram recolhidos valores de lactato sanguíneo e frequência cardíaca, imediatamente após a execução de cada série de cada exercício, entre ambos os protocolos, de modo a perceber as diferentes demandas metabólicas e hemodinâmicas.

Tendo em conta evidências científicas previamente publicadas (Simão et al., 2012; Neves et al., 2023), colocamos como hipótese que a execução do exercício de agachamento afetaria a subsequente velocidade de execução do exercício de supino, enquanto, com uma ordem invertida, não se registariam diminuições de performance nas variáveis mecânicas consideradas. Complementarmente, seria expectável observar valores de lactato sanguíneo e frequência cardíaca superiores no protocolo correspondente à sessão de treino composta pelo exercício de supino seguido do agachamento.

Metodologia

Desenho do estudo

O presente estudo seguiu um desenho de estudo cruzado (*crossover study*), em que dez indivíduos do sexo masculino estudantes de Ciências do Desporto realizaram quatro sessões experimentais, tendo sido atribuído um intervalo de descanso de 48 horas entre cada uma. A primeira das quatro sessões foi utilizada para a familiarização dos participantes com os procedimentos experimentais, assim como para a recolha de parâmetros antropométricos, enquanto na segunda sessão foi implementado um teste de cargas progressivas, de modo a determinar a carga externa correspondente ao 1RM dos exercícios de supino e agachamento. Realizados estes procedimentos, os participantes realizaram duas sessões de treino de forma aleatória (randomizada), cada uma consistindo na realização dos exercícios de supino e agachamento com diferentes ordens entre sessões: supino seguido de agachamento (S+A) e agachamento seguido de supino (A+S). Em cada sessão de treino, foram recolhidos dados correspondentes às seguintes variáveis mecânicas: VMP, PV e TPV. Antes e depois da realização de cada uma das duas sessões foram efetuadas medições de lactato sanguíneo e frequência cardíaca. Todos os participantes foram supervisionados por 2 profissionais de exercício físico e investigadores experientes ao longo de todos os procedimentos. O desenho do estudo encontra-se representado na Figura 1.

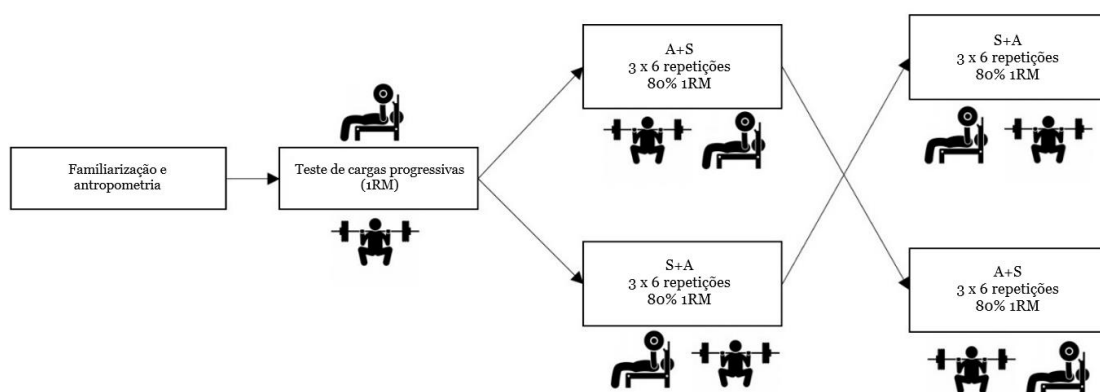


Figura 1. Desenho do estudo. 1RM = carga externa correspondente a uma repetição máxima. A+S = agachamento seguido de supino; S+A = supino seguido de agachamento. Cada caixa de texto corresponde a uma sessão.

Amostra

Tendo em conta investigações anteriores (Simão et al., 2012; Ribeiro et al., 2021), uma análise detalhada apontou para um tamanho de amostra mínimo de 11 participantes para observar uma diferença de $0.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na velocidade de execução do movimento, com um valor de significância estabelecido em 0.05 e uma potência estatística igual a 0.80 (Arifin, 2017). Neste cálculo foi igualmente considerada uma taxa de desistência de participação de 10%. Os critérios de inclusão para a participação neste estudo foram os seguintes: (i) indivíduos masculinos com, pelo menos, 18 anos de idade; (ii) estar envolvido de forma consistente num programa de treino da força; (iii) ser capaz de concluir todos os procedimentos experimentais; (iv) não apresentar condições clínicas que possam impossibilitar a correta execução técnica de ambos os exercícios. Todos os participantes foram devidamente informados acerca de todos os procedimentos experimentais, tendo sido assinado um documento atestando o consentimento informado. Todas as metodologias experimentais adotadas no presente estudo encontram-se em conformidade com os princípios da Declaração de Helsínquia. Dos 16 participantes que assinaram um documento atestando o consentimento informado, dois foram excluídos do estudo por não cumprirem com os critérios de inclusão previamente apresentados, tendo, os restantes 14 participantes, sido divididos de forma randomizada em dois grupos, cada um começando por cumprir o protocolo A+S ($n = 7$) ou o protocolo S+A ($n = 7$). Durante a recolha de dados, dois sujeitos pertencentes a cada grupo foram excluídos, por desistência ou por falha no acompanhamento íntegro dos dados. Por conseguinte, 10 indivíduos do sexo masculino estudantes de Ciências do Desporto compuseram a amostra deste estudo (Figura 2). Na Tabela 1 encontram-se elencadas as características dos participantes no momento pré-teste.

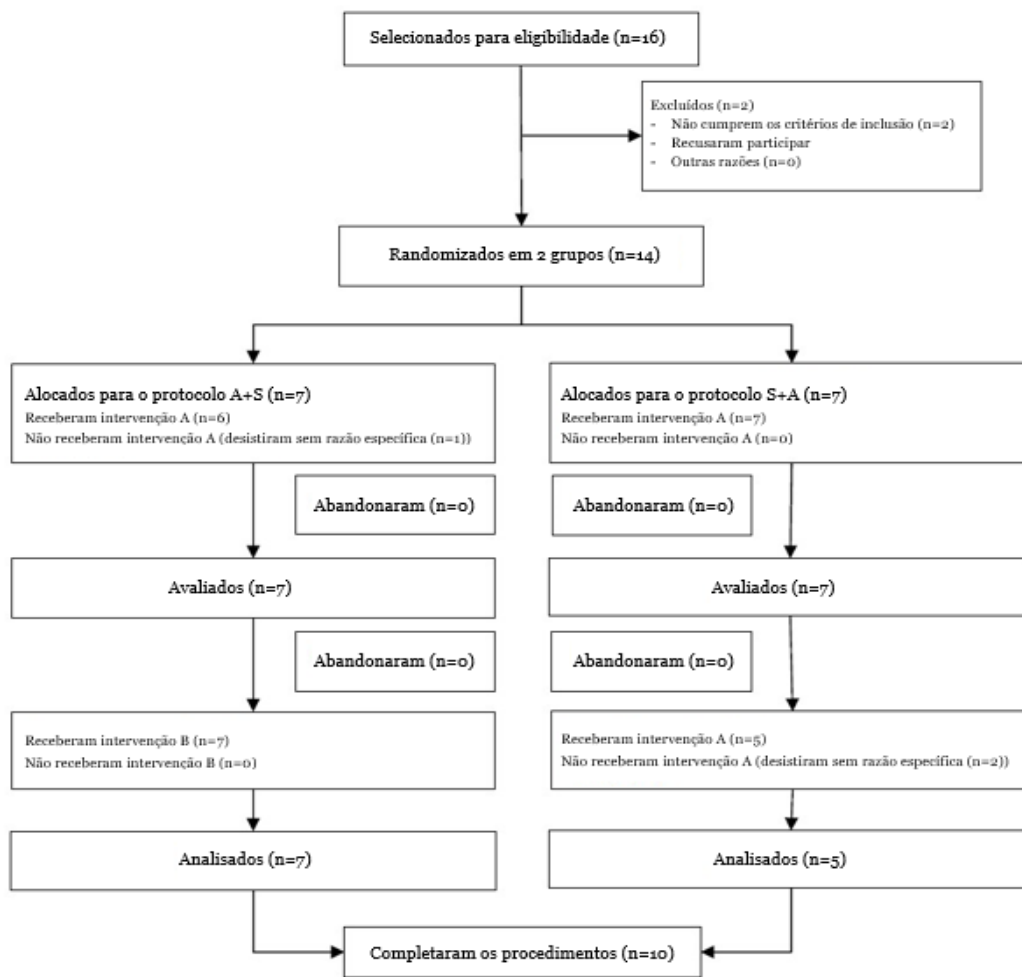


Figura 2. Fluxograma do estudo. A+S = agachamento seguido de agachamento; S+A = supino seguido de agachamento.

Tabela 1. Características dos participantes no momento pré-teste (n = 10).

Variável	Média ± DP
Idade (anos)	20.9 ± 0.7
Altura (cm)	175.7 ± 9.7
Massa corporal (kg)	73.9 ± 7.3
1RM supino (kg)	77.0 ± 18.3
Força relativa no exercício de supino	1.0 ± 0.2
1RM agachamento (kg)	91.0 ± 16.3
Força relativa no exercício de agachamento	1.2 ± 0.3

1 RM = carga externa correspondente a uma repetição máxima

Procedimentos

Sessão de familiarização

Na primeira sessão experimental foram recolhidos dados antropométricos (altura e massa corporal) de cada sujeito (Seca Instruments, Ltd, Hamburg, Germany), seguindo-se um período de familiarização com os exercícios de supino e agachamento, em que os participantes foram convidados a executar 3 séries de ambos os exercícios com uma intensidade baixa. Ao longo da sessão, foram fornecidas instruções relativas à técnica de execução e identificada a posição adequada do banco a utilizar para o exercício de supino para cada sujeito (Sánchez-Medina et al., 2010; Sánchez-Medina et al., 2017).

Teste de cargas progressivas no exercício de agachamento e supino

Na segunda sessão foi implementado um teste de cargas progressivas no exercício de agachamento e supino, de acordo com as indicações da literatura científica (Sánchez-Medina et al., 2010; Sánchez-Medina et al., 2017), estando previamente assegurada a fiabilidade e validade da metodologia considerada (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011; Pérez-Castilla et al., 2019). Ambos os exercícios foram executados numa máquina *Smith* (Multipower Fitness Line, Perola, Murcia, Spain), sendo que a recolha de dados referentes a cada variável mecânica foi efetuada através da acoplação de um transdutor de velocidade linear (T-Force Dynamic Measurement System, Ergotech, Murcia, Spain) à barra, conectado, por sua vez, a uma placa de aquisição e conversão de dados analógicos de 16-bits (Biopac MP100 Systems, Santa Barbara, CA, USA), recolhendo-os a uma frequência de 1000 Hz. Para a execução do exercício de supino, os participantes foram instruídos a posicionarem-se em decúbito dorsal, sobre o banco de exercício, com os pés apoiados no chão, e pega com as mãos posicionadas à largura dos ombros. Para o início da fase excêntrica do movimento, desceram a barra de forma controlada até esta tocar no peito. De modo a obter dados mais fiáveis, foi solicitada uma pausa de 2 segundos entre a fase excêntrica e concêntrica. Seguidamente, a fase concêntrica foi executada à velocidade máxima intencional. Para a execução do exercício de agachamento, os participantes iniciaram o movimento com os pés apoiados no chão à largura dos ombros, com os joelhos em extensão completa e a barra posicionada sobre o trapézio superior. A fase excêntrica do movimento iniciou-se com a descida da barra de forma controlada até à flexão completa da articulação do

joelho, seguindo-se a fase concêntrica, com a subida da barra à velocidade máxima intencional sem perder o contacto dos pés com o solo (a elevação do calcanhar foi permitida). Todos os participantes iniciaram esta avaliação com uma carga externa de 20kg para a execução dos exercícios de supino e agachamento, aumentando progressivamente a carga entre 5 a 10kg até cada indivíduo atingir uma VMP igual a $0.40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ no supino e $0.60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ no agachamento que, de acordo com a literatura, corresponde a uma carga relativa de 85%1RM em ambos os exercícios (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Ribeiro et al., 2021). Entre séries, foi atribuído um período de descanso entre 3 e 5 minutos. No exercício de supino, os participantes completaram três repetições com uma VMP $> 1.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, duas repetições com uma VMP entre 0.65 e $1.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, e uma repetição com uma VMP $< 0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Sánchez-Medina et al., 2010). No exercício de agachamento, os participantes completaram três repetições com uma VMP $> 1.15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, duas repetições com uma VMP entre 0.70 e $1.15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, e uma repetição com uma VMP $< 0.70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Sánchez-Medina et al., 2017). Completados estes procedimentos, as cargas externas correspondentes a 1RM foram estimadas, tendo por base os valores de VMP apontados anteriormente e as respetivas cargas:

$$1\text{RM supino: } (100 \times \text{carga}) / (8.4326 \times \text{VMP}^2) - (73.501 \times \text{VMP}) + 112.33$$

$$1\text{RM agachamento: } (100 \times \text{carga}) / (-5.961 \times \text{VMP}^2) - (50.71 \times \text{VMP}) + 117$$

