

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/382032038>

Effects of velocity-based training versus percentage-based training programs on neuromuscular performances and markers of muscle damage in young males: a randomized controlled trial...

Article in *Medicina dello Sport* · July 2024

DOI: 10.23736/50025-7826.24.04430-2

CITATIONS

0

READS

191

6 authors, including:



Marko Manojlovic

University of Novi Sad

29 PUBLICATIONS 128 CITATIONS

SEE PROFILE



Antonino Bianco

University of Palermo

418 PUBLICATIONS 8,994 CITATIONS

SEE PROFILE



Nemanja Maksimovic

19 PUBLICATIONS 105 CITATIONS

SEE PROFILE



Tatjana Trivic

University of Novi Sad

103 PUBLICATIONS 786 CITATIONS

SEE PROFILE

ORIGINAL ARTICLE

Effects of velocity-based training versus percentage-based training programs on neuromuscular performances and markers of muscle damage in young males: a randomized controlled trial

Confronto tra gli effetti delle modalità di allenamento contro resistenza velocity-based e basato sulla percentuale del massimale sulle prestazioni neuromuscolari e sui marcatori del danno muscolare nei giovani di sesso maschile: uno studio controllato randomizzato

Isidora VASILJEVIC ¹, Marko MANOJLOVIC ^{1*}, Antonino BIANCO ²,
Nemanja MAKSIMOVIC ², Tatjana TRIVIC ¹, Patrik DRID ¹

¹Faculty of Sport and Physical Education, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia; ²Sport and Exercise Sciences Research Unit, University of Palermo, Palermo, Italy

*Corresponding author: Marko Manojlovic, Faculty of Sport and Physical Education, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia. E-mail: markomanojlovic1995@gmail.com

SUMMARY

BACKGROUND: Available literature referring to the differences in the efficiency between velocity-based training (VBT) and percentage-based strength training (PBT) relating to the neuromuscular performances and markers of muscle damage in young males is quite scarce. Therefore, the goal of the current study was to investigate the differences between VBT and PBT programs in terms of their effects on absolute strength, explosive power, speed, and agility, as well as their influence on muscle damage as indicated by changes in biochemical markers following a 6-week resistance training programs.

METHODS: The study included 42 young men, divided into two experimental groups, VBT (N.=17) and PBT (N.=15), and the control group (N.=10). Before and after the experimental treatments, the respondents performed the following tests: one-repetition maximum (1RM) in squat and bench press exercises for absolute strength, squat jump (SJ) and countermovement jump (CMJ) for explosiveness, 5m and 20m running for speed, and 505 test around both legs for agility. In addition, creatine kinase (CK) and creatine kinase isoenzyme (CK-MB) were evaluated as markers of muscle damage.

RESULTS: The obtained results suggested statistically significant differences between analyzed groups in terms of absolute strength and explosiveness in favor of the VBT program. It is also indispensable to highlight that VBT group demonstrated greater enhancement than PBT group in the following tests: 1RM squat ($\Delta\%$ 17.9 and $\Delta\%$ 11.9, respectively), 1RM bench press ($\Delta\%$ 13.5 and $\Delta\%$ 6.96, respectively), SJ ($\Delta\%$ 13.89 and $\Delta\%$ 5.15, respectively), CMJ ($\Delta\%$ 16.96 and $\Delta\%$ 5.37, respectively). The levels of CK marker were substantially lower at the third measurement in the VBT group compared to the PBT intervention.

CONCLUSION: VBT was more effective regarding the development of absolute and explosive strengths and elicited lower muscle damage compared to the PBT program.

(Cite this article as: Vasiljevic I, Manojlovic M, Bianco A, Maksimovic N, Trivic T, Drid P. Effects of velocity-based training versus percentage-based training programs on neuromuscular performances and markers of muscle damage in young males: a randomized controlled trial. Med Sport 2024;77:000-000. DOI: 10.23736/S0025-7826.24.04430-2)

KEY WORDS: Resistance training; Creatine kinase; Athletic performance.

RIASSUNTO

OBIETTIVO: Abbiamo constatato che la letteratura disponibile riguardo alle differenze di efficacia tra l'allenamento contro resistenza velocity based (Velocity-based training, VBT) e quello basato sulla percentuale del massimale

(Percentage-based training, PBT) in relazione alle prestazioni neuromuscolari e ai marcatori del danno muscolare nei giovani di sesso maschile è piuttosto scarsa. Pertanto, l'obiettivo del presente studio è stato quello di indagare le differenze tra i programmi VBT e PBT in termini di effetti sulla forza assoluta, sulla potenza esplosiva, sulla velocità e sull'agilità, nonché la loro influenza sul danno muscolare, intesa come cambiamenti nei marcatori biochimici a seguito di un programma di allenamento di forza della durata di 6 settimane.

METODI: Lo studio ha incluso 42 giovani di sesso maschile, suddivisi tra due gruppi sperimentali, VBT ($n = 17$) e PBT ($n = 15$) e un gruppo di controllo ($n = 10$). Prima e dopo i trattamenti sperimentali, i partecipanti sono stati sottoposti ai seguenti test: carico massimale (one-repetition maximum, 1RM) negli esercizi di squat e di distensione su panca piana o "bench press" per la forza assoluta, squat jump (SJ) e salto in contromovimento (countermovement jump, CMJ) per raccogliere dati sull'esplosività, corsa sulla distanza di 5 metri e 20 metri per valutare la velocità e test 505 per la valutazione dell'agilità e della capacità di eseguire un cambio di direzione di 180° per entrambi gli arti inferiori. Inoltre, sono stati valutati la creatininchinasi (creatine kinase, CK) e l'isoenzima della creatininchinasi (creatine kinase isoenzyme, CK-MB) come marcatori del danno muscolare.

RISULTATI: I risultati ottenuti hanno evidenziato differenze statisticamente significative tra i gruppi presi in esame in termini di forza assoluta ed esplosività a favore del programma VBT. Riteniamo inoltre indispensabile sottolineare che il gruppo VBT ha mostrato un miglioramento più marcato rispetto al gruppo PBT nelle seguenti prove: 1RM squat ($\Delta\% 17,9$ e $\Delta\% 11,9$, rispettivamente), 1RM bench press ($\Delta\% 13,5$ e $\Delta\% 6,96$, rispettivamente), SJ ($\Delta\% 13,89$ e $\Delta\% 5,15$, rispettivamente) e CMJ ($\Delta\% 16,96$ e $\Delta\% 5,37$, rispettivamente). Inoltre, i livelli del marcatore CK erano sostanzialmente più bassi alla terza misurazione nel gruppo VBT rispetto a quanto osservato nel caso dell'intervento PBT.

CONCLUSIONI: il metodo VBT è stato più efficace per quanto riguarda lo sviluppo della forza assoluta e di quella esplosiva e ha provocato un danno muscolare più contenuto rispetto al programma PBT.

PAROLE CHIAVE: Allenamento contro resistenza; Creatininchinasi; Prestazioni atletiche.

Resistance training is probably the most effective method for increasing muscle strength, power, and hypertrophy.¹ The most relevant parameters regarding planning and response to resistance training are intensity and load, number of repetitions, number of sets and rest between them, type of exercise, and sequence of execution.² Manipulating these variables, particularly intensity and load, contributes to a different physiological response to strength training.³

There are a lot of different types of strength training; however, the most commonly implemented is strength training based on one-repetition maximum (1RM). In Percentage-based training (PBT), the intensity of an exercise is prescribed as a percentage of an individual's 1RM. On the other hand, Velocity-based training (VBT) is a modern method of resistance training that allows coaches to objectively prescribe the load, intensity, and volume of training.⁴ Traditional resistance training often relies on prescribed percentages of maximal strength or fixed repetitions, overlooking the inherent variability in an individual's daily readiness and fatigue levels. In contrast, VBT recognizes the importance of monitoring and responding to these fluctuations, fostering a more adaptive and effective training environment. By utilizing technologies such as linear position transducers or accelerometers, VBT allows practitioners to quantify the speed at which lifts are performed, offering a real-time window into an athlete's neuromuscular capacity.⁵ The immediate feed-

L'allenamento contro resistenza è con ogni probabilità il metodo più efficace per aumentare la forza, la potenza e l'ipertrofia muscolare.¹ I parametri più rilevanti per quanto riguarda la pianificazione e la risposta all'allenamento contro resistenza sono l'intensità e il carico, il numero di ripetizioni, il numero di serie e il riposo tra di esse, il tipo di esercizio e la loro sequenza di esecuzione.² Cambiamenti a livello di queste variabili, in particolare riguardanti l'intensità e il carico, contribuiscono a una diversa risposta fisiologica a questo tipo di allenamento.³ Esistono molti tipi diversi di allenamento di forza, a dispetto di ciò, quello più comunemente impiegato è l'esercizio con sovraccarichi a cui viene applicato il carico massimale (one-repetition maximum, 1RM). Nell'allenamento basato sulla percentuale del massimale (percentage-based training, PBT), l'intensità dell'esercizio è prescritta come percentuale del 1RM di un individuo. Di contro, l'allenamento basato sulla velocità del bilanciere (velocity-based training, VBT) è un metodo di allenamento contro resistenza relativamente recente che consente agli allenatori di prescrivere in modo oggettivo il carico, l'intensità e il volume dell'allenamento.⁴ L'esercizio contro resistenza tradizionale si basa sovente su percentuali prestabilite di forza massima o su un numero fisso di ripetizioni, trascurando la variabilità intrinseca della propensione quotidiana all'allenamento e dei livelli di fatica di un individuo. Al contrario, il VBT tiene in debita considerazione l'importanza di monitorare ed offrire una risposta adeguata a queste fluttuazioni, favorendo un ambiente di allenamento più adattivo ed efficace. Impiegando tecnologie come i trasduttori di posizione lineari e gli accelerometri, il VBT consente ai professionisti di quantificare la velocità di esecuzione dei

back from VBT proves to be a valuable asset in monitoring neuromuscular fatigue and real-time 1RM assessments. This not only helps to maintain the quality of each repetition but also ensures that the training stimulus remains within the desired range for neuromuscular adaptation without compromising safety. It should be noted that individual repetitive maximum is a parameter that changes under the influence of fatigue, sleep, emotional state, nutrition, stress, etc.⁶ A study conducted by Grgić *et al.*⁷ showed that 1RM can vary from 1.1 to 17.5 kg in lower body exercises and from 0.5 to 4.9 kg in upper body exercises. By establishing velocity loss thresholds, such as the commonly used 10% rule, coaches can make timely and informed decisions regarding load adjustments during a training session.³ Numerous studies demonstrated that the training volume was lower in the VBT group compared to PBT at loads between 59% and 95% of 1RM.^{1, 8-10} Comparing total time under tension, it was observed that VBT causes significantly less training stress⁶ which indicates less mechanical stress.^{6, 9} All of the mentioned parameters of resistance training, combined or individually, can lead to muscle damage,¹¹ which potentially affects muscle activation, the production of power and force, and the function of the muscle in general. Muscle damage is noticeable at the level of the sarcomere and Z disk, as well as elements of the cytoskeleton and sarcomere,¹² which increases the level of creatine kinase, myoglobin, troponin, and other biochemical markers.¹³⁻¹⁵ CK is one of the best and most used indicators of muscle damage and overtraining, probably due to easy identification.¹⁵

Examining the differences between the aforementioned strength training methods can be crucial in selecting and planning a training process adapted to young men. There are a limited number of studies analyzing biochemical markers of muscle damage following speed-based strength training in the population of young males. Determining the differences in their concentration after different types of strength training may contribute to the understanding of the occurrence of fatigue due to muscle damage. Hence, the objective of this study was to investigate the effects and differences between two similar resistance training programs, with or without focusing on velocity, concerning absolute strength, explosive power, speed, and agility, as well as markers of muscle damage. It was hypothesized that the VBT

sollevamenti, fornendo una valutazione in tempo reale delle capacità neuromuscolari dell'atleta.⁵ Il feedback immediato garantito dal VBT si è rivelato una risorsa preziosa per il monitoraggio della fatica neuromuscolare e nella valutazione del 1RM in tempo reale.

*Queste caratteristiche oltre a contribuire alla corretta esecuzione di ogni ripetizione, assicurano al contempo che lo stimolo di allenamento rimanga all'interno dell'intervallo desiderato per l'adattamento neuromuscolare, senza compromettere la sicurezza. Va fatto notare che il carico massimale è un parametro soggetto a variazioni, in particolar modo sotto l'influenza della fatica, del sonno, dello stato emotivo, dell'alimentazione, dello stress, ecc.⁶ Uno studio condotto da Grgić *et al.*⁷ ha dimostrato che il 1RM può variare da 1,1 a 17,5 kg negli esercizi dedicati alla parte inferiore del corpo e da 0,5 a 4,9 kg negli esercizi che coinvolgono la parte superiore del corpo. Andando a stabilire soglie di calo di velocità del bilanciere, tra le quali rientra il limite del 10% al quale si fa abitualmente riferimento, gli allenatori sono in grado di prendere decisioni tempestive e informate in merito alle regolazioni del carico durante una sessione di allenamento.³ Numerosi studi hanno dimostrato che il volume di allenamento era inferiore nel gruppo VBT rispetto al PBT, con carichi compresi tra il 59% e il 95% del 1RM.^{1, 8-10} Mettendo a confronto il tempo totale di tensione muscolare, è stato osservato che il VBT provoca uno stress legato all'allenamento significativamente inferiore,⁶ a dimostrazione di un minore stress meccanico.^{6, 9} I sopraccitati parametri riguardanti l'allenamento con sovraccarichi, combinati o singolarmente, possono infatti causare un danno muscolare,¹¹ il quale potenzialmente influisce sull'attivazione muscolare, sulla produzione di potenza e forza e sulla funzione del muscolo in generale. Il danno muscolare è ravvisabile a livello del sarcomero e della linea Z, nonché in alcuni elementi del citoscheletro,¹² e comporta un aumento del livello di creatin chinasi, mioglobina, troponina e di altri marcatori biochimici.¹³⁻¹⁵ La CK è uno degli indicatori più utilizzati ed affidabili per individuare la presenza di danno muscolare e sovrallenamento, principalmente per via della facilità con la quale è possibile rilevarla.¹⁵ Vagliare le differenze tra i suddetti metodi di allenamento di forza potrebbe rivelarsi fondamentale nel processo di selezione e pianificazione di un protocollo di allenamento adatto agli uomini in giovane età. Attualmente è presente in letteratura un numero limitato di studi che analizzano i marcatori biochimici del danno muscolare dopo un allenamento contro resistenza velocity-based in una popolazione di individui maschi in giovane età. Determinare le differenze nelle loro concentrazioni a seguito dell'esposizione a diversi tipi di allenamento di forza potreb-*

program would be more effective regarding neuromuscular performance compared to the PBT and control group, as well as that the VBT group would show a greater increase between baseline and final measurement relative to the other two groups. It is also hypothesized that the VBT training group will cause lower muscle damage than the PBT group.

Materials and methods

Participant's characteristics and study design

A total of 44 young males, students of the Faculty of Sport and Physical Education of the University of Novi Sad, Serbia, were involved in the current study. Inclusion criteria were as follows: 1) the respondents needed to have at least two years of experience in strength training, practicing the mentioned modality of exercise 2-3 times per week or more; 2) no injuries of musculoskeletal system were observed before implementation of the exercise programs; 3) illness or health conditions that could negatively affect evaluated performance were not recorded; and 4) examined population did not use prohibited substances or drugs. Further, the young male individuals were randomly divided into three groups, including the VBT group (age 21.33 ± 0.82 years; weight 81.27 ± 2.19 kg), PBT group (age 21.27 ± 0.64 years; weight 82.62 ± 1.87 kg), and control group (age 21.13 ± 0.82 years; weight 81.61 ± 2.86 kg). Respondents were instructed not to be involved in additional strength training programs during the experimental procedure. It was also not allowed to employ supplementation that potentially impacted assessed neuromuscular performances. Before the start of the current study, each respondent signed an informed consent for participation. To identify individuals who should consult a doctor before beginning the training programs, all subjects completed the physical activity readiness questionnaire. The ethics committee of the Faculty of Sports and Physical Education of the University of Novi Sad, Serbia approved conducting the investigation (Ref. No. 49-10-02-2023-1). The study adhered to all standards of the Declaration of Helsinki.¹⁶

Measurements procedure

BODY WEIGHT EVALUATION

The evaluation of body weight was performed using a digital scale (Omron 511BF,

be aiutare a comprendere meglio il fenomeno dell'insorgenza della fatica secondaria a danno muscolare. Pertanto, l'obiettivo di questo studio è stato quello di indagare gli effetti e le differenze tra due programmi di allenamento di forza simili, l'uno focalizzato sulla velocità mentre l'altro no, per quanto riguarda la forza assoluta, la potenza esplosiva, la velocità e l'agilità, nonché per le concentrazioni dei marcatori del danno muscolare.

Abbiamo ipotizzato che il protocollo impiegato dal gruppo VBT si sarebbe rivelato più efficace per quanto riguarda le prestazioni neuromuscolari rispetto a quelli impiegati dal gruppo PBT e al gruppo di controllo, oltre al fatto che il gruppo VBT avrebbe esibito un incremento di maggiore entità tra la misurazione al basale e quella finale, rispetto agli altri due gruppi. Si presuppone inoltre che il gruppo di allenamento VBT evidenzierà un danno muscolare inferiore rispetto al gruppo PBT.