Sessões de treino e recolha de dados

Para a realização das sessões de treino, os participantes foram divididos em dois grupos de forma randomizada, cada um a completar os protocolos de treino S+A e A+S, com a calendarização das sessões gerada num computador. Completado o primeiro protocolo de treino, ambos os grupos foram, posteriormente, instruídos a executar os exercícios em ordem inversa, correspondendo ao protocolo por completar. Em ambos os exercícios, foi solicitado aos participantes para replicar a técnica de execução aplicada na sessão de teste. O aquecimento consistiu na execução de duas séries de seis repetições com 32% e 64% da carga externa correspondente ao 1RM do primeiro exercício de cada protocolo (Ribeiro et al., 2020). Completada esta etapa, foi solicitado aos participantes a execução de 3 séries de 6 repetições com 80% da carga correspondente ao 1RM individual de cada exercício. O período de descanso atribuído entre séries teve uma duração de 3 minutos. A realização de cada sessão de treino foi separada por um intervalo temporal de 48 horas. No sentido de recolher os valores da VMP, PV e TPV, o cabo do dispositivo *T-Force System* foi acoplado à barra da máquina *Smith*. Para a recolha de dados relativos ao

lactato sanguíneo foi utilizado um dispositivo portátil (Lactate Pro 2 LT-1730, Arkray Inc., Tokyo, Japan) e, para a frequência cardíaca, uma banda cardiofrequencímetro emparelhada a um relógio de leitura desses registos (Polar H10, Electro, Kempele, Finland).

Análise estatística

O programa Microsoft Office Excel® (Microsoft Inc., Redmond, WA, United States) foi utilizado para o cálculo do tamanho da amostra, valores médios, desvios-padrão (DP) e intervalos de confiança, estabelecidos em 95%, para cada variável em análise. As figuras apresentadas neste estudo foram elaboradas no programa GraphPad Prism v7 (GraphPad Inc., San Diego, CA, USA). A análise estatística foi efetuada com recurso ao *software* Statistical Package for Social Sciences (IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA). O valor de significância foi estabelecido para $p \leq 0.05$. A normalidade da distribuição dos dados foi confirmada através do teste Shapiro-Wilk ($n < 30$), procedendo-se, por isso, a uma análise estatística paramétrica. De modo a comparar os dados recolhidos nas duas sessões de treino em ambos os protocolos de treino, foram aplicados os testes t de amostras emparelhadas. Valores correspondentes ao tamanho do efeito (g de Hedge) foram também calculados, sendo, os mesmos, classificados segundo magnitude trivial (0.00-0.19), pequena (0.20-0.59), moderada (0.60-1.19), grande (1.20-1.99), muito grande (2.00-3.99) e extremamente grande (≥ 4.00) (Hopkins et al., 2009).

Resultados

Velocidade de execução do movimento

Dados referentes à velocidade de execução recolhidos durante as sessões de treino no exercício de supino encontram-se apresentados na Tabela 2. Diferenças estatisticamente significativas foram encontradas nas primeira e segunda séries de treino entre os protocolos de treino S+A e A+S ao nível da variável correspondente à VMP, com registos superiores a serem observados no protocolo S+A. Adicionalmente, também o PV se revelou superior na segunda série da mesma sessão de treino. No que diz respeito a estas observações, a magnitude das diferenças estatísticas foi classificada como moderada. Estes resultados indicam que a execução do agachamento primeiramente na sessão de treino teve como consequência o decréscimo na velocidade de execução do movimento no exercício de supino. As diferenças mencionadas são mais facilmente perceptíveis analisando cada repetição executada e comparando entre protocolos de treino.

Tabela 2. Comparação de performance entre protocolos de treino no exercício de supino em cada série.

Variável	S+A	A+S	Diferença (95% IC)	<i>p</i>	<i>g</i>
VMP-S1 (m·s ⁻¹)	0.50 ± 0.08	0.42 ± 0.08	0.07 (0.01 to 0.14)	0.03*	0.81
VMP-S2 (m·s ⁻¹)	0.50 ± 0.07	0.42 ± 0.08	0.08 (0.01 to 0.14)	0.03*	0.94
VMP-S3 (m·s ⁻¹)	0.47 ± 0.07	0.42 ± 0.06	0.05 (-0.01 to 0.11)	0.07	0.73
PV-S1 (m·s ⁻¹)	0.75 ± 0.12	0.65 ± 0.12	0.09 (-0.01 to 0.20)	0.08	0.72
PV-S2 (m·s ⁻¹)	0.74 ± 0.11	0.62 ± 0.10	0.11 (0.03 to 0.20)	0.01*	1.03
PV-S3 (m·s ⁻¹)	0.68 ± 0.12	0.61 ± 0.08	0.07 (-0.01 to 0.15)	0.09	0.59
TPV-S1 (m·s ⁻¹)	1040.30 ± 258.57	1162.40 ± 352.79	-122.10 (-343.08 to 98.88)	0.24	-0.36
TPV-S2 (m·s ⁻¹)	1075.10 ± 202.98	1136.00 ± 267.14	-60.90 (-254.25 to 132.45)	0.49	-0.23
TPV-S3 (m·s ⁻¹)	1043.20 ± 199.92	1109.80 ± 209.62	-66.60 (-270.58 to 137.38)	0.48	-0.30

* $p < 0.05$; Os dados encontram-se apresentados sob a forma de média ± desvio padrão. S+A = agachamento seguido supino; A+S = supino seguido de agachamento; IC: intervalo de confiança; *g*: tamanho do efeito (*g* de Hedge); VMP: velocidade média propulsiva; PV: pico de velocidade; TPV: tempo até ao pico de velocidade; S: série.

Na Figura 3, verifica-se a maior velocidade de execução do movimento no exercício de supino quando realizado antes do agachamento (protocolo S+A), sobretudo na primeira série. Nesta série, cinco das seis repetições foram executadas com maior velocidade,

enquanto na segunda e terceira séries, três repetições foram executadas a uma velocidade significativamente superior. Estes registos demonstram uma tendência para atingir valores superiores nas primeiras repetições de cada série.

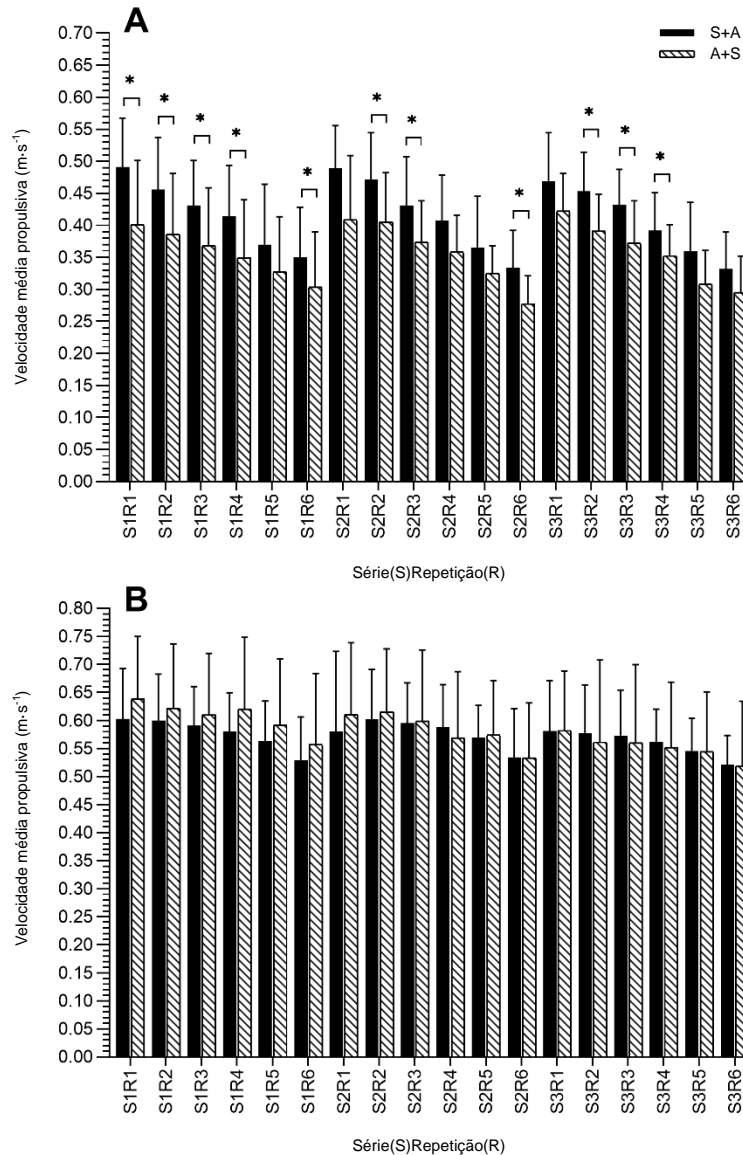


Figura 3. Valores de velocidade média propulsiva de cada repetição dos exercícios de supino (A) e agachamento (B). Valores registados nas seis repetições executadas (R1 até R6) durante a primeira (S1), segunda (S2), e terceira (S3) série, em ambos os protocolos de treino: supino seguido de agachamento (S+A) e agachamento seguido de supino (A+S). * $p \leq 0.05$.

A Tabela 3 contém dados relativos à velocidade de execução do exercício de agachamento nos protocolos de treino S+A e A+S. Embora os valores registados no protocolo A+S se

tenham demonstrado superiores aos do protocolo S+A em todas as variáveis, ainda assim, estas diferenças não atingiram significância estatística. Estas observações poderão ser confirmadas na Figura 3, em que é possível verificar que os valores referentes à VMP, em cada repetição executada do exercício de agachamento, não se revelaram diferentes entre protocolos.

Tabela 3. Comparação de performance entre protocolos de treino no exercício de agachamento em cada série.

Variável	S+A	A+S	Diferença (95% IC)	<i>p</i>	<i>g</i>
VMP-S1 (m·s ⁻¹)	0.62 ± 0.09	0.65 ± 0.10	-0.03 (-0.08 to 0.02)	0.22	-0.29
VMP-S2 (m·s ⁻¹)	0.63 ± 0.09	0.63 ± 0.12	-0.01 (-0.07 to 0.06)	0.86	-0.05
VMP-S3 (m·s ⁻¹)	0.61 ± 0.07	0.61 ± 0.10	0.00 (-0.04 to 0.04)	1.00	0.00
PV-S1 (m·s ⁻¹)	1.14 ± 0.14	1.21 ± 0.13	-0.07 (-0.19 to 0.04)	0.18	-0.49
PV-S2 (m·s ⁻¹)	1.15 ± 0.11	1.16 ± 0.18	-0.01 (-0.13 to 0.11)	0.86	-0.06
PV-S3 (m·s ⁻¹)	1.12 ± 0.10	1.11 ± 0.17	0.00 (-0.10 to 0.11)	0.95	0.02
TPV-S1 (m·s ⁻¹)	735.50 ± 93.44	849.30 ± 311.05	-113.80 (-324.17 to 96.57)	0.25	-0.45
TPV-S2 (m·s ⁻¹)	802.90 ± 149.38	810.00 ± 164.12	-7.10 (-83.25 to 69.05)	0.84	-0.04
TPV-S3 (m·s ⁻¹)	806.20 ± 195.80	881.80 ± 216.52	-75.60 (-191.78 to 40.58)	0.18	-0.34

Os dados encontram-se apresentados sob a forma de média ± desvio padrão. S+A = agachamento seguido supino; A+S = supino seguido de agachamento; IC: intervalo de confiança; *g*: tamanho do efeito (*g* de Hedge); VMP: velocidade média propulsiva; PV: pico de velocidade; TPV: tempo até ao pico de velocidade; S: série.