Materiali e metodi

Caratteristiche dei partecipanti e disegno dello studio

Un totale di 44 giovani maschi, studenti della Facoltà di Sport ed Educazione Fisica dell'Università di Novi Sad, in Serbia, ha preso parte al presente studio. I criteri di inclusione erano i seguenti: 1) gli interessati dovevano disporre di almeno due anni di esperienza nell'allenamento contro resistenza, praticato con una frequenza di almeno 2-3 volte a settimana o più, oltre ad avere familiarità con le summenzionate modalità di esercizio; 2) l'assenza di diagnosi di infortunio a carico del sistema muscolo-scheletrico precedentemente all'introduzione dei programmi di esercizio al centro della ricerca; 3) i soggetti non avevano evidenziato la presenza di patologie o condizioni di salute che potessero influenzare negativamente le prestazioni oggetto dello studio; e 4) i candidati non facevano uso di sostanze o farmaci proibiti. Inoltre, i giovani partecipanti di sesso maschile sono stati suddivisi secondo una distribuzione casuale in tre gruppi, nella fattispecie il gruppo VBT (età $21,33 \pm 0,82$ anni; peso $81,27 \pm 2,19$ kg), il gruppo PBT (età $21,27 \pm 0,64$ anni; peso $82,62 \pm 1,87$ kg) e il gruppo di controllo (età $21,13 \pm 0,82$ anni; peso $81,61 \pm 2,86$ kg). Gli studenti coinvolti sono stati istruiti a non partecipare ad altri programmi di allenamento di forza durante le procedure sperimentali. Inoltre, non era consentita l'assunzione di integratori che potessero avere un impatto sulle prestazioni neuromuscolari valutate nel corso dello studio. Prima dell'inizio del presente studio, ognuno dei partecipanti ha firmato un consenso informato alla partecipazione. Allo scopo di identificare i soggetti che avrebbero dovuto consultare un medico prima di intraprendere i programmi

Omron Healthcare, Kyoto, Japan). During the measurement, the participants were in underwear and barefoot. In addition, the subjects stood still, with their weight evenly distributed on both legs and their arms extended at their sides. The result is read with an accuracy of 0.1 kg.

NEUROMUSCULAR PERFORMANCE TESTS

1RM tests.—The absolute strength of the lower and upper limbs was assessed using squat and bench press exercises, respectively. The same protocol was used for both exercises. All repetitions were performed using a 20 kg bar (Eleiko; Halmstad, Sweden). In the first step, young males performed 8-10 repetitions with an empty bar, followed by 3 reps at 20% 1RM, 3 reps at 40% 1RM, 3 reps at 60% 1RM, 1 rep at 80% 1RM, and 1 rep at 90% 1RM. After that, subjects attempted to reach 1RM through 5 additional trials in which the load was adjusted for 0.5-2.5 kg. The break between all sets was 3-5 minutes. A linear position transducer (Chronojump-BoscoSystem®, Barcelona, Spain) was used to measure mean concentric velocity (MCV) and power output during each attempt.

Squat jump (Sj) (Microgate, Mahopac, NY, USA).—This test was used to assess explosive power. The participants were in a half-squat position (the angle in the knee joint is 90°), while the hands were resting on the hips. From the starting position, the subjects were required to perform a maximum vertical jump, after which they returned to the starting position. Participants were advised to keep their legs extended during the flight phase of the jump. All subjects had a total of three attempts, with a 3-minute break between repetitions. The height of the best jump was used for analysis.

Countermovement jump (CMJ) (Microgate, Mahopac).—From an upright position, the participants performed a quick half-squat with hands on hips and immediately after that, a maximum vertical jump. Subjects were advised to keep their legs extended during the flight phase of the jump. All respondents had a total of three attempts, with a 3-minute break between repetitions. This test was used to assess explosive power. The height of the best jump was used for analysis.

5 and 20-meter sprint.—These tests were used to evaluate speed. The subjects were approximately 30 cm away from the starting line and without prior command ran a distance of 20

di allenamento previsti dallo studio, tutti i soggetti hanno compilato il questionario per la preparazione all'attività fisica nella sua interezza. Il comitato etico della Facoltà di Sport ed Educazione Fisica dell'Università di Novi Sad, in Serbia, ha fornito la propria approvazione alla ricerca (Rif. n. 49-10-02-2023-1). Lo studio è stato condotto in ottemperanza agli standard dettati dalla Dichiarazione di Helsinki.¹⁶

Procedure di rilevazione dei dati

VALUTAZIONE DEL PESO CORPOREO

La valutazione del peso corporeo è stata eseguita con l'ausilio di una bilancia digitale (Omron 511BF, Omron Healthcare, Kyoto, Giappone). Durante la misurazione, i partecipanti indossavano solamente la biancheria intima ed erano a piedi nudi. Inoltre, è stato loro chiesto di rimanere immobili, con il peso distribuito in modo uniforme su entrambi gli arti inferiori, mentre le braccia erano distese ai lati. Le rilevazioni sono state eseguite con una accuratezza pari a 0,1 kg.

TEST DI PRESTAZIONE NEUROMUSCOLARE

Test per la determinazione del carico massimale 1RM.—*La forza assoluta degli arti inferiori e superiori è stata valutata per mezzo di esercizi di squat e di bench press, rispettivamente. Per entrambi gli esercizi è stato impiegato il medesimo protocollo. Tutte le ripetizioni sono state eseguite utilizzando un bilanciere del peso di 20 kg (Eleiko; Halmstad, Svezia). Durante la prima fase, i giovani maschi hanno eseguito 8-10 ripetizioni con il solo bilanciere privo di pesi addizionali, seguite da 3 ripetizioni al 20% di 1RM, 3 ripetizioni al 40% di 1RM, 3 ripetizioni al 60% di 1RM, una ripetizione all'80% 1RM e infine una ripetizione al 90% di 1RM. Successivamente, i soggetti hanno cercato di raggiungere il 1RM attraverso 5 prove aggiuntive in cui il carico è stato aumentato con incrementi pari a 0,5-2,5 kg. La pausa tra tutti i set di ripetizioni ha avuto una durata di 3-5 minuti. Un trasduttore di posizione lineare (Chronojump-BoscoSystem®, Barcellona, Spagna) è stato utilizzato per misurare la velocità concentrica media (mean concentric velocity, MCV) e la potenza erogata durante ogni tentativo.*

Squat jump (SJ) (Microgate, Mahopac, NY, USA).—*Questo test è stato scelto per valutare la potenza esplosiva. I partecipanti hanno assunto inizialmente una posizione di semi-squat (ovvero con un angolo dell'articolazione del ginocchio pari a 90°), mentre le mani erano appoggiate sui fianchi. A questo punto i soggetti sono stati chiamati ad eseguire un salto verticale massimale, dopodiché sarebbero tornati alla posizione di partenza.*

m in the shortest possible time. Time is measured by light gates (Microgate, Mahopac) in hundredths of a second. Light gates are placed at the start line, at the 5 m line, and at the finish line (20 m). All subjects were entitled to two attempts. Rest between attempts is a maximum of 2 minutes.

Agility test 505.—The respondents were positioned 30 cm behind the starting line in a high start position. Without prior instruction, the participants began the test by running 15 m, changing direction, and running in the opposite direction for another 5 m. The time achieved in the test is measured from the moment the subject passes the section from the second light gate to the 180° turn line and back to the second light gate (total 10 m including the turn) with a light gate (Microgate, Mahopac) in hundredths of a second. The test is performed 2x2, that is, twice around the left leg (505L) and twice around the right leg (505R). Rest between repetitions is 1 minute.

Assessment of markers of muscle damage

Blood samples were taken from the anterior cubital vein. Venous blood samples of 5 mL with gel and clot activator were collected in test tubes (BD vacutainer) for determination of CK and **CK-MB activity**. The first blood samples were taken in the morning, before the first training episode. The following sampling was carried out for 15 min after the first training episode. Third sampling was taken after a six-week training treatment, 24 hours after the last training episode. Biochemical indicators of muscle damage were determined in the AQUALAB laboratory in Novi Sad. Biochemical parameters were determined routinely, using standardized methods in relation to the method for determining CK and CK-MB of the International Federation of Clinical Chemistry on the Cobas Pure automatic analyzer, Roche Diagnostics.

Exercise procedure

WARM-UP AND TESTING SEQUENCE

Young males started with a standardized warm-up of 5 minutes of cycling (Wattbike, West Bridgeford, United Kingdom) followed by a set of different exercises of flexibility and mobility. Baseline testing was carried out 96 hours before the experiment procedure. Respondents performed various neuromuscular tests, involv-

Ai partecipanti è stato consigliato di mantenere le gambe estese durante la fase di volo del salto. Tutti i soggetti hanno avuto a disposizione un totale di tre tentativi, intervallati da pause di 3 minuti. L'altezza più elevata fatta registrare dai soggetti durante il salto è stata utilizzata per l'analisi.

Salto in contromovimento (countermovement jump, CMJ) (Microgate, Mahopac).—*A partire da una postura eretta, i partecipanti hanno eseguito un mezzo-squat veloce con le mani sui fianchi e subito dopo un salto verticale massimale.*

Ai soggetti è stato consigliato di mantenere le gambe estese durante la fase di volo del salto. Tutti i soggetti hanno avuto a disposizione un totale di tre tentativi, inframezzati da un periodo di riposo di 3 minuti tra le ripetizioni. Questo test è stato utilizzato per valutare la potenza esplosiva. L'altezza più elevata fatta registrare dai soggetti durante il salto è stata utilizzata per l'analisi.

Sprint sulla distanza di 5 e 20 metri.—*Queste prove sono state impiegate per valutare la velocità. I soggetti si trovavano a circa 30 cm di distanza dalla linea di partenza ed è stato chiesto loro di correre per una distanza di 20 m nel minor tempo possibile, senza aver ricevuto istruzioni o comandi specifici. Il tempo delle varie prove è stato registrato, in centesimi di secondo, per mezzo di un sistema di rilevazione dotato di fotocellule (Microgate, Mahopac). Le fotocellule erano posizionate sulla linea di partenza, sulla linea dei 5 m e sulla linea di arrivo (20 m). Tutti i soggetti hanno usufruito di due tentativi, inframezzati da un periodo di riposo di massimo 2 minuti.*

Test 505 per la valutazione dell'agilità.—*I partecipanti si sono allineati a 30 cm dalla linea di partenza e hanno assunto una posizione di partenza con la linea del corpo leggermente inclinata in avanti. Senza aver ricevuto istruzioni preliminari, questi hanno dato inizio al test cominciando a correre per 15 m, punto nel quale sarebbe poi avvenuto il cambio di direzione al quale avrebbe fatto seguito un ulteriore scatto nella direzione opposta per altri 5 m. La rilevazione del tempo ottenuto nel test, in centesimi di secondo, ha avuto inizio nel momento in cui il soggetto attraversava la linea demarcata dalla seconda fotocellula (Microgate, Mahopac) e si è conclusa quando questi è transitato nuovamente di fronte ad essa, dopo aver eseguito un cambio di direzione girandosi di 180° in un punto designato (andando a coprire una distanza totale di 10 m, inclusa la svolta). Il test viene eseguito in modalità 2x2, overosia due volte girandosi sulla gamba sinistra (505L) e due volte girandosi sulla gamba destra (505R). Il periodo di riposo tra due sessioni di test è di 1 minuto.*

Valutazione dei marcatori di danno muscolare

I campioni di sangue venoso, con un volume pari a 5 ml, sono stati prelevati dalla vena cubi-

ing CMJ, SJ, T5, T20, and 505 for both legs, and 1RM tests for squat on the Smith machine and bench press. Final testing occurred after the last exercise episode and a 96-hour break, following the same order as the initial measurement.

TRAINING GROUPS AND EXERCISE PROTOCOL

The VBT group employed velocity-based strength training adjusting load according to individual load-velocity profile with a 10% velocity loss limit, while the PBT adhered to traditional strength training modality based on 1RM. The control group did not carry out any type of training. Two experimental groups performed resistance training programs for 6 weeks, two training episodes per week, including a total of 12 exercise sessions. Of note, a wave periodization structure was applied, modifying relative load (%1RM), number of sets, and rest intervals between groups. All training sessions, pre-, and post-testing were conducted at the same venue, under the same conditions (~20 °C), at a similar time of the day (± 1 hour).

LOAD VELOCITY PROFILE (LVP)

During the assessment of 1RM, a linear position transducer was used to record the velocity of each repetition. The fastest repetition was used to determine LVP for sets that included multiple repetitions. Individual LVP is predicted to be formed based on the mean velocity achieved at loads from 20 to 90% of 1RM.¹⁷ The relationship between relative load and mean concentric velocity was used to determine the regression line that best fits the data. The LVP was formed using Microsoft Excel 2016, Microsoft, Redmond, Washington, USA. Parameters from individual LVP were used in the training process for VBT groups.

RESISTANCE TRAINING PROGRAM

Besides the two basic exercises, back squat and bench press, the first training session in the week included additional exercises, such as lunge forward, squat-jump, and explosive push-ups, while the second training episode included hip-trust, squat-jump, and explosive push-ups. To ensure the equality of the training process between the groups, the number of sets and repetitions was equalized, and the load was determined based on % of 1RM or LVP in the basic exercises, and using body weight and addi-

tale anteriore e raccolti in provette contenenti gel separatore e attivatore di coagulazione (BD Vacutainer) per la determinazione dell'attività della CK e del CK-MB. I primi campioni di sangue sono stati prelevati al mattino, prima dell'inizio della sessione allenamento. Il prelievo successivo è stato effettuato a 15 minuti dal termine della prima sessione di allenamento. Il terzo prelievo è stato eseguito al termine di un ciclo di allenamento di sei settimane e a distanza di 24 ore dall'ultimo allenamento. Gli indicatori biochimici del danno muscolare sono stati determinati nel laboratorio AQUALAB di Novi Sad.

I parametri biochimici sono stati determinati secondo le procedure di routine, utilizzando metodi standardizzati basati sulle linee guida per la determinazione di CK e CK-MB della Federazione Internazionale di Chimica Clinica, con l'ausilio dell'analizzatore automatizzato Cobas Pure, prodotto da Roche Diagnostics.

Procedure di esercizio

Riscaldamento e sequenza dei test.—I giovani soggetti di sesso maschile hanno esordito con un riscaldamento standardizzato su cicloergometro della durata di 5 minuti (Wattbike, West Bridgeford, Regno Unito), seguito da una serie di esercizi di flessibilità e mobilità. I test al basale sono stati eseguiti 96 ore prima dell'effettiva procedura sperimentale. I partecipanti sono stati sottoposti a vari test neuromuscolari, tra cui CMJ, SJ, T5, T20, Test 505 per la valutazione dell'agilità di entrambi gli arti inferiori, e test 1RM per lo squat su macchina Smith e su panca. I test finali si sono svolti a distanza di 96 ore dall'ultima sessione di esercizio, seguendo il medesimo ordine delle rilevazioni iniziali.

Gruppi di allenamento e protocollo di esercizio.—Il gruppo VBT ha impiegato un allenamento di forza velocity based, regolando il carico in base al profilo individuale di carico-velocità, con una soglia di calo di velocità del 10%, mentre il gruppo PBT ha aderito alla modalità di allenamento di forza tradizionale basata sul 1RM. Il gruppo di controllo non ha svolto alcun tipo di allenamento. I due gruppi sperimentali hanno osservato un programma di allenamento contro resistenza per 6 settimane, caratterizzato da due allenamenti a settimana, per un totale di 12 sessioni di esercizio. È stata inoltre applicata una struttura di periodizzazione ondulata, modificando il carico relativo (%1RM), il numero di serie e gli intervalli di riposo tra i gruppi. Tutte le sessioni di allenamento, così come i test pre e post, sono stati condotti nello stesso luogo, con le medesime condizioni ambientali (~20 °C), in un momento analogo della giornata (± 1 ora).

Profilo di velocità di carico (load velocity pro-

tional load in the supplementary exercises. All subjects were motivated to perform repetitions with the maximal voluntary velocity of the concentric contraction. The PBT group performed a strength training program based on the initial testing of 1RM in the squat and bench press exercises. The VBT group performed strength training based on a previously formed LVP. During the series, the velocity loss threshold was set at 10% of the prescribed velocity of the concentric phase of the movement. In case the subject performed the first two repetitions in the series 10% faster or slower than the prescribed velocity, the load would be adjusted by adding or removing weight. The series is terminated when the subject performs two consecutive repetitions >10% lower than the prescribed speed. During the execution of the repetition, the subject had verbal feedback about the velocity or range of motion. The intensity of the load ranged from 70 to 95% of one repetitive maximum. A complete description of all exercises and applied training programs is provided in Supplementary Digital Material 1 (Supplementary Table I).