Lactato sanguíneo e frequência cardíaca

Na Figura 4 encontram-se representadas as diferenças relativas entre os protocolos de treino S+A e A+S no que concerne ao lactato sanguíneo e à frequência cardíaca. Conforme apresentado, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre protocolos ($p > 0.05$). Os valores de lactato sanguíneo aumentaram de 1.8 ± 0.2 mmol/L para 6.2 ± 1.7 mmol/L após completar o protocolo S+A e de 1.8 ± 0.2 mmol/L para 6.5 ± 1.0 mmol/L após o protocolo A+S. Quanto à frequência cardíaca, registou-se um aumento de 69.1 ± 6.9 bpm para 117.8 ± 13.4 bpm após concluído o protocolo S+A e de 68.7 ± 7.5 bpm para 124.2 ± 12.8 bpm completado o protocolo A+S.

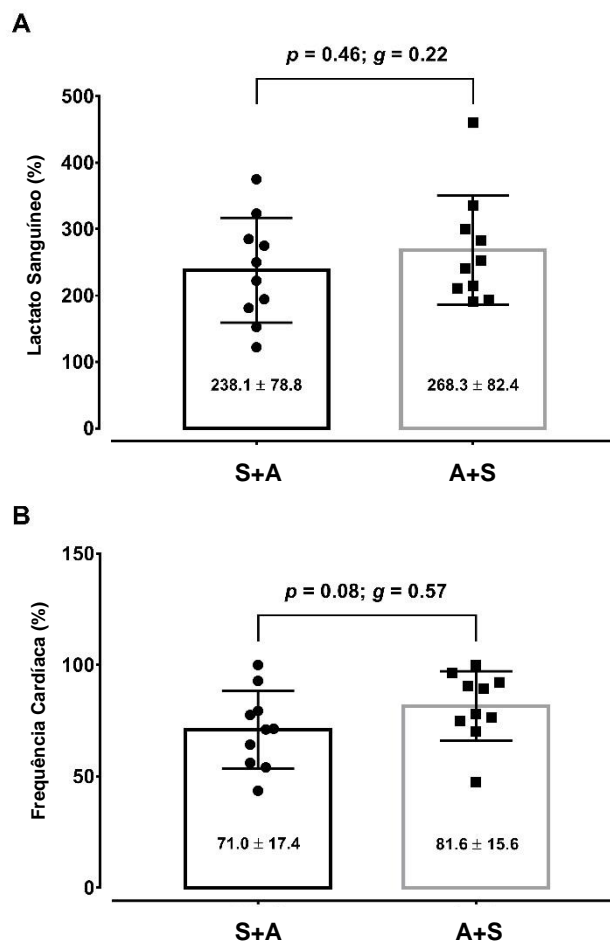


Figura 4. Diferenças relativas entre o protocolo de treino S+A (supino seguido de agachamento) vs. Protocolo de treino A+S (agachamento seguido de supino) ao nível do lactato sanguíneo (A) e frequência cardíaca (B). *g*: tamanho do efeito (*g* de Hedge).

Discussão

No presente estudo procurámos analisar a influência da ordem dos exercícios de supino e agachamento, enquanto primeiro e segundo exercícios de uma sessão de treino, na velocidade de execução do movimento.

De um modo geral, os resultados demonstraram que, numa sessão de treino da força, executar primeiro o exercício de agachamento impactou negativamente a velocidade de execução do exercício seguinte, o supino. Por outro lado, o supino, enquanto primeiro exercício da sessão, não induziu uma diminuição na velocidade de execução do agachamento. Desta forma, estes resultados encontram-se em linha com a hipótese formulada previamente baseada em evidências publicadas na literatura científica (Simão et al., 2012; Neves et al., 2023). Considerando então a possibilidade de diferentes ordens de exercícios terem associadas exigências cardiovasculares, metabólicas e neuromusculares (Simão et al., 2007; Simão et al., 2013), seria expectável que os valores de produção de lactato sanguíneo e frequência cardíaca fossem superiores executando o agachamento por último, já que este exercício induz um maior *stress* metabólico e hemodinâmico do que o supino (Andrade et al., 2022). Contudo, não existindo diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos de treino S+A e A+S ao nível do lactato sanguíneo e frequência cardíaca, estas observações não confirmaram a nossa segunda hipótese.

O impacto da ordem dos exercícios nos índices de performance física tem sido explorado na literatura científica, com evidências de que a performance tende a ser superior nos primeiros exercícios da sessão de treino devido aos índices inferiores de fadiga (Nunes et al., 2021; Simão et al., 2012). Simão et al. (2012) destacaram no seu estudo a influência significativa da ordem dos exercícios, permitindo realizar um maior número de repetições e, conseqüentemente, um maior volume de treino nos exercícios executados no princípio da sessão de treino. Esta observação surge em linha com os dados do presente estudo, em que se registou uma performance inferior no supino quando precedido pelo agachamento.

Relativamente ao exercício de supino, a VMP registada nas primeira e segunda séries do protocolo A+S revelou-se significativamente menor do que a registada no protocolo S+A. Esta tendência verificou-se também ao nível da variável respeitante ao PV, embora apenas na segunda série. Adicionalmente, na primeira série, quase todas as repetições foram executadas com uma VMP inferior, assim como cerca de metade das repetições

nas séries seguintes, apesar de na terceira série não terem sido observadas diferenças significativas. Deste modo, considerando que estas variáveis estão intimamente associadas à intensidade relativa do exercício, é concebível que estes valores referentes à velocidade de execução do movimento observados durante o protocolo de treino A+S tenham sido provocados pela fadiga induzida pela realização do exercício de agachamento imediatamente antes, visto que a carga relativa imposta não sofreu alterações face à outra sessão. Poderá então ser colocado como hipótese que a diferença na quantidade de massa muscular recrutada no exercício de agachamento face ao supino (maior no primeiro) desempenhou um papel determinante no registo destes valores (Simão et al., 2012; Neves et al., 2023).

Esta diminuição de performance no exercício de supino quando precedido pelo agachamento poderá dever-se a um conjunto de fatores relacionados, nomeadamente, ao grau de fadiga instalada e exigências neuromusculares impostas. O agachamento, sendo um exercício multiarticular, terá associado o recrutamento de grandes grupos musculares, o que, por sua vez, induz índices de fadiga neuromuscular consideráveis, diminuindo a capacidade do sistema nervoso central para estimular eficazmente as unidades motoras envolvidas na execução do movimento do supino, reduzindo a capacidade de produção de força (Nunes et al., 2021; Simão et al., 2012; Neves et al., 2023). Assim, conforme apontado pela literatura, a execução de exercícios envolvendo grandes grupos musculares numa fase inicial da sessão de treino poderá impactar negativamente a performance nos exercícios subsequentes, recrutando grupos musculares mais pequenos (Nunes et al., 2021; Simão et al., 2012; Neves et al., 2023). Complementarmente, é também conhecido o maior dispêndio energético associado às últimas tarefas de treino, despoletado pela fadiga acumulada ao longo da sessão (Farinatti et al., 2009). Neste âmbito, Miranda et al. (2010) alicerçaram estas evidências demonstrando que a execução de exercícios envolvendo grupos musculares do tronco e membros superiores pelo final da sessão, após a execução de exercícios envolvendo os membros inferiores, viu-se significativamente afetada ao nível da performance ao longo das repetições realizadas, particularmente quando aplicados curtos intervalos de descanso entre séries. Paralelamente, os valores de produção de força revelam-se superiores quando exercícios multiarticulares são realizados no início da sessão, comprometendo esta capacidade nos exercícios seguintes (Sforzo & Touey, 1996).

No que diz respeito ao agachamento, os resultados obtidos neste estudo não revelaram diferenças significativas no que toca à velocidade de execução do mesmo nos dois protocolos de treino. Estes resultados encontram-se em linha com os reportados num estudo recente conduzido por Neves et al. (2023), no qual se observou que a realização

do exercício de supino antes do agachamento não afetou a capacidade de produção de potência muscular neste último exercício. Seguindo esta tendência, executar três séries de seis repetições com 80% do 1RM de supino não parece influenciar a velocidade de execução do agachamento. Monteiro et al. (2010) demonstraram que a realização do exercício de supino antes da prensa de pernas induz um menor grau de fadiga, potenciando um desempenho superior no exercício subsequente, quando comparado à ordem inversa dos exercícios. Não obstante, esta observação diverge parcialmente de alguma literatura previamente publicada, indicando que a performance no exercício realizado por último numa sessão de treino poder-se-á ver afetada pelos exercícios anteriores. Normalmente, espera-se que o segundo exercício numa sequência induza sinais mais evidentes de fadiga, devido à ocorrência do fenómeno da fadiga muscular não localizada, que poderá comprometer o desempenho da musculatura não diretamente exercitada previamente (Halperin et al., 2015). Este efeito pode ser explicado pela existência de vários mecanismos, incluindo a inibição do sistema nervoso central, que leva a uma redução no envio de estímulos nervosos para o músculo, diminuindo assim a sua capacidade de contração, e por fatores psicológicos, como a diminuição da motivação ou da capacidade de foco após a realização de um exercício extenuante (Van Cutsem et al., 2017). Contudo, a predominância dos mecanismos que excitam e estimulam a musculatura, em comparação com aqueles que induzem elevado grau de fadiga, pode explicar a ausência de um impacto significativo da ordem dos exercícios, tal como foi reportado na literatura existente e também observado no presente estudo (Aboodarda et al., 2015; Van Cutsem et al., 2017; Halperin et al., 2015; Monteiro et al., 2019).

Neste estudo, seria expectável que o exercício anterior provocasse no seguinte uma melhoria significativa na sua performance devido à ocorrência do fenómeno de potenciação pós-ativação (PPA) muscular, previamente explorado na literatura científica (Blazevich & Babault, 2019; Boullosa et al., 2020). Contudo, embora geralmente a aplicação destas estratégias se reflita na obtenção de resultados positivos (Blazevich & Babault, 2019; Boullosa et al., 2020), isto não verificou na presente investigação. Pelo contrário, os nossos dados sugerem que a fadiga induzida pela execução do exercício de agachamento atingiu níveis que não permitiram a ocorrência do fenómeno de potenciação do exercício seguinte, impactando negativamente a performance no exercício de supino. Neste campo, é já sabido que a eficácia dos protocolos de PPA depende de um conjunto de fatores (p. ex., no caso da performance desportiva, a modalidade praticada, o *timing* da sessão de treino e as características do sujeito) (Blazevich & Babault, 2019). Por exemplo, a especificidade dos exercícios de treino é considerada essencial para a maximização da performance na atividade seguinte

(Blazevich & Babault, 2019). Desta feita, o supino não poderá ser considerado específico para a realização do agachamento, e vice-versa, uma vez que cada exercício tem diferentes grupos musculares alvo e padrões de movimento distintos.

De acordo com a nossa segunda hipótese, o protocolo de treino S+A proporcionaria valores de lactato sanguíneo e frequência cardíaca mais elevados, em comparação com o protocolo A+S. O exercício de agachamento, sendo executado com cargas elevadas, como no presente estudo, tem associadas exigências metabólicas e hemodinâmicas superiores face ao exercício de supino (Andrade et al., 2022). Portanto, esperávamos registrar uma maior resposta neste campo imediatamente após a sessão de treino. Contudo, isto não se verificou, conduzindo à rejeição da hipótese formulada. Um estudo realizado em torno da influência da ordem dos exercícios nas respostas fisiológicas revelou resultados pouco concretos (Cardozo & Destro, 2022). Neste caso, a execução do agachamento antes do supino não induziu respostas metabólicas e hemodinâmicas significativamente superiores comparativamente à ordem inversa destes exercícios. Ainda assim, estes resultados poderão estar relacionados com uma possível acumulação de fadiga no primeiro exercício da sessão, que se manteve presente na execução do supino. Deste modo, estes dados sugerem que o agachamento induz uma maior exigência fisiológica quando este é executado à máxima velocidade intencional no princípio da sessão de treino da força.

A literatura científica tem vindo a destacar a relevância da ordem dos exercícios nos indicadores de performance, analisando de modo particular o seu efeito nas adaptações ao longo prazo (Nunes et al., 2021; Cardozo & Destro, 2022; Avelar et al., 2019). Neste âmbito, a ordem dos exercícios surge como um fator preponderante quando o objetivo de treino reside no aumento da força máxima, sendo observáveis maiores ganhos nos exercícios realizados no início da sessão. Esta variável assume menor importância no caso da hipertrofia muscular (Nunes et al., 2021; Avelar et al., 2019). Não obstante, é pertinente ter em conta que a maioria das investigações nesta temática aplicaram uma metodologia de treino consistindo em séries tradicionais de treino da força, com repetições realizadas até à falha mecânica/muscular (Nunes et al., 2021). O presente estudo recorreu à monitorização da velocidade de execução do movimento ao longo de toda a sessão de treino, permitindo a análise posterior das respostas agudas a cada série e repetição realizada. Os resultados recolhidos, cruzados com os reportados na literatura existente, destacam a sequência dos exercícios numa sessão de treino como uma variável fulcral no planeamento do treino, considerando os objetivos específicos pré-definidos. Por exemplo, se o objetivo de treino reside na maximização da performance da musculatura da parte superior do corpo, para o planeamento da sessão, será mais

adequado priorizar exercícios envolvendo estes grupos musculares, como o supino, antes de executar exercícios mais exigentes para os membros inferiores, como o agachamento. Conforme previamente constatado, o primeiro exercício beneficia de menores níveis de fadiga física, conduzindo a índices de performance superiores. Complementarmente, os nossos resultados sugerem que a ordem dos exercícios não tem associada um impacto significativo nas respostas metabólicas e hemodinâmicas, uma vez que não se observaram diferenças significativas ao nível do lactato sanguíneo e frequência cardíaca entre os dois protocolos de treino implementados.

O presente estudo, porém, apresenta algumas limitações dignas de menção. A reduzida dimensão da amostra constitui uma importante condicionante nesta investigação, impedindo a formulação de recomendações práticas mais robustas em torno desta temática. Adicionalmente, deverá ser tido em conta que a metodologia experimental utilizada neste estudo não nos permitiu aferir as implicações das diferentes ordens de exercícios na performance a longo prazo, pelo que é sugerido algum cuidado na interpretação dos resultados aqui reportados. Por fim, de notar também a possível influência das atividades desempenhadas pelos participantes durante os procedimentos experimentais nos resultados obtidos em treino, atividades não controladas para efeitos de investigação. Consequentemente, futuras investigações deverão ter em conta as limitações apresentadas, interpretando-as como linhas orientadoras para a condução de estudos inovadores neste âmbito. Suplementarmente, recomenda-se também a implementação de metodologias experimentais semelhantes, de modo a robustecer as evidências publicadas, analisando a ordem entre outros exercícios de treino da força e/ou recorrendo a outras estratégias de aquecimento.

Conclusão

A ordem dos exercícios tem vindo a ser amplamente discutida entre profissionais e investigadores no treino da força pelo seu significativo impacto nos indicadores de performance. De acordo com os nossos dados, a realização do exercício de agachamento poderá afetar a velocidade de execução do exercício subsequente, o supino, enquanto a sua ordem inversa parece não ter implicações negativas neste indicador de performance no treino de membros inferiores. Paralelamente, não foram encontradas diferenças significativas entre protocolos ao nível do lactato sanguíneo produzido e frequência cardíaca registada no final de cada sessão, indicando que ambos os protocolos induziram exigências semelhantes em termos metabólicos e hemodinâmicos. Conforme previamente formulado como hipótese, isto sugere que a quantidade de massa muscular recrutada em cada exercício desempenha um papel crucial na performance do exercício seguinte, destacando a importância da otimização da ordem de exercícios propostos para a sessão de treino em que a velocidade de execução do movimento representa um variável pertinente. Estes resultados revelam-se úteis para os profissionais de exercício físico, providenciando evidências científicas no campo da estruturação das sessões de treino para o alcance dos objetivos pretendidos. Em suma, se o objetivo de treino reside na manutenção de velocidades de execução altas treinando com cargas externas elevadas, o exercício de supino deverá ser realizado antes do agachamento.

Referências bibliográficas

Aboodarda, S.J., Copithorne, D.B., Power, K.E., Drinkwater, E., & Behm, D.G. (2015). Elbow flexor fatigue modulates central excitability of the knee extensors. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 40(9), 924–930. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0088>.

American College of Sports Medicine (2009). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 687-708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>.

Andrade, J., Esteves, D., Ferraz, R., Marques, D.L., Branquinho, L., Marinho, D.A., Marques, M.C., & Neiva, H.P. (2022). Acute Effects of Heavy Strength Training on Mechanical, Hemodynamic, Metabolic, and Psychophysiological Parameters in Young Adult Males. *Sports*, 10(12), 195. <https://doi.org/10.3390/sports10120195>.

Avelar, A., Ribeiro, A.S., Nunes, J.P., Schoenfeld, B.J., Papst, R.R., Trindade, M.C.C., Bottaro, M., & Cyrino, E.S. (2019). Effects of order of resistance training exercises on muscle hypertrophy in young adult men. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 44(4), 420–424. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0478>.

Arifin, W.N. Sample Size Calculator (Version 2.0) [Spreadsheet File]. 2017. Available online: <http://wnarifin.github.io> (accessed on 20 June 2024).

Banyard, H.G., Nosaka, K., Vernon, A.D., & Haff, G.G. (2018). The Reliability of Individualized Load–Velocity Profiles. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(6), 763–769. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0610>.

Blazevich, A.J., & Babault, N. (2019). Post-activation Potentiation Versus Post-Activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues. *Frontiers in Physiology*, 10, 1359. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359>.

Boulossa, D., Beato, M., Dello Iacono, A., Cuenca-Fernández, F., Doma, K., Schumann, M., Zagatto, A.M., Loturco, I., & Behm, D.G. (2020). A New Taxonomy for Postactivation Potentiation in Sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(8), 1197–1200. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0350>.

Cardozo, D., & Destro, D.D.S. (2022). Exercise order in resistance training—A brief review of the acute effects on cardiovascular response in the post-exercise period. *Research, Society and Development*, 11(13), e272111335489. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35489>.

Conceição, F., Fernandes, J., Lewis, M., González-Badillo, J.J., Jiménez-Reyes, P. (2015). Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *Journal of Sports Sciences*, 34(12), 1099–1106. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1090010>.

Davies, T.B., Halaki, M. Orr, R., Helms, E.R., & Hackett, D.A. (2019). Changes in Bench Press Velocity and Power After 8 Weeks of High-Load Cluster- or Traditional-Set Structures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(10), 2734–2742. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003166>.

Farinatti, P.T., Simão, R., Monteiro, W.D., & Fleck, S.J. (2009). Influence of exercise order on oxygen uptake during strength training in young women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(3), 1037–1044. <https://doi.org/10.1519/JSC.ob013e3181a2b3e4>.

Filip-Stachnik, A., Krzysztofik, M., Del Coso, J., & Wilk, M. (2022). Acute Effects of Two Caffeine Doses on Bar Velocity during the Bench Press Exercise among Women Habituated to Caffeine: A Randomized, Crossover, Double-Blind Study Involving Control and Placebo Conditions. *European Journal of Nutrition*, 61(2), 947–955. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02708-8>.

García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F.L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F.J., & Gregory Haff, G. (2018). Mean Velocity vs. Mean Propulsive Velocity vs. Peak Velocity: Which Variable Determines Bench Press Relative Load With Higher Reliability?. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1273–1279. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001998>.

García-Ramos, A., Stirn, I., Strojnik, V., Padial, P., De la Fuente, B., Argüelles-Cienfuegos, J., & Feriche, B. (2016). Comparison of the force-, velocity-, and power-time curves recorded with a force plate and a linear velocity transducer. *Sports Biomechanics*, 15(3), 329–341. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1161821>.

González-Badillo, J.J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement Velocity as a Measure of Loading Intensity in Resistance Training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>.

González-Badillo, J.J., & Marques, M.C. (2010). Relationship Between Kinematic Factors and Countermovement Jump Height in Trained Track and Field Athletes? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3443–3447. <https://doi.org/10.1519/JSC.ob013e3181bac37d>.

Halperin, I., Chapman, D.W., & Behm, D.G. (2015). Non-local muscle fatigue: Effects and possible mechanisms. *European Journal of Applied Physiology*, 115(10), 2031–2048. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3249-y>.

Hopkins, W.G., Marshall, S.W., Batterham, A.M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.ob013e31818cb278>.

Hori, N., Newton, R. U., Andrews, W. A., Kawamori, N., McGuigan, M. R., & Nosaka, K. (2007). Comparison of four different methods to measure power output during the hang power clean and the weighted jump squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 314–320. <https://doi.org/10.1519/R-22896.1>.

Jiménez-Reyes, P., Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Marques, M.C., & González-Badillo, J.J. (2016). Maximal Velocity as a Discriminating Factor in the Performance of Loaded Squat Jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 227–234. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0217>.

Kraemer, W.J., & Ratamess, N.A. (2004). Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(4), 674–688. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000121945.36635.61>.

Lu, C., Zhang, K., Cui, Y., Tian, Y., Wang, S., Cao, J., & Shen, Y. (2023). Development and Evaluation of a Full-Waveform Resistance Training Monitoring System Based on a Linear Position Transducer. *Sensors*, 23(5), 2435. <https://doi.org/10.3390/s23052435>.

Miranda, H., Simão, R., dos Santos Vigário, P., de Salles, B.F., Pacheco, M.T., & Willardson, J.M. (2010). Exercise order interacts with rest interval during upper-body

resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1573–1577. <https://doi.org/10.1519/JSC.ob013e3181d8ea61>.

Monteiro, E.R., Steele, J., Novaes, J.S., Brown, A.F., Cavanaugh, M.T., Vingren, J.L., & Behm, D.G. (2019). Men Exhibit Greater Fatigue Resistance than Women in Alternated Bench Press and Leg Press Exercises. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(2), 238–245. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.08062-8>.

Moura, R.E., Bezerra Da Silva, R.F., Gomes, L.M.D.S., Ramos Da Silva, J.L., Henrique, R.D.S., Sousa, F.A.D.B., & Fonseca, F.D.S. (2024). Monitoring Bar Velocity to Quantify Fatigue in Resistance Training. *International Journal of Sports Medicine*, 45(8), 624–632. <https://doi.org/10.1055/a-2316-7966>.

Neves, P.P., Alves, A.R., Ferraz, R., Faíl, L.B., Marques, M.C., Marinho, D.A., & Neiva, H.P. (2023). The Influence of the Order of Strength Training Exercises on Mechanical Power and Work. In Proceedings of the 10th Congress of the Portuguese Society of Biomechanics; Martins, A., Roseiro, L., Messias, A.L., Gomes, B., Almeida, H., António Castro, M., Neto, M.A., De Fátima Paulino, M., Maranhã, V., Eds.; Lecture Notes in Bioengineering. Springer Nature Switzerland: Cham, Switzerland, 2023; pp. 471–479, ISBN 978-3-031-47789-8.