Statistical analysis and sample size calculation

A-priori sample size calculation was performed with G-power (G*Power version 3.1.9.4, effect size = 0.3, $1 - \beta = 0.80$, $\alpha=0.05$), which exhibited that a minimum of 30 young male individuals was needed to determine exercise effects as well as differences between analyzed groups. Statistical data were processed using SPSS 20 (Statistical Package of Social Science, Chicago, IL, USA). The values of all parameters of neuromuscular performances and markers of muscle damage are expressed as arithmetic mean (mean) \pm standard deviation (SD). The normality of distribution was checked with the Shapiro-Wilk test. One-way ANOVA was used to determine baseline differences between groups in neuromuscular tests, while Independent-Samples T-test was used for markers of muscle damage. Paired-Sample T-test examined the differences within each group for all variables. For further analysis of differences between groups relating to the main outcomes, a Two-factor repeated-measures ANOVA with Bonferroni post hoc correction was applied. Partial Eta Squared was used for measuring effect size (η^2p). According to the Partial Eta Squared scale, the effect size can be classified as small

(file, LVP).—Durante la valutazione del 1RM, è stato utilizzato un trasduttore di posizione lineare per registrare la velocità di ogni ripetizione. La ripetizione più veloce è stata dunque impiegata per determinare il LVP per i set che includevano più ripetizioni. Si ipotizza che il LVP individuale possa essere elaborato in base alla velocità media raggiunta con carichi che variano dal 20 al 90% del 1RM.¹⁷ La relazione tra il carico relativo e la velocità concentrica media è stata utilizzata per determinare la linea di regressione che meglio si adatta ai dati raccolti. Il LVP è stato definito utilizzando l'applicativo Microsoft Excel 2016, Microsoft, Redmond, WA, USA. I parametri del LVP individuale sono stati susseguentemente utilizzati nel protocollo di allenamento dei gruppi VBT.

Programma di allenamento contro resistenza.—Oltre ai due esercizi di base, back squat e bench press, la prima sessione di allenamento della settimana includeva esercizi aggiuntivi, come affondo in avanti, squat-jump e piegamenti sulle braccia esplosivi, mentre la seconda sessione di allenamento includeva bip-thrust, squat-jump e piegamenti sulle braccia esplosivi. Allo scopo di garantire che non vi fossero discrepanze nelle modalità di allenamento adottate dai vari gruppi, il numero di serie e di ripetizioni è stato equiparato e il carico è stato determinato in base alla % del 1RM o del LVP negli esercizi di base e utilizzando il peso corporeo e il carico aggiuntivo per quanto riguarda gli esercizi complementari. Tutti i soggetti sono stati incentivati a eseguire ognuna delle ripetizioni con la massima velocità applicabile alla contrazione concentrica. Il gruppo PBT ha eseguito un programma di allenamento di forza basato sul test iniziale del 1RM negli esercizi di squat e di bench press. Il gruppo VBT ha eseguito un allenamento con sovraccarichi basandosi sul LVP precedentemente stabilito. Durante la serie, la soglia di perdita di velocità è stata fissata al 10% della velocità della fase concentrica del movimento prevista. Nel caso in cui il soggetto avesse eseguito le prime due ripetizioni della serie ad una velocità superiore o inferiore del 10% rispetto a quella precedentemente individuata, il carico sarebbe stato regolato mediante l'aggiunta o la sottrazione di peso. La serie si è conclusa nel momento in cui il soggetto ha eseguito due ripetizioni consecutive con una velocità inferiore a quella prevista del >10%. Durante l'esecuzione della ripetizione, il soggetto ha ricevuto un feedback verbale sulla velocità e sull'ampiezza del movimento. L'intensità del carico variava dal 70% al 95% del carico massimale. Una descrizione completa di tutti gli esercizi e dei programmi di allenamento impiegati è riportata all'interno del materiale digitale integrativo (Materiale Digitale Supplementare 1: Tabella Supplementare I).

($\eta^2p \sim 0.01$), medium ($\eta^2p \sim 0.06$), and large η^2p (≥ 0.14).¹⁸ Differences between groups regarding neuromuscular performances and markers of muscle damage were considered statistically significant if the P value was ≤ 0.05 .

Results

Baseline characteristics

A total of 44 physically active men started the experiment. Two subjects did not complete the study due to injuries sustained in activities unrelated to the experiment; therefore, the final number of respondents was reduced to 42 (Figure 1). All respondents during the six weeks of the training process had 12 training sessions. No significant differences between the PBT, VBT, and control groups were found on baseline measurement relating to all analyzed variables.

Effects of strength training interventions on neuromuscular parameters

The effects of applied strength training modalities on neuromuscular performances are summarized in Supplementary Digital Material 2 (Supplementary Table II). Analysis of differences between groups showed a significant group-by-time interaction in the squat ($F=15.889$; $\eta^2=0.449$; $P=0.000$), bench press ($F=14.769$; $\eta^2=0.431$; $P=0.000$), SJ ($F=8.784$; $\eta^2=0.311$; $P=0.001$), and CMJ ($F=22.998$; $\eta^2=0.541$; $P=0.000$), in the favor of VBT group who showed a greater increase in

ANALISI STATISTICHE E CALCOLO DELLA DIMENSIONE DEL CAMPIONE

La determinazione della dimensione del campione a priori è stata eseguita con l'ausilio del software G-power (G*Power versione 3.1.9.4, dimensione dell'effetto = 0,3, $1 - \beta = 0,80$, $\alpha=0,05$), il quale ha mostrato che era necessario un minimo di 30 individui giovani di sesso maschile per individuare gli effetti dell'esercizio e le differenze tra i gruppi analizzati. I dati statistici sono stati elaborati con il programma di statistica SPSS 20 (Statistical Package of Social Science, Chicago, IL, USA). I valori di tutti i parametri relativi alle prestazioni neuromuscolari e delle concentrazioni dei marcatori del danno muscolare sono espressi come media aritmetica (media) \pm deviazione standard (SD). La normalità della distribuzione è stata verificata per mezzo del test di Shapiro-Wilk. L'ANOVA a una via è stata impiegata per determinare le differenze al basale tra i gruppi nei test neuromuscolari, mentre il test t di Student per campioni indipendenti è stato utilizzato per i marcatori del danno muscolare. Per quanto riguarda invece le differenze all'interno di ciascun gruppo per tutte le variabili prese in esame, abbiamo fatto ricorso al test t a campioni appaiati. Un'ulteriore analisi delle differenze tra i gruppi relative agli outcome principali è stata condotta applicando una ANOVA a misure ripetute a due fattori con correzione post hoc di Bonferroni. La dimensione dell'effetto è stata calcolata mediante l'età quadro parziale (η^2p). Secondo la scala di valori assunti dall'indice età quadro parziale, la dimensione dell'effetto può essere classificata come piccola ($\eta^2p \sim 0,01$), media ($\eta^2p \sim 0,06$) e grande η^2p ($\geq 0,14$).¹⁸ Le differenze tra i gruppi per quanto riguarda le prestazioni neuromuscolari e i marcatori di danno muscolare hanno raggiunto la significatività statistica per P value $\leq 0,05$.

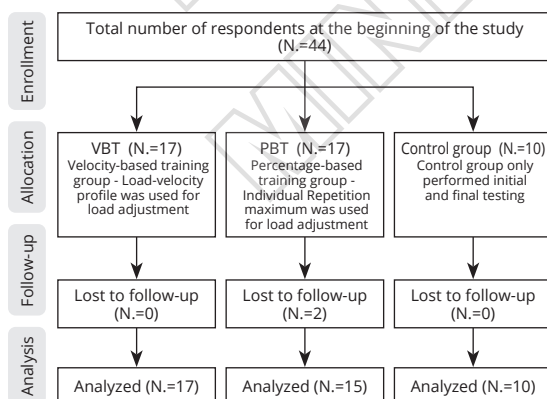


Figure 1.—Flow chart of the respondent's selection process.

Figura 1.—Diagramma di flusso del processo di selezione dei partecipanti.