Nunes, J.P., Grgic, J., Cunha, P.M., Ribeiro, A.S., Schoenfeld, B.J., De Salles, B.F., & Cyrino, E.S. (2021). What Influence Does Resistance Exercise Order Have on Muscular Strength Gains and Muscle Hypertrophy? A Systematic Review and Meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, 21(2), 149–157. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1733672>.

Pérez-Castilla, A., Jiménez-Reyes, P., Haff, G.G., & García-Ramos, A. (2021). Assessment of the Loaded Squat Jump and Countermovement Jump Exercises with a Linear Velocity Transducer: Which Velocity Variable Provides the Highest Reliability?. *Sports Biomechanics*, 20(2), 247–260. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1540651>.

Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and Concurrent Validity of Seven Commercially Available Devices for the Assessment of Movement Velocity at Different Intensities During the Bench Press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1258–1265. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003118>.

Ribeiro, B., Pereira, A., Alves, A.R., Neves, P.P., Marques, M.C., Marinho, D.A., & Neiva, H.P. (2021). Specific warm-up enhances movement velocity during bench press and squat resistance training. *Journal of Men's Health*, 17(4), 226–233. <https://doi.org/10.31083/jomh.2021.069>.

Ribeiro, B., Pereira, A., Neves, P.P., Sousa, A.C., Ferraz, R., Marques, M.C., Marinho, D.A., & Neiva, H.P. (2020). The Role of Specific Warm-up during Bench Press and Squat Exercises: A Novel Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6882. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186882>.

Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J.J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>.

Sánchez-Medina, L., Pallarés, J., Pérez, C., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. (2017). Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the Full Back Squat Exercise. *Sports Medicine International Open*, 1(2), E80–E88. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102933>.

Sánchez-Medina, L., Perez, C.E., & González-Badillo, J.J. (2010). Importance of the Propulsive Phase in Strength Assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(2), 123–129. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1242815>.

Sforzo, G.A., & Touey, P.R. (1996). Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(1), 20–24.

Simão, R., De Salles, B.F., Figueiredo, T., Dias, I., & Willardson, J.M. (2012). Exercise Order in Resistance Training. *Sports Medicine*, 42(3), 251–265. <https://doi.org/10.2165/11597240-000000000-00000>.

Simão, R., De Tarso Veras Farinatti, P., Polito, M.D., Viveiros, L., & Fleck, S.J. (2007). Influence of Exercise Order on the Number of Repetitions Performed and Perceived Exertion during Resistance Exercise in Women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 23–28. <https://doi.org/10.1519/00124278-200702000-00005>.

Simão, R., Leite, R.D., Speretta, G.F., Maior, A.S., de Salles, B.F., de Souza Junior, T.P., Vingren, J.L., & Willardson, J.M. (2013). Influence of upper-body exercise order on

hormonal responses in trained men. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 38(2), 177–181. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0040>.

Spreuwenberg, L.P., Kraemer, W.J., Spiering, B.A., Volek, J.S., Hatfield, D.L., Silvestre, R., Vingren, J.L., Fragala, M.S., Häkkinen, K., Newton, R.U., et al. (2006). Influence of exercise order in a resistance-training exercise session. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(1), 141–144. <https://doi.org/10.1519/R-18185.1>.

Van Cutsem, J., Marcora, S., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017). The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(8), 1569–1588. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>.

Article

The Impact of Exercise Order on Velocity Performance in the Bench Press and the Squat: A Comparative Study

Rogério Martins Pereira ^{1,2}, Diogo Luis Marques ^{1,2}, Ana Ruivo Alves ^{1,2}, Daniel Almeida Marinho ^{1,2}, Pedro Pombo Neves ^{1,2}, António José Silva ^{2,3,*} and Henrique Pereira Neiva ^{1,2,*}

¹ Department of Sport Sciences, University of Beira Interior, Convento de Santo António, 6200-001 Covilhã, Portugal; rogerio.pereira@ubi.pt (R.M.P.); diogo.marques@ubi.pt (D.L.M.); asra@ubi.pt (A.R.A.); marinho.d@gmail.com (D.A.M.); pedroneves93@hotmail.com (P.P.N.)

² Research Center in Sports Sciences, Health Sciences and Human Development (CIDESD), Convento de Santo António, 6200-001 Covilhã, Portugal

³ Department of Sport Sciences, University of Trás-os-Montes and Alto Douro (UTAD), 5000-801 Vila Real, Portugal

* Correspondence: ajsilva@utad.pt (A.J.S.); hpn@ubi.pt (H.P.N.)

Abstract: We analyzed the influence of exercise order using the bench press and squat as the first or second exercise of the session on velocity performance. Ten male trained individuals (20.9 ± 0.7 years) randomly performed two protocols of three sets of six repetitions at 80% of their one-repetition maximum with different exercise sequences: the bench press followed by the squat (BP + S) and the squat followed by the bench press (S + BP). A linear velocity transducer attached to the Smith machine barbell measured the mean propulsive velocity (MPV), peak velocity (PV), and time to peak velocity. Additionally, blood lactate and heart rate were measured. Regarding the bench press, differences were found in the MPV in the first (BP + S: 0.50 ± 0.07 m·s⁻¹ vs. S + BP: 0.42 ± 0.08 m·s⁻¹; $p = 0.03$, $g = 0.72$) and second sets (0.50 ± 0.06 m·s⁻¹ vs. 0.42 ± 0.07 m·s⁻¹; $p = 0.03$, $g = 0.73$), and in the PV in the second set (0.74 ± 0.09 m·s⁻¹ vs. 0.63 ± 0.09 m·s⁻¹; $p = 0.02$, $g = 0.86$). Regarding the squat, although the S + BP sequence tended to show higher velocities, no significant differences were found between protocols. These results showed that squatting first decreased subsequent bench press velocity performance. On the other hand, squat velocity performance was not impaired when preceded by the bench press.

Keywords: strength; mechanical variables; exercise sequence; monitoring; performance



Citation: Pereira, R.M.; Marques, D.L.; Alves, A.R.; Marinho, D.A.; Neves, P.P.; Silva, A.J.; Neiva, H.P. The Impact of Exercise Order on Velocity Performance in the Bench Press and the Squat: A Comparative Study. *Appl. Sci.* **2024**, *14*, 7436. <https://doi.org/10.3390/app14177436>

Academic Editor: Arkady Voloshin

Received: 6 July 2024

Revised: 15 August 2024

Accepted: 22 August 2024

Published: 23 August 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Programming resistance training requires a solid understanding of the acute variables involved in training, their manipulation, and their combination to achieve the intended results [1,2]. Training volume, load or intensity, exercise selection, frequency, rest periods between sets and exercises, movement velocity, and exercise order are critical acute variables that strength and conditioning coaches and researchers must consider when designing and monitoring resistance training programs [1,2].

Regarding exercise order, research indicates that it is advised to prioritize larger muscle groups and multiple-joint exercises, such as the squat and bench press, at the beginning of a resistance training session [3,4]. Exercises performed last are intimately associated with decreased performance, regardless of the muscle mass recruited within a training session [3,4]. Furthermore, subjects tend to achieve greater strength and hypertrophy gains in exercises and muscle groups involved in the first exercise of the resistance training session [1,3,4]. These findings suggest that resistance exercises that best address the subject's needs and goals should be prioritized first within a training session, without disregarding other acute variables and training principles [1,3,4].

In order to obtain a deeper insight into the responsiveness to different resistance exercise orders, Neves et al. [5] monitored mechanical power in the bench press and squat. In a crossover design, subjects randomly performed two resistance training sessions with three sets of six repetitions at 80% of their one-repetition maximum (1 RM) using the bench press followed by the squat (condition 1) and the squat followed by the bench press (condition 2). The data showed that squatting before the bench press decreased mechanical performance in the latter exercise. Conversely, no decreases in squat mechanical performance were observed when performing the bench press first. A possible explanation for these results may be related to the greater cardiovascular, metabolic, and neuromuscular demands required by the squat compared to the bench press [5,6].

Despite these novel findings, to our knowledge, there is no research regarding the effects of exercise order on squat and bench press velocity performance. From a strength and conditioning coach and researcher perspective, it is essential to analyze whether squatting first in the session affects bench press velocity performance and vice versa to refine the design of resistance training sessions according to the individual targets.

Regarding velocity variables to assess and monitor strength performance, research indicates that the mean propulsive velocity (MPV) is critical when programming and monitoring resistance training [7]. The MPV only considers the propulsive phase of the lift (i.e., the portion of the concentric phase in which the barbell acceleration is higher than gravity) and avoids underestimating the strength potential when lifting low and moderate relative loads with maximal intended velocities [7,8]. Alongside the MPV, the peak velocity (PV) and time to peak velocity (TPV) assume great relevance in monitoring and testing sport-specific movements performed with maximal intended velocities, such as throws, sprints, and jumps [9–13]. Furthermore, researchers have also shown that the PV can be used to monitor short- and long-term squat and bench press performance [14–16].

Given the relevance of the MPV, PV, and TPV in monitoring resistance training, it is essential to analyze their response pattern to different exercise orders using the most commonly performed strength exercises, the squat and bench press. Therefore, based on these premises, we aimed to analyze the influence of exercise order using the bench press and squat as the first or second exercise of the session on the MPV, PV, and TPV. In addition, we compared the blood lactate and heart rate responses between protocols to understand the metabolic and hemodynamic demands of both exercises when performed in different sequences. We hypothesized that performing the squat first would decrease subsequent bench press velocity performance, while no squat velocity decreases would occur when performing the bench press first. In addition, we expected to observe higher blood lactate and heart rate levels when performing the bench press followed by the squat exercise.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

In a crossover study design, ten male sports science students performed four sessions interspersed with 48 h of rest. We familiarized the participants with the testing procedures and training sessions in the first session, while in the second session, we implemented the progressive loading test in the bench press and squat. In the third and fourth sessions, the participants randomly performed the resistance training protocols using the bench press and squat with different exercise orders: the bench press followed by the squat (BP + S) and the squat followed by the bench press (S + BP). We measured the MPV, PV, and TPV of each repetition performed in both protocols and blood lactate and heart rate before and after the protocols. Two strength and conditioning coaches and researchers supervised all sessions. Figure 1 illustrates the study design.

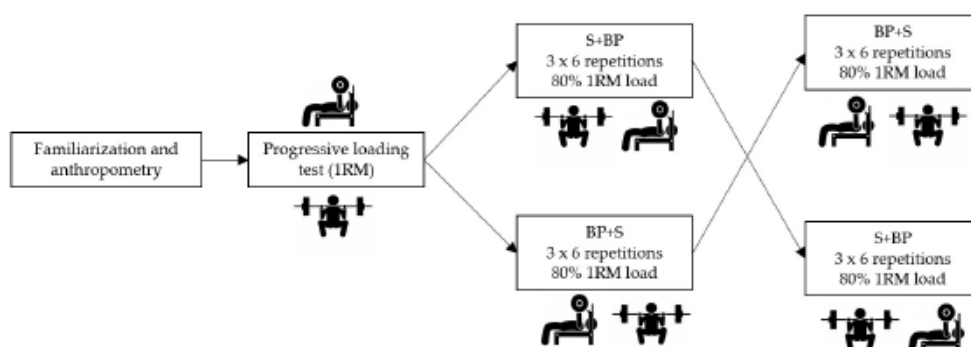


Figure 1. Study design. 1 RM = 1-repetition maximum. BP + S = bench press followed by squat; S + BP = squat followed by bench press. Each stage corresponds to one session.