Risultati

Caratteristiche dei soggetti al basale

Un totale di 44 individui di sesso maschile fisicamente attivi ha preso parte alla fase sperimentale della ricerca. Due partecipanti non hanno completato lo studio a causa di infortuni subiti durante la partecipazione ad attività non correlate con la sperimentazione; pertanto, il numero finale di partecipanti è stato ridotto a 42 (Figura 1). Tutti i soggetti coinvolti hanno svolto 12 sessioni di esercizio, durante un periodo di allenamento della durata totale di sei settimane. Non sono state riscontrate differenze significative tra i gruppi PBT, VBT e di controllo nelle misurazioni eseguite al basale relativamente a tutte le variabili prese in esame.

maximal strength and explosive power after the training program compare to the PBT and control group. No statistically significant group-by-time interaction was observed concerning tests of agility and speed. Significant group interaction was found in squat ($F=4.645$; $\eta^2=0.192$; $P=0.016$), and CMJ ($F=4.353$; $\eta^2=0.182$; $P=0.020$). *Post-hoc* analysis found statistically significant differences between VBT and control groups in squat ($P=0.018$) and CMJ ($P=0.024$), while the difference between VBT and PBT wasn't statistically significant (squat $P=0.145$; CMJ $P=0.148$). In other variables, there is no statistically significant difference between groups. Significant time interaction was found for the following variables: 1RM squat ($F=75.491$; $\eta^2=0.659$; $P=0.000$), 1RM bench press ($F=63.437$; $\eta^2=0.619$; $P=0.000$), SJ ($F=23.565$; $\eta^2=0.377$; $P=0.000$), CMJ ($F=35.330$; $\eta^2=0.475$; $P=0.000$), and 505L ($F=15.291$; $\eta^2=0.282$; $P=0.000$). Although both experimental groups showed statistically significant improvement in squat (VBT 19.71 kg, $\Delta\%$ 17.9%; PBT 12.26 kg, $\Delta\%$ 11.9%), bench press (VBT 11.23 kg, $\Delta\%$ 13.5%; PBT 5.93 kg, $\Delta\%$ 6.96%); CMJ (VBT 6.5 cm, $\Delta\%$ 16.96%; PBT 2.03 cm, $\Delta\%$ 5.37%), a greater increase was recorded in VBT group compared to the PBT group. In SJ (VBT 4.81 cm, $\Delta\%$ 13.89), only the VBT group showed statistically significant improvement. VBT group showed enhancement in the 20m sprint (-0.06s, $\Delta\%$ 1.91) and agility test around the left leg (-0.15s, $\Delta\%$ 5.72), while the PBT group showed improvement in the 505 test around the right leg (-0.13s, $\Delta\%$ 4.89). The control group did not show statistically significant improvement concerning all neuromuscular tests. Participants from the VBT training group had a lower total number of repetitions in both squat and bench press (193.2 and 191.5, respectively) compared to the PBT group (200 and 200, respectively).

Effects of strength training modalities on markers of muscle damage

Analyzing the markers of muscle damage, no statistically significant group-by-time interaction was revealed for both tested markers. Intra-group differences in the CK variable were found within the VBT group between the first and second measurements (315.85 U/L and 363.46 U/L, respectively) as well as between second and third measurements (363.46.30 U/L and 181.92 U/L, respectively), while there is a tendency toward statistical significance between first and

Effetti degli interventi di allenamento contro resistenza sui parametri neuromuscolari

Gli effetti delle due diverse modalità di allenamento di forza che hanno costituito il trattamento sperimentale sulle prestazioni neuromuscolari sono riepilogati all'interno del Materiale Digitale Supplementare 2 (Tabella Supplementare II). L'analisi delle differenze tra i gruppi ha mostrato un'interazione significativa Gruppo per Tempo per quanto riguarda gli esercizi di squat ($F=15,889$; $\eta^2=0,449$; $P=0,000$), bench press ($F=14,769$; $\eta^2=0,431$; $P=0,000$), SJ ($F=8,784$; $\eta^2=0,311$; $P=0,001$) e CMJ ($F=22,998$; $\eta^2=0,541$; $P=0,000$), a favore del gruppo VBT, il quale ha indotto un aumento più marcato a livello di forza massimale e di potenza esplosiva al termine del programma di allenamento, rispetto a quanto fatto registrare dal gruppo PBT e dal gruppo di controllo. Non è stata osservata alcuna interazione statisticamente significativa Gruppo per Tempo per quanto riguarda i test di agilità e velocità. Un'interazione significativa tra i gruppi è stata riscontrata nello squat ($F=4,645$; $\eta^2=0,192$; $P=0,016$) e nel CMJ ($F=4,353$; $\eta^2=0,182$; $P=0,020$). L'analisi post hoc ha rilevato differenze statisticamente significative tra VBT e gruppo di controllo nello squat ($P=0,018$) e nel CMJ ($P=0,024$), mentre la differenza tra VBT e PBT non era statisticamente significativa (squat $P=0,145$; CMJ $P=0,148$). Per quanto concerne le altre variabili, non sono state evidenziate differenze statisticamente significative tra i gruppi. Un'interazione significativa con il tempo è stata ravvisata per le seguenti variabili: 1RM squat ($F=75,491$; $\eta^2=0,659$; $P=0,000$), 1RM bench press ($F=63,437$; $\eta^2=0,619$; $P=0,000$), SJ ($F=23,565$; $\eta^2=0,377$; $P=0,000$), CMJ ($F=35,330$; $\eta^2=0,475$; $P=0,000$) e 505L ($F=15,291$; $\eta^2=0,282$; $P=0,000$). Sebbene entrambi i gruppi sperimentali abbiano mostrato un miglioramento statisticamente significativo nelle prestazioni di squat (VBT 19,71 kg, $\Delta\%$ 17,9%; PBT 12,26 kg, $\Delta\%$ 11,9%), bench press (VBT 11,23 kg, $\Delta\%$ 13,5%; PBT 5,93 kg, $\Delta\%$ 6,96%) e CMJ (VBT 6,5 cm, $\Delta\%$ 16,96%; PBT 2,03 cm, $\Delta\%$ 5,37%), il gruppo VBT ha evidenziato un aumento di entità maggiore rispetto al gruppo PBT. Il gruppo VBT è stato inoltre il solo a far registrare un miglioramento statisticamente significativo nell'esecuzione dell'esercizio di SJ (VBT 4,81 cm, $\Delta\%$ 13,89). Il gruppo VBT ha mostrato un miglioramento nello sprint sulla distanza di 20 metri (-0,06s, $\Delta\%$ 1,91) e nel test di agilità 505, girando attorno alla gamba sinistra (-0,15s, $\Delta\%$ 5,72), mentre il gruppo PBT è stato caratterizzato da un miglioramento nel test 505 eseguendo il cambio di direzione intorno alla gamba destra (-0,13s, $\Delta\%$ 4,89). Il gruppo di controllo non ha mostrato miglioramenti statisticamente significativi in nessuno dei test neuromuscolari. I partecipanti del gruppo di allenamento VBT avevano

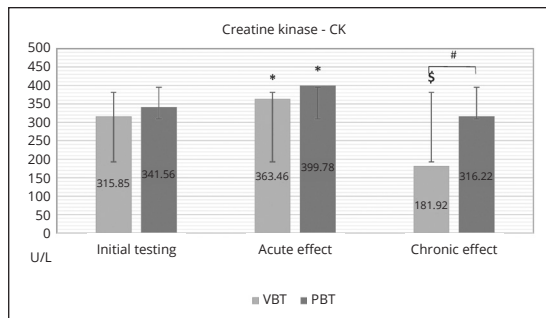


Figure 2.—Values of creatine kinase across three-time points.

VBT: velocity-based training group; PBT: percentage-based training group.

*A statistically significant difference between first and second measurement ($P < 0.01$) for both groups; § a statistically significant difference between second and third measurement ($P < 0.05$) for VBT group; * a statistically significant difference between VBT and PBT in the third time point (chronic effect) ($P < 0.05$).

Figura 2.—Valori della creatinchinasi in tre diversi momenti temporali.

VBT: gruppo di allenamento velocity-based; PBT: gruppo di allenamento basato sulla percentuale.

*Differenza statisticamente significativa tra la prima e la seconda misurazione ($P < 0,01$) per entrambi i gruppi; § differenza statisticamente significativa tra la seconda e la terza misurazione ($P < 0,05$) per il gruppo VBT; * differenza statisticamente significativa tra VBT e PBT nel terzo punto temporale (effetto cronico) ($P < 0,05$).

third measurement (315.85 U/L and 181.92 U/L, respectively) ($P = 0.079$). Concerning the PBT group, CK showed a difference between the first and second measurements (341.56 U/L and 399.78 U/L, respectively). In addition, statistically significant differences between VBT and PBT in CK referring to the chronic training effects were also revealed ($p = 0.014$) (316.22 U/L and 181.92 U/L, respectively) (Figure 2). In the CK-MB isoenzyme, no statistically significant group-by-time interaction was observed. Likewise, there were no differences between groups, as well as within each group, including all time points (Figure 3).

Discussion

This study aimed to determine the effects and differences between two types of strength training, including VBT and PBT regarding absolute strength, explosive power, speed, agility, and markers of muscle damage after six weeks of training in young males. The findings are partially in line with the first hypothesis, where differences between groups are found in tests of absolute and explosive strength but not in

un numero totale di ripetizioni inferiore sia nello squat che nel bench press (193,2 e 191,5, rispettivamente) rispetto al gruppo PBT (200 e 200, rispettivamente).