2.2. Participants

Based on previous similar outcomes [4,17], a priori analysis suggested that a minimum sample size of 11 participants was needed to observe a $0.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ change in movement velocity, with an $\alpha = 0.05$ and statistical power = 0.80 [18]. A drop-out rate of 10% was also considered. The inclusion criteria for participation were male individuals aged 18 years or over, consistently engaging in resistance training in the last six months and performing the squat and bench press in their training routines, able to complete the experimental procedures, and having no clinical conditions that could risk their health during the performance of exercises. All subjects were informed about the experimental procedures and provided informed consent to participate in the study. The University of Beira Interior Ethics Committee approved the study (CE-UBI-Pj-2021-018), which follows the recommendations of the Declaration of Helsinki. Of the 16 participants who provided consent, 2 were excluded for not meeting the inclusion criteria, and therefore, 14 were randomly divided into the two sequences, specifically S + BP ($n = 7$) or BP + S ($n = 7$). Throughout the data collection process, two participants of each sequence were excluded (lost to follow-up or dropped out without a specific reason). Thus, 10 male sports science students remained for the final analysis (Figure 2). Table 1 presents the characteristics of the participants at baseline.

Table 1. Participants' characteristics at baseline ($n = 10$).

Variable	Mean \pm SD
Age (years)	20.9 \pm 0.7
Height (cm)	175.7 \pm 9.7
Body mass (kg)	73.9 \pm 7.3
1 RM bench press (kg)	77.0 \pm 18.3
Bench press relative strength	1.0 \pm 0.2
1 RM squat (kg)	91.0 \pm 16.3
Squat relative strength	1.2 \pm 0.3

1 RM = one-repetition maximum load.

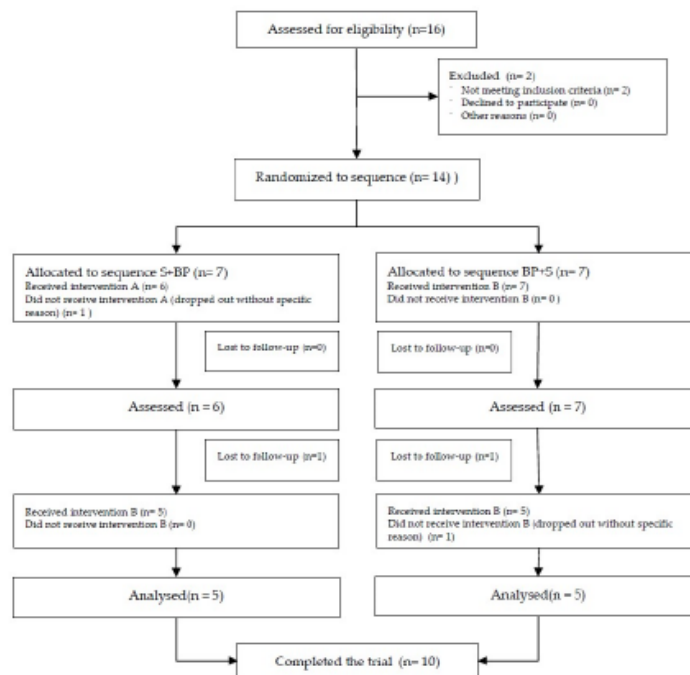


Figure 2. Study flow diagram. BP + S = bench press followed by squat; S + BP = squat followed by bench press.

2.3. Procedures

2.3.1. Familiarization Session

In the first session, we measured each subject's height and body mass (Seca Instruments, Ltd., Hamburg, Germany) and gave instructions regarding the specific execution techniques in the bench press and squat following procedures described elsewhere [7,19]. We also identified the correct position for each subject, which was then used during testing and training protocols.

2.3.2. Progressive Loading Test in the Bench Press and Squat

In the second session, we implemented the progressive loading test in the bench press and squat following the procedures described elsewhere [7,19]. Moreover, the reliability and validity of assessments have been already reported [8,20,21]. Both exercises were performed using a Smith machine (Multipower Fitness Line, Perola, Murcia, Spain) with a linear velocity transducer (T-Force Dynamic Measurement System, Ergotech, Murcia, Spain) attached to the barbell. For the bench press, participants started supine with their feet on the floor, elbows extended, and hands shoulder-width apart. They descended the barbell in a controlled manner until it touched their chest. Between the eccentric and concentric phases, there was a 2 s pause to allow for more reliable measurements. The concentric phase was performed with the maximal intended velocity. For the squat, participants started upright with their knees fully extended, feet shoulder-width apart, and the barbell placed

on their upper trapezius. They descended the barbell in a controlled manner until they reached full knee flexion (full squat) and immediately performed the concentric phase with the maximal intended velocity without jumping off the ground (heel raise was allowed). All participants began the tests with a weight of 20 kg, which was progressively increased by 5–10 kg until an MPV of 0.40 m·s⁻¹ on the bench press and 0.60 m·s⁻¹ on the squat was reached [8,17]. An inter-set rest period of 3–5 min was provided. In the bench press, the participants performed three repetitions for an MPV > 1.00 m·s⁻¹, two repetitions for an MPV between 0.65 and 1.00 m·s⁻¹, and one repetition for an MPV < 0.65 m·s⁻¹ [7]. In the squat, the participants performed three repetitions for an MPV > 1.15 m·s⁻¹, two repetitions for an MPV between 0.70 and 1.15 m·s⁻¹, and one repetition for an MPV < 0.70 m·s⁻¹ [19]. We estimated the 1 RM loads through the following load–velocity equations [8,17]: 1 RM bench press: $(100 \times \text{load}) / (8.4326 \times \text{MPV}^2) - (73.501 \times \text{MPV}) + 112.33$; 1 RM squat $(100 \times \text{load}) / (-5.961 \times \text{MPV}^2) - (50.71 \times \text{MPV}) + 117$.

2.3.3. Resistance Training Protocols and Data Collection

Participants were randomly divided into two groups, each assigned to complete the BP + S and S + BP protocols (according to a computer-generated allocation schedule). Having completed the assigned protocol, both groups were then instructed to perform the exercises in the reverse order, corresponding to the remaining protocol, in different sessions (Figures 1 and 2). In both protocols, the subjects performed the Smith machine squat and Smith machine bench press exercises using the same execution technique described for the tests. The warm-up consisted of two sets of six repetitions at 32% and 64% of their 1 RM load for the first exercise of each protocol [22]. Then, participants performed three sets of six repetitions at 80% of their 1 RM for each exercise, with a 3 min inter-set rest period. Between each protocol, participants had at least 48 h of rest to ensure optimal performance in each session. We attached the cable of the T-Force System to the Smith machine barbell to measure each repetition's MPV, PV, and TPV and registered the maximum value for further analysis. We also measured blood lactate using a hand-held portable device (Lactate Pro 2 LT-1730, Arkray Inc., Tokyo, Japan) and heart rate using a Polar band (Polar H10, Electro, Kempele, Finland) before and immediately after each protocol.

2.4. Statistical Analysis

The sample size was estimated using Microsoft Office Excel v.2407 (Microsoft Inc., Redmond, WA, USA) with a spreadsheet (Sample Size Calculator v2.0) available online [18]. We used SPSS v28.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) to conduct the statistical analysis and GraphPad Prism v7 (GraphPad Inc., San Diego, CA, USA) to generate the figures. We calculated descriptive statistics for each variable, such as means, standard deviations, and 95% confidence intervals. We analyzed and confirmed the normality of the data with the Shapiro–Wilk test. Paired samples *t*-tests compared the velocity data of each exercise after the protocols (i.e., squat velocity after BP + S vs. squat velocity after S + BP and bench press velocity after BP + S vs. bench press velocity after S + BP). Furthermore, paired *t*-tests compared the relative differences (percentage of change) between protocols in terms of blood lactate and heart rate responses. We set the statistical significance at a bilateral *p* < 0.05 and calculated the effect size (Hedges *g*) to compare the magnitude of the differences. The effect size (*g*) was interpreted as follows: trivial, 0.0–0.2; small, 0.2–0.6; moderate, 0.6–1.2; large, 1.2–2.0; very large, 2.0–4.0; and extremely large, >4.0 [23].

3. Results

3.1. Bench Press and Squat Velocity Performance

Table 2 shows the bench press velocity performance after the BP + S and S + BP protocols. There were significant differences between protocols only in the MPV after the first and second training sets and in the PV after the second set. These results indicate that performing the squat first decreased the subsequent bench press velocity performance. This is particularly notable when the MPV is analyzed in each repetition and compared between

conditions. In Figure 3, it is evident that the bench press was faster when performed before the squat (BP + S), especially in the first set. In this set, five out of six repetitions showed higher values, while in the second and third sets, three repetitions were found to be faster. There was a tendency to achieve these higher values in the first repetitions.

Table 2. Comparison between training protocols on bench press performance after each set

Variable	BP + S	S + BP	Difference (95% CI)	<i>p</i>	<i>g</i> -Value
MPV-S1 (m·s ⁻¹)	0.50 ± 0.08	0.42 ± 0.08	0.07 (0.01 to 0.14)	0.03 *	0.81
MPV-S2 (m·s ⁻¹)	0.50 ± 0.07	0.42 ± 0.08	0.08 (0.01 to 0.14)	0.03 *	0.94
MPV-S3 (m·s ⁻¹)	0.47 ± 0.07	0.42 ± 0.06	0.05 (−0.01 to 0.11)	0.07	0.73
PV-S1 (m·s ⁻¹)	0.75 ± 0.12	0.65 ± 0.12	0.09 (−0.01 to 0.20)	0.08	0.72
PV-S2 (m·s ⁻¹)	0.74 ± 0.11	0.62 ± 0.10	0.11 (0.03 to 0.20)	0.01 *	1.03
PV-S3 (m·s ⁻¹)	0.68 ± 0.12	0.61 ± 0.08	0.07 (−0.01 to 0.15)	0.09	0.59
TPV-S1 (m·s ⁻¹)	1040.30 ± 258.57	1162.40 ± 352.79	−122.10 (−343.08 to 98.88)	0.24	−0.36
TPV-S2 (m·s ⁻¹)	1075.10 ± 202.98	1136.00 ± 267.14	−60.90 (−254.25 to 132.45)	0.49	−0.23
TPV-S3 (m·s ⁻¹)	1043.20 ± 199.92	1109.80 ± 209.62	−66.60 (−270.58 to 137.38)	0.48	−0.30

* *p* < 0.05; *p* in bold denotes statistical significance; data are presented as mean ± standard deviation unless otherwise stated. BP + S, bench press followed by squat; S + BP, squat followed by bench press; CI: confidence interval; *g*: Hedge's *g* effect size; MPV: mean propulsive velocity; PV: peak velocity; TPV: time to peak velocity; S, set.

Table 3 shows the squat velocity performance after the BP + S and S + BP protocols. Although the S + BP protocol exhibited higher squat velocity values in all variables compared to the BP + S protocol, there were no significant differences between protocols in terms of squat velocity performance. These results can be confirmed in Figure 3, where it can be verified that the MPV value in each repetition of the squat exercise was not different between the conditions assessed.

Table 3. Comparison between training protocols on squat velocity performance after each set.

Variable	BP + S	S + BP	Difference (95% CI)	<i>p</i>	<i>g</i> -Value
MPV-S1 (m·s ⁻¹)	0.62 ± 0.09	0.65 ± 0.10	−0.03 (−0.08 to 0.02)	0.22	−0.29
MPV-S2 (m·s ⁻¹)	0.63 ± 0.09	0.63 ± 0.12	−0.01 (−0.07 to 0.06)	0.86	−0.05
MPV-S3 (m·s ⁻¹)	0.61 ± 0.07	0.61 ± 0.10	0.00 (−0.04 to 0.04)	1.00	0.00
PV-S1 (m·s ⁻¹)	1.14 ± 0.14	1.21 ± 0.13	−0.07 (−0.19 to 0.04)	0.18	−0.49
PV-S2 (m·s ⁻¹)	1.15 ± 0.11	1.16 ± 0.18	−0.01 (−0.13 to 0.11)	0.86	−0.06
PV-S3 (m·s ⁻¹)	1.12 ± 0.10	1.11 ± 0.17	0.00 (−0.10 to 0.11)	0.95	0.02
TPV-S1 (m·s ⁻¹)	735.50 ± 93.44	849.30 ± 311.05	−113.80 (−324.17 to 96.57)	0.25	−0.45
TPV-S2 (m·s ⁻¹)	802.90 ± 149.38	810.00 ± 164.12	−7.10 (−83.25 to 69.05)	0.84	−0.04
TPV-S3 (m·s ⁻¹)	806.20 ± 195.80	881.80 ± 216.52	−75.60 (−191.78 to 40.58)	0.18	−0.34

Data are presented as mean ± standard deviation unless otherwise stated. BP + S, bench press followed by squat; S + BP, squat followed by bench press; CI: confidence interval; *g*: Hedge's *g* effect size; MPV: mean propulsive velocity; PV: peak velocity; TPV: time to peak velocity; S, set.

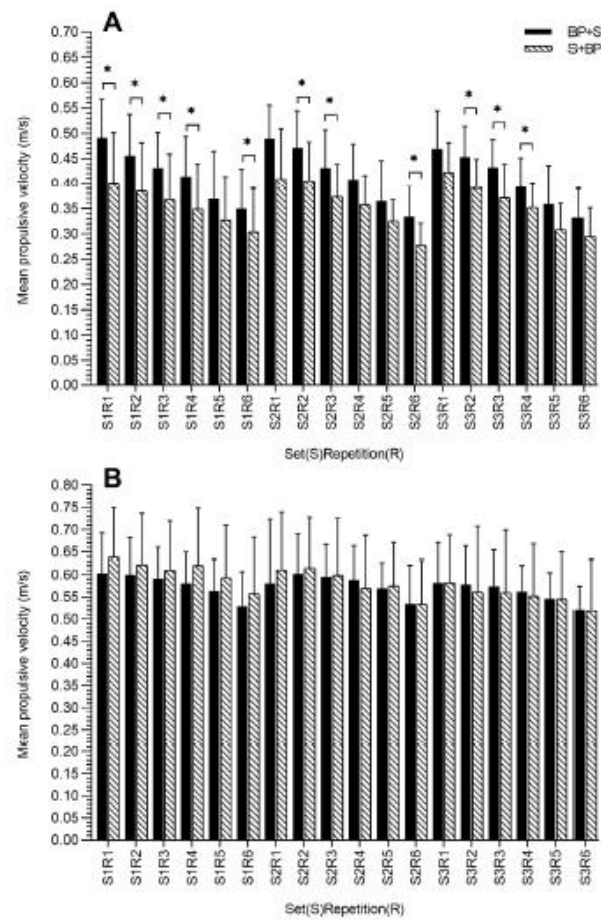


Figure 3. The mean propulsive velocity values in each repetition performed during the bench press (A) or squat (B). The values were obtained in the six repetitions (R1 to R6) during the first (S1), second (S2), and third set (S3) after the protocols: the bench press followed by the squat (BP + S) or the squat followed by the bench press (S + BP). * $p < 0.05$.

3.2. Blood Lactate and Heart Rate Responses

Figure 4 shows the relative differences between the BP + S and S + BP protocols in terms of blood lactate and heart rate measures. We did not observe significant differences between protocols ($p > 0.05$). Blood lactate increased from 1.8 ± 0.2 mmol/L to 6.2 ± 1.7 mmol/L after the BP + S protocol and from 1.8 ± 0.2 mmol/L to 6.5 ± 1.0 mmol/L after the S + BP protocol. Heart rate increased from 69.1 ± 6.9 bpm to 117.8 ± 13.4 bpm after the BP + S protocol and from 68.7 ± 7.5 bpm to 124.2 ± 12.8 bpm after the S + BP protocol.

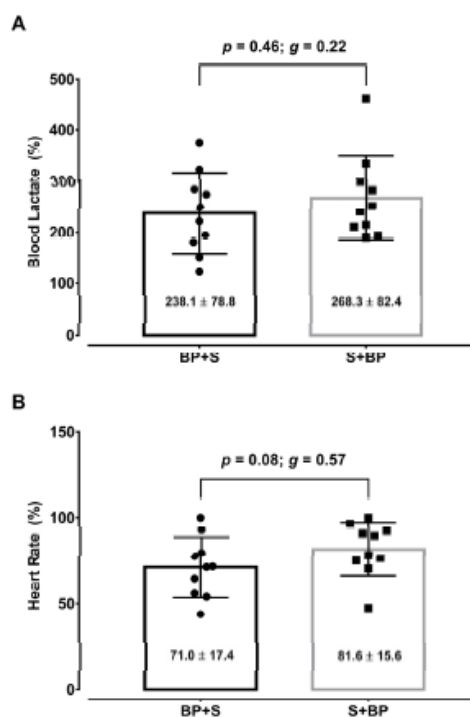


Figure 4. Relative differences between bench press followed by squat (BP + S) protocol (black circles) and squat followed by bench press (S + BP) protocol (black squares) in terms of blood lactate (A) and heart rate (B). *g*: Hedge's *g* effect size.

4. Discussion

This study analyzed the influence of exercise order using the bench press and squat as the first or second exercise of the session on velocity performance. The main findings show that performing the squat as the first exercise of the resistance training session negatively impacted subsequent bench press velocity performance. On the other hand, performing the bench press as the first exercise of the resistance training session did not decrease subsequent squat velocity performance. Therefore, these results align with our first study hypothesis which was designed based on previous results [4,5]. Considering the possibility of the order of exercises impacting the level of effort and metabolic contributions [24,25], it was expected that blood lactate and heart rate values would be higher when performing the squat as the last exercise (i.e., this exercise induces higher metabolic and hemodynamic stress than the bench press) [6]. Nevertheless, our results did not demonstrate significant differences between the BP + S and S + BP protocols in terms of blood lactate and heart rate responses, thus challenging our second hypothesis of observing a higher hemodynamic and metabolic response when performing the squat after the bench press exercise.

The impact of exercise order on performance outcomes is well documented in the literature, with a consensus that exercises performed earlier in a session tend to benefit from greater performance due to lower levels of fatigue [3,4]. Simão et al. [4] highlighted that exercise order significantly influences repetition performance, with exercises at the beginning of a session allowing for greater total repetitions and training volume. This aligns with our findings where bench press performance was compromised when preceded by the squat. In the bench press, the MPV was lower in the S + BP protocol in the first and second sets, and this trend was similar to that of the PV. Moreover, almost all repetitions of the first set were performed with a lower MPV, and this dropped to half of the repetitions in subsequent sets, even when the mean value analysis did not indicate significant differences (i.e., the third set). It can be hypothesized that the difference in the muscle mass recruited in the bench press and squat exercises (more prominent in the latter) played a significant role in these observations [4,5].

The observed reduction in bench press velocity following the squat-first sequence can be attributed to several mechanisms, primarily related to fatigue and neuromuscular demands. The squat, being a multi-joint exercise that recruits large muscle groups, induces substantial neuromuscular fatigue, which likely diminishes the central nervous system's ability to effectively recruit the muscles needed for the bench press, reducing force production [3–5]. Previous findings noted that when larger muscle group exercises are performed first, they can create a level of fatigue that impairs the performance of subsequent smaller muscle group exercises [3–5]. Furthermore, energy expenditure is higher when an exercise is performed later in a session, likely due to accumulated fatigue [26]. Miranda et al. [27] further support these findings by demonstrating that upper body exercises performed later in a session, such as after a squat, suffer from reduced repetition performance, particularly when shorter rest intervals are used. In fact, cumulative total force production was shown to be higher when structural, multi-joint exercises like squats were performed first, with subsequent exercises exhibiting reduced force output [28]. This likely stems from the neuromuscular fatigue induced by the initial high-demand exercise, which can impair performance in subsequent exercises involving smaller muscle groups, as seen in our study.

Additionally, our study did not observe differences between resistance training protocols regarding squat velocity performance. These results align with a recent study by Neves et al. [5], where the authors observed that performing the bench press first did not affect subsequent power production during the squat exercise. Therefore, performing three sets of six repetitions at 80% of one's 1 RM bench press does not seem to influence subsequent squat velocity performance. This is not entirely consistent with previous research, which indicated that performing an exercise last in a sequence may have a negative impact [24]. Inconsistent findings exist, as Monteiro et al. [29] showed that performing the bench press before the leg press induced less fatigue in the latter exercise than in the opposite order. Usually, the second exercise in a sequence would be expected to show more fatigue due to non-local muscle fatigue, which can impair the performance of muscles that have not yet been exercised [30]. This could be explained by mechanisms like central nervous system inhibition, which involves reduced neural drive to the muscles, and psychological factors such as decreased motivation or focus after performing a fatiguing exercise [31]. However, the greater balance of excitatory mechanisms over fatiguing ones might explain the non-impact of exercise order in the literature as well as in the current study [29,32].

We expected that the previous exercise would cause some post-activation potentiation enhancement (PAPE) [33,34] in the following exercise. However, while these strategies can improve performance in certain situations [33,34], it seems that this did not occur in our study. On the contrary, it seems the fatigue from the squat exercise outweighs any potentiation effects, thereby impairing bench press performance. Performing power exercises like the squat first can sometimes enhance subsequent exercise performance due to post-activation potentiation mechanisms. However, when the initial exercise induces

significant fatigue, the negative effects of fatigue outweigh the benefits [35]. It is known that the effectiveness of the PAPE protocols depends on several variables (e.g., the specific sport, the timing of the conditioning activity, and the athlete's characteristics) [33]. For example, the specificity of the conditioning activity is essential for maximizing subsequent exercise [33]. This way, the bench press cannot be understood as specific for the squat, and vice versa, as each exercise targets different muscle groups and movement patterns.

According to our second hypothesis, higher blood lactate and heart rate responses would be observed immediately after the session with the squat performed as the last exercise (i.e., BP + S protocol). As the squat exercise performed with heavy loads (i.e., three sets of eight maximum repetitions) induces higher metabolic and hemodynamic stress than the bench press [6], we expected to observe a higher response immediately after the session. However, our results did not confirm this hypothesis. Previous findings suggested that no clear results exist regarding the influence of exercise order on other physiological responses [36]. Performing the squat first and then the bench press resulted in non-significantly higher metabolic and hemodynamic changes compared to the reverse order. This result may be related to a greater accumulation of fatigue at the beginning of the resistance training session, which was maintained with the subsequent performance of the bench press. Therefore, the present results highlight a possible higher metabolic and hemodynamic demand when the squat is performed first in a resistance training session with the maximal intended velocity.

The literature underscores the significance of exercise order in resistance training, particularly in long-term adaptations [3,36,37]. While increases in strength seem to be higher in exercises that are performed at the beginning of a training session, muscle hypertrophy effects may be achieved regardless of exercise order [3,37]. However, it is important to emphasize that the literature mainly focused on the analysis of traditional strength tests, such as one-repetition maximum and the number of repetitions until failure [3]. The current study used velocity monitoring during an entire training session, allowing us to analyze the acute response in each set and repetition and to compare the performance throughout the training session. The findings from our study, combined with the existing literature, suggest that the sequence of exercises in a training session should be carefully planned according to the specific goals of the training session. If the main goal is to maximize upper body performance, it is beneficial to start with upper body exercises such as the bench press before more challenging lower body exercises like the squat. The first exercise benefits from lower levels of physical fatigue, leading to better overall performance and outcomes, as suggested previously. Additionally, our results suggest that exercise order may not significantly impact metabolic responses, as no significant differences in blood lactate and heart rate were observed between the two exercise sequences.

Our study presents limitations that should be addressed. The small sample size can prevent us from drawing more grounded recommendations on this topic. Additionally, it must also be considered that the cross-sectional nature of our study does not allow us to assess the long-term implications of different exercise orders. Another constraint was the lack of comparative data concerning the impact of resistance exercise order on velocity performance. Ultimately, it can also be pointed out that the lack of control over the subjects' activities during the experimental procedures may have impacted the results. Therefore, researchers may consider these limitations as guidelines for future studies. Additionally, we recommend implementing a similar research methodology with other resistance exercises to gain a broad perspective on the influence of exercise order on velocity performance.