Effetti delle diverse modalità di allenamento contro resistenza sui marcatori del danno muscolare

Durante l'analisi dei marcatori del danno muscolare non è stata riscontrata alcuna interazione statisticamente significativa Gruppo per Tempo per nessuno dei marcatori presi in esame. Nel gruppo VBT sono state rilevate differenze intra-gruppo relative alla variabile CK tra la prima e la seconda misurazione (315,85 U/L e 363,46 U/L, rispettivamente) e tra la seconda e la terza misurazione (363,46,30 U/L e 181,92 U/L, rispettivamente); segnaliamo inoltre la presenza di una tendenza alla significatività statistica tra la prima e la terza misurazione (315,85 U/L e 181,92 U/L, rispettivamente) ($P = 0,079$). Per quanto riguarda il gruppo PBT, sono state individuate delle differenze per quanto concerne la CK tra la prima e la seconda misurazione (341,56 U/L e 399,78 U/L, rispettivamente). Inoltre, abbiamo osservato differenze statisticamente significative tra VBT e PBT a livello della CK, in riferimento agli effetti dell'allenamento cronico ($P = 0,014$) (316,22 U/L e 181,92 U/L, rispettivamente) (Figura 2). L'analisi dell'isoenzima CK-MB, non ha evidenziato alcuna interazione statisticamente significativa Gruppo per Tempo. Analogamente, non sono state riscontrate differenze tra i gruppi, così come all'interno di ciascun gruppo, quando sono stati presi in considerazione tutti i punti temporali (Figura 3).

Discussione

Il presente studio mirava a determinare gli effetti e le differenze tra due tipi di allenamento di forza, nella fattispecie VBT e PBT, in individui giovani di sesso maschile, per quanto riguarda la forza assoluta, la potenza esplosiva, la velocità, l'agilità e la risposta dei marcatori del danno muscolare, al termine di un programma di allenamento della durata di sei settimane. I risultati ottenuti sono parzialmente in linea con l'ipotesi preliminare da noi formulata, dal momento che le differenze tra i gruppi sono state riscontrate nei test di forza assoluta ed esplosiva, ma non nelle prove di velocità e agilità. Inoltre, è stato osservato che il gruppo VBT ha avuto un miglioramento maggiore nei test 1RM squat, 1RM bench press e CMJ rispetto al gruppo PBT; mentre nei test SJ, T20 e 505L solo il gruppo VBT ha mostrato miglioramenti. Il gruppo PBT è inoltre apparso superiore nel test di agilità 505 girando attorno alla gamba destra. I risultati dei marcatori di danno muscolare analizzati indicano un aumento del valore della CK come reazione

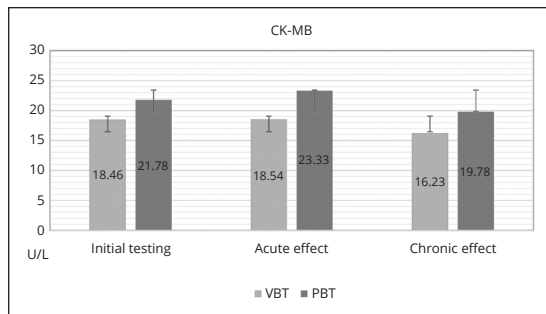


Figure 3.—Values of CK-MB isoenzyme across three-time points.

VBT: velocity-based training group; PBT: percentage-based training group;

Figura 3.—Valori dell'isoenzima CK-MB nei tre diversi punti temporali.

VBT: Gruppo di allenamento velocity-based; PBT: Gruppo di allenamento basato sulla percentuale.

tests of speed and agility. In addition, it was also observed that the VBT group had greater enhancement in the 1RM Squat, 1RM Bench press, and CMJ test than the PBT group, while in the SJ, T20, and 505L only the VBT group showed improvement. The PBT group was superior in the agility 505 test around the right leg. The results of the analyzed markers of muscle damage indicate an increase in the value of the CK marker as an acute reaction to the training load. Partially consistent with the second hypothesis, only values of the CK marker were lower at the third measurement in the VBT group compared to the PBT intervention, indicating a potentially safer training approach.

The findings of the current study are consistent with previous research, which established that VBT is a more effective training method for enhancing strength¹⁹ and power compared to traditional training methods based on 1RM.²⁰⁻²² More precisely, Dorrell *et al.*¹ in their investigation with a pretty similar resistance training program reported significant improvements favoring the VBT group in bench press (VBT 8% and PBT 4%) and CMJ (VBT 5% and PBT 1%), while no significant difference was noted between groups in squat performance (VBT 9%, and PBT 8%). Despite similar resistance training programs, ages, and 2 years of resistance training experience, there is a difference in strength levels between athletes in these two studies. In fact, athletes exhibiting lower initial 1RM values demonstrate greater potential for improvement, and the training status itself significantly affects the results achieved with the training program.²³ This can be the main reason why

acuta in risposta al carico di allenamento. Parzialmente in linea con la seconda ipotesi da noi formulata, l'intervento PBT non ha indotto una diminuzione dei valori del marcatore CK alla terza misurazione, cosa che è invece avvenuta nel gruppo VBT, a suggerimento del fatto che quest'ultimo potrebbe rappresentare un approccio all'allenamento potenzialmente più sicuro.

I risultati dell'attuale studio sono coerenti con le ricerche svolte in precedenza sull'argomento, le quali hanno stabilito che il VBT è un metodo di allenamento più efficace per migliorare la forza¹⁹ e la potenza rispetto ai metodi di allenamento tradizionali basati sul 1RM.²⁰⁻²² Più precisamente, Dorrell *et al.*¹ nella loro indagine incentrata su un programma di allenamento contro resistenza dalle caratteristiche piuttosto simili, hanno riportato miglioramenti significativi a favore del gruppo VBT nell'esercizio di bench press (VBT 8% e PBT 4%) e nel CMJ (VBT 5% e PBT 1%), mentre non è stata rilevata alcuna differenza significativa tra i gruppi nelle prestazioni di squat (VBT 9% e PBT 8%). A dispetto delle similitudini fra i programmi di allenamento contro resistenza, le età e gli anni di esperienza nei sopraccitati metodi di esercizio degli atleti che hanno preso parte a questi due studi, vi erano considerevoli differenze nei loro livelli di forza. Difatti, gli atleti che presentano valori di 1RM iniziali più bassi dimostrano un maggiore potenziale di miglioramento, mentre lo stato di allenamento influisce in maniera significativa sui risultati ottenuti a seguito del programma di allenamento.²³ Questo potrebbe rappresentare il motivo principale per cui la presente ricerca ha riscontrato percentuali di miglioramento più grandi rispetto a quanto constatato nello studio condotto da Dorrell *et al.*¹ Il numero di studi caratterizzati dall'impiego di una soglia di perdita di velocità pari al 10% come variabile presenti in letteratura è piuttosto esiguo, ciò nonostante, tutti quanti hanno mostrato un miglioramento paragonabile a quello osservato nel presente studio, pari a circa il 18% nello squat 1RM.^{10, 24, 25} Risultati simili si osservano a seguito di un programma di allenamento PBT, nei quali gli atleti hanno sviluppato un aumento della forza assoluta dell'11%. Nonostante il numero inferiore di ripetizioni e il minor tempo di tensione muscolare, i soggetti appartenenti ai gruppi VBT contraddistinti da una perdita di velocità più contenuta hanno mostrato un miglioramento più marcato o quanto meno analogo nella forza, nella potenza e nelle prestazioni di salto, nonché nell'attività EMG²⁶ rispetto ai gruppi contraddistinti da una perdita di velocità elevata. Rodriguez-Rosell,²⁶ ha peraltro riscontrato un miglioramento del 7% nello squat dopo 8 settimane di allenamento. Inoltre, elementi quali la minore percentuale di perdita di velocità e le migliori prestazioni durante la contrazione con-

the present research has greater percentages of improvement compared to the study conducted by Dorrell *et al.*¹ There is a restricted number of studies in which researchers used 10% of velocity loss and interestingly, they all showed similar improvement, around 18% in squat RM,^{10, 24, 25} like in the present study. Similar results are observed after the PBT program, where groups increase their absolute strength by 11%. Despite the lower number of repetitions and less time under tension, VBT groups with lower velocity loss showed greater or at least similar improvement in strength, power, and jumping performance as well as EMG activity²⁶ compared to the high-velocity loss groups. Additionally, Rodriguez-Rosell,²⁶ found a 7% improvement in squats after 8 weeks of the training program. Additionally, the lower percentage of velocity loss and superior performance during concentric contraction appear to serve as practical and flexible tools for managing fatigue during resistance training. This enables athletes to optimize their training outcomes, potentially leading to reduced levels of fatigue.^{27, 28} As a result, a lower number of repetitions occurs,^{2, 25} and time under tension^{6, 9} but also bigger recruitment of muscle fiber type II.²⁴ A higher percentage of velocity loss is related to greater muscle hypertrophy, most likely due to the higher number of repetitions.^{2, 25} The VBT groups showed greater enhancement in explosive power, possibly as a result of more high-speed repetitions. Most studies report an increase in CMJ of approximately 10%,^{24, 25} however, it must be noted that jumps are not included in those training processes, which may explain the difference in results in relation to this research.^{24, 25} Like in the present study, where speed and agility tests showed unclear results, other studies demonstrated similar findings.^{8, 21, 25, 29-31} Overall, the available literature and the obtained results of the current investigation unambiguously indicate that different methods of strength training have a similar effect on speed and agility. This may be a consequence of the training processes, their diversity, and the fact that in most cases they did not include exercises for the development of speed or agility.

The increase in the activity of CK and CK-MB isozymes indicates that the load was not too stressful for the body of the examined population. Differences between the first and second measurements were expected, given that the second measurement followed the training episode. Interestingly, the subjects of both ex-

centrica potrebbero rivelarsi strumenti funzionali e flessibili per gli atleti chiamati a gestire la fatica durante l'allenamento contro resistenza. Ciò consente difatti agli atleti di ottimizzare i risultati dell'allenamento, comportando potenzialmente una riduzione dei livelli di affaticamento.^{27, 28} *Inoltre, avremo un numero inferiore di ripetizioni,^{2, 25} e di tempo di tensione muscolare,^{6, 9} oltre ad un maggiore reclutamento delle fibre muscolari di tipo II.²⁴ Una percentuale più elevata di perdita di velocità è correlata a un'accresciuta ipertrofia muscolare, molto probabilmente dovuta al numero più alto di ripetizioni.^{2, 25} I gruppi VBT hanno mostrato un miglioramento più marcato della potenza esplosiva, causata con ogni probabilità dal maggior numero di ripetizioni eseguite ad elevata velocità. La maggior parte degli studi riporta un aumento relativo al CMJ di circa il 10%,^{24, 25} tuttavia, bisogna notare che i salti non sono abitualmente inclusi in questi protocolli di allenamento, il che potrebbe spiegare le discrepanze in termini di risultati rispetto a quanto osservato nella nostra ricerca.^{24, 25} In letteratura sono presenti diversi studi nei quali, analogamente a quanto avvenuto nel presente lavoro di ricerca, i test di velocità e agilità hanno prodotto risultati non dirimenti.^{8, 21, 25, 29-31} Nel complesso, la letteratura disponibile e i risultati ottenuti dalla qui presente indagine indicano in modo inequivocabile che i diversi metodi di allenamento di forza sono in grado di produrre effetti del tutto analoghi sulla velocità e sull'agilità. Tale risultato potrebbe essere una conseguenza delle caratteristiche dei protocolli di allenamento, delle loro differenze e del fatto che nella maggior parte dei casi questi ultimi non includevano esercizi per lo sviluppo della velocità o dell'agilità.*

L'aumento dell'attività della CK e dell'isoenzima CK-MB indica che lo stress generato dal carico di allenamento non era eccessivo per l'organismo degli individui appartenenti alla popolazione esaminata. Le differenze attese tra la prima e la seconda misurazione, presumibilmente dovute al fatto che la seconda misurazione faceva seguito ad una sessione di allenamento, si sono effettivamente verificate. È interessante notare che i soggetti appartenenti ad entrambi i gruppi sperimentali hanno evidenziato una risposta metabolica simile dopo la prima sessione di allenamento per quanto riguarda entrambi i marcatori, tuttavia al termine dell'intero programma di allenamento, questa differenza era statisticamente significativa solo per la CK, riscontro che potrebbe indicare un migliore adattamento del gruppo VBT al carico di allenamento. Ciò detto, va notato che i livelli dei marcatori in entrambi i gruppi non erano superiori ai normali valori di riferimento. Riteniamo inoltre opportuno sottolineare che secondo Walker³² il gruppo con una percentuale più elevata di perdita di velocità era contraddistinto da una

perimental groups had a similar metabolic response after the first training episode in both markers, but this difference was statistically significant for CK after the entire training process, which may indicate a better adaptation of the VBT group to the training load. However, it should be noted that the levels of markers in both groups were not beyond the normal reference values. Interestingly, Walker³² determined that the group with a higher percentage of velocity loss had a stronger metabolic response to exercise as a result of a higher volume of training. In accordance with the highlighted fact, the plasma concentration of Troponin was higher in the VL30% group, which resulted in chronic muscle damage.²⁶ This indicates that the volume of the training (which can be quantified by the level of velocity loss) has a high impact on neuromuscular adaptation, fatigue, and hormonal and metabolic stress.^{2, 27} Therefore, it can be concluded that the VBT training method is safer in terms of muscle damage. Most importantly, monitoring CK levels can be a useful tool for coaches and athletes to gauge the extent of muscle damage and recovery following training sessions. However, it is important to note that CK levels alone may not provide a comprehensive picture of an individual's readiness for training or performance. Moreover, other factors, such as subjective measures of fatigue, should also be considered. Further research is necessary, which will encompass the analysis of muscle damage markers in young males in order to draw a more robust conclusion regarding the analyzed topic.

The current investigation has several indeed relevant strengths that are indispensable to emphasize. Namely, the study encompassed a diverse array of neuromuscular assessments, with each capability evaluated through two distinct tests. Moreover, to the best of the authors' knowledge, this is one of the first studies that included neuromuscular tests and markers of muscle damage in two similar strength training methods, particularly in young males. Additionally, it is crucial to highlight that the study had enough statistical power to detect differences between analyzed groups. Conversely, the limitation of this study refers to the examined population, which consisted of physically active students of sports science and physical education. Future research endeavors should prioritize elite athletes for a more comprehensive understanding. Additionally, the intervention period, spanning 12 training sessions from

risposta metabolica più vigorosa all'esercizio, attribuibile ad un volume di allenamento più elevato. Conformemente a quanto evidenziato, la concentrazione plasmatica di Troponina era più alta nel gruppo VL30%, con conseguente insorgenza di danno muscolare cronico,²⁶ a indicazione che il volume dell'allenamento (il quale può essere quantificato dal livello di perdita di velocità) ha un elevato impatto sull'adattamento neuromuscolare, sulla fatica e sullo stress ormonale e metabolico percepito dall'organismo.^{2,27} Pertanto, si può concludere che il metodo di allenamento VBT è più sicuro in termini di danno muscolare e, soprattutto, è possibile affermare che il monitoraggio dei livelli di CK potrebbe rappresentare uno strumento utile per allenatori e atleti nella valutazione dell'entità del danno muscolare e del recupero successivo alle sessioni di allenamento. Tuttavia, è importante sottolineare che i livelli di CK da soli potrebbero non fornire un quadro completo delle capacità dell'individuo di affrontare un eventuale allenamento o una gara. Inoltre, occorre considerare anche altri fattori, come le misure soggettive della fatica. Riteniamo siano necessarie ulteriori ricerche sull'argomento trattato per poter giungere a conclusioni più robuste e che queste dovrebbero a nostro avviso includere l'analisi dei marcatori di danno muscolare nei giovani soggetti di sesso maschile.

La presente indagine presenta diversi punti di forza alquanto rilevanti, che è indispensabile sottolineare. In particolare, lo studio comprendeva una serie diversificata di valutazioni neuromuscolari e ognuna di queste caratteristiche è stata valutata attraverso due prove distinte. Inoltre, per quanto ci è dato conoscere, questo è uno dei primi studi su una popolazione di uomini in giovane età ad aver incluso test neuromuscolari e marcatori di danno muscolare, oltre a due metodi di allenamento di forza simili. Al di là di ciò, è fondamentale sottolineare che lo studio aveva una potenza statistica sufficiente per rilevare le differenze tra i gruppi analizzati. Di converso, la limitazione principale di questo studio è rappresentata dalla popolazione esaminata, composta interamente da studenti di scienze dello sport e di educazione fisica che svolgevano esercizio fisico con una certa frequenza. Eventuali futuri sforzi di ricerca dovrebbero privilegiare gli atleti d'élite di modo fornire un quadro più completo del fenomeno. In aggiunta, il periodo di intervento, costituito da 12 sessioni di allenamento distribuite nell'arco di sei settimane, rappresenta la durata minima necessaria per ottenere risultati significativi in termini di sviluppo della forza. Si rendono dunque necessarie analisi a lungo termine inframezzate da valutazioni frequenti e volte a delineare in maniera più precisa i cambiamenti che si verificano nel tempo. Inoltre, la valutazione dell'affaticamento e del danno

the 6th week onwards, represents the minimum duration required to yield significant results in strength development. Longer-term analysis and assessments at intermediate points are necessary to capture more precise changes over time. Furthermore, the evaluation of muscle fatigue and damage was limited to only two markers. It is necessary to analyze