5. Conclusions

This study showed that performing the squat first in a resistance training session significantly reduces subsequent bench press velocity performance, while squat velocity performance remains unaffected when the bench press is performed first. Furthermore, there were no differences in blood lactate and heart rate between the protocols, indicating

that both protocols induced similar levels of metabolic and cardiovascular stress. These results could suggest that the muscle mass recruited in each exercise is crucial in how subjects perform the subsequent exercise, underscoring the importance of exercise order in training sessions where velocity is prioritized. These findings provide strength and conditioning professionals with valuable insights into how to structure workouts for optimal performance outcomes. In summary, if the training goal is to maintain high-velocity performance during heavy-load training, the bench press exercise should be performed before the squat exercise.

Author Contributions: Conceptualization, A.R.A., D.L.M. and H.P.N.; methodology, R.M.P., D.L.M. and H.P.N.; software, R.M.P. and P.P.N.; validation, A.R.A., D.A.M. and A.J.S.; formal analysis, A.J.S. and H.P.N.; investigation, R.M.P., D.L.M. and P.P.N.; resources, D.A.M. and A.J.S.; data curation, R.M.P., D.L.M. and H.P.N.; writing—original draft preparation, R.M.P., D.L.M. and A.R.A.; writing—review and editing, D.A.M., P.P.N., A.J.S. and H.P.N.; visualization, D.L.M.; supervision, H.P.N.; project administration, H.P.N.; funding acquisition, D.A.M. and A.J.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT), I.P., under project number UIDB/04045/2020 and grant number BIPD/UTAD/7/2023.

Institutional Review Board Statement: This study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Ethics Committee of University of Beira Interior the University of Beira Interior (CE-UBI-Pj-2021-018, 15 June 2021).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to privacy reasons.

Acknowledgments: We sincerely thank all the participants for their active collaboration in this study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. ACSM. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 687–708. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
2. Kraemer, W.J.; Ratamess, N.A. Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2004**, *36*, 674–688. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Nunes, J.P.; Grgic, J.; Cunha, P.M.; Ribeiro, A.S.; Schoenfeld, B.J.; De Salles, B.F.; Cyrino, E.S. What Influence Does Resistance Exercise Order Have on Muscular Strength Gains and Muscle Hypertrophy? A Systematic Review and Meta-analysis. *Eur. J. Sport Sci.* **2021**, *21*, 149–157. [\[CrossRef\]](#)
4. Simão, R.; De Salles, B.F.; Figueiredo, T.; Dias, I.; Willardson, J.M. Exercise Order in Resistance Training. *Sports Med.* **2012**, *42*, 251–265. [\[CrossRef\]](#)
5. Neves, P.P.; Alves, A.R.; Ferraz, R.; Faíl, L.B.; Marques, M.C.; Marinho, D.A.; Neiva, H.P. The Influence of the Order of Strength Training Exercises on Mechanical Power and Work. In Proceedings of the 10th Congress of the Portuguese Society of Biomechanics; Martins, A., Roseiro, L., Messias, A.L., Gomes, B., Almeida, H., António Castro, M., Neto, M.A., De Fátima Paulino, M., Maranhã, V., Eds.; Lecture Notes in Bioengineering. Springer Nature Switzerland: Cham, Switzerland, 2023; pp. 471–479, ISBN 978-3-031-47789-8.
6. Andrade, J.; Esteves, D.; Ferraz, R.; Marques, D.L.; Branquinho, L.; Marinho, D.A.; Marques, M.C.; Neiva, H.P. Acute Effects of Heavy Strength Training on Mechanical, Hemodynamic, Metabolic, and Psychophysiological Parameters in Young Adult Males. *Sports* **2022**, *10*, 195. [\[CrossRef\]](#)
7. Sanchez-Medina, L.; Perez, C.E.; Gonzalez-Badillo, J.J. Importance of the Propulsive Phase in Strength Assessment. *Int. J. Sports Med.* **2010**, *31*, 123–129. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
8. González-Badillo, J.J.; Sánchez-Medina, L. Movement Velocity as a Measure of Loading Intensity in Resistance Training. *Int. J. Sports Med.* **2010**, *31*, 347–352. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
9. Lu, C.; Zhang, K.; Cui, Y.; Tian, Y.; Wang, S.; Cao, J.; Shen, Y. Development and Evaluation of a Full-Waveform Resistance Training Monitoring System Based on a Linear Position Transducer. *Sensors* **2023**, *23*, 2435. [\[CrossRef\]](#)
10. García-Ramos, A.; Pestaña-Melero, E.L.; Pérez-Castilla, A.; Rojas, F.J.; Gregory Haff, G. Mean Velocity vs. Mean Propulsive Velocity vs. Peak Velocity: Which Variable Determines Bench Press Relative Load With Higher Reliability? *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *32*, 1273–1279. [\[CrossRef\]](#)

11. Jiménez-Reyes, P.; Pareja-Blanco, F.; Rodríguez-Rosell, D.; Marques, M.C.; González-Badillo, J.J. Maximal Velocity as a Discriminating Factor in the Performance of Loaded Squat Jumps. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2016**, *11*, 227–234. [CrossRef]
12. González-Badillo, J.J.; Marques, M.C. Relationship Between Kinematic Factors and Countermovement Jump Height in Trained Track and Field Athletes? *J. Strength Cond. Res.* **2010**, *24*, 3443–3447. [CrossRef] [PubMed]
13. Pérez-Castilla, A.; Jiménez-Reyes, P.; Haff, G.G.; García-Ramos, A. Assessment of the Loaded Squat Jump and Countermovement Jump Exercises with a Linear Velocity Transducer: Which Velocity Variable Provides the Highest Reliability? *Sports Biomech.* **2021**, *20*, 247–260. [CrossRef] [PubMed]
14. Moura, R.E.; Bezerra Da Silva, R.F.; Gomes, L.M.D.S.; Ramos Da Silva, J.L.; Henrique, R.D.S.; Sousa, F.A.D.B.; Fonseca, F.D.S. Monitoring Bar Velocity to Quantify Fatigue in Resistance Training. *Int. J. Sports Med.* **2024**, *45*, 624–632. [CrossRef]
15. Davies, T.B.; Halaki, M.; Orr, R.; Helms, E.R.; Hackett, D.A. Changes in Bench Press Velocity and Power After 8 Weeks of High-Load Cluster- or Traditional-Set Structures. *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *34*, 2734–2742. [CrossRef]
16. Filip-Stachnik, A.; Krzysztofik, M.; Del Coso, J.; Wilk, M. Acute Effects of Two Caffeine Doses on Bar Velocity during the Bench Press Exercise among Women Habituated to Caffeine: A Randomized, Crossover, Double-Blind Study Involving Control and Placebo Conditions. *Eur. J. Nutr.* **2022**, *61*, 947–955. [CrossRef] [PubMed]
17. Ribeiro, B.; Pereira, A.; Alves, A.R.; Neves, P.P.; Marques, M.C.; Marinho, D.A.; Neiva, H.P. Specific warm-up enhances movement velocity during bench press and squat resistance training. *J. Mens. Health* **2021**, *17*, 226–233. [CrossRef]
18. Arifin, W.N. Sample Size Calculator (Version 2.0) [Spreadsheet File]. 2017. Available online: <http://wnarifin.github.io> (accessed on 20 June 2024).
19. Sánchez-Medina, L.; Pallarés, J.; Pérez, C.; Morán-Navarro, R.; González-Badillo, J. Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the Full Back Squat Exercise. *Sports Med. Int. Open* **2017**, *01*, E80–E88. [CrossRef]
20. Sánchez-Medina, L.; González-Badillo, J.J. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2011**, *43*, 1725–1734. [CrossRef]
21. Pérez-Castilla, A.; Piepoli, A.; Delgado-García, G.; Garrido-Blanca, G.; García-Ramos, A. Reliability and Concurrent Validity of Seven Commercially Available Devices for the Assessment of Movement Velocity at Different Intensities During the Bench Press. *J. Strength Cond. Res.* **2019**, *33*, 1258–1265. [CrossRef]
22. Ribeiro, B.; Pereira, A.; Neves, P.P.; Sousa, A.C.; Ferraz, R.; Marques, M.C.; Marinho, D.A.; Neiva, H.P. The Role of Specific Warm-up during Bench Press and Squat Exercises: A Novel Approach. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 6882. [CrossRef]
23. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–12. [CrossRef]
24. Simão, R.; De Tarso Veras Farinatti, P.; Polito, M.D.; Viveiros, L.; Fleck, S.J. Influence of Exercise Order on the Number of Repetitions Performed and Perceived Exertion during Resistance Exercise in Women. *J. Strength Cond. Res.* **2007**, *21*, 23–28. [CrossRef]
25. Simão, R.; Leite, R.D.; Spenetta, G.F.; Maior, A.S.; de Salles, B.F.; de Souza Junior, T.P.; Vingren, J.L.; Willardson, J.M. Influence of upper-body exercise order on hormonal responses in trained men. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2013**, *38*, 177–181. [CrossRef] [PubMed]
26. Farinatti, P.T.; Simão, R.; Monteiro, W.D.; Fleck, S.J. Influence of exercise order on oxygen uptake during strength training in young women. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 1037–1044. [CrossRef] [PubMed]
27. Miranda, H.; Simão, R.; dos Santos Vigário, P.; de Salles, B.F.; Pacheco, M.T.; Willardson, J.M. Exercise order interacts with rest interval during upper-body resistance exercise. *J. Strength Cond. Res.* **2010**, *24*, 1573–1577. [CrossRef] [PubMed]
28. Sforzo, G.A.; Touey, P.R. Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *J. Strength Cond. Res.* **1996**, *10*, 20–24.
29. Monteiro, E.R.; Steele, J.; Novaes, J.S.; Brown, A.F.; Cavanaugh, M.T.; Vingren, J.L.; Behm, D.G. Men Exhibit Greater Fatigue Resistance than Women in Alternated Bench Press and Leg Press Exercises. *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2019**, *59*, 238–245. [CrossRef]
30. Halperin, I.; Chapman, D.W.; Behm, D.G. Non-local muscle fatigue: Effects and possible mechanisms. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2015**, *115* (Suppl. 10), 2031–2048. [CrossRef]
31. Van Cutsem, J.; Marcora, S.; De Pauw, K.; Bailey, S.; Meeusen, R.; Roelands, B. The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. *Sports Med.* **2017**, *47*, 1569–1588. [CrossRef]
32. Aboodarda, S.J.; Copithorne, D.B.; Power, K.E.; Drinkwater, E.; Behm, D.G. Elbow flexor fatigue modulates central excitability of the knee extensors. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2015**, *40* (Suppl. 9), 924–930. [CrossRef]
33. Blazevich, A.J.; Babault, N. Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues. *Front. Physiol.* **2019**, *10*, 1359. [CrossRef] [PubMed]
34. Boulosa, D.; Beato, M.; Dello Iacono, A.; Cuenca-Fernández, F.; Doma, K.; Schumann, M.; Zagatto, A.M.; Loturco, I.; Behm, D.G. A New Taxonomy for Postactivation Potentiation in Sport. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2020**, *15*, 1197–1200. [CrossRef] [PubMed]
35. Spreunwenberg, L.P.; Kraemer, W.J.; Spiering, B.A.; Volek, J.S.; Hatfield, D.L.; Silvestre, R.; Vingren, J.L.; Fragala, M.S.; Häkkinen, K.; Newton, R.U.; et al. Influence of exercise order in a resistance-training exercise session. *J. Strength Cond. Res.* **2006**, *20*, 141–144. [PubMed]

36. Cardozo, D.; Destro, D.D.S. Exercise order in resistance training—A brief review of the acute effects on cardiovascular response in the post-exercise period. *Res. Soc. Dev.* **2022**, *11*, e272111335489. [[CrossRef](#)]
37. Avelar, A.; Ribeiro, A.S.; Nunes, J.P.; Schoenfeld, B.J.; Papst, R.R.; Trindade, M.C.C.; Bottaro, M.; Cyrino, E.S. Effects of order of resistance training exercises on muscle hypertrophy in young adult men. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2019**, *44*, 420–424. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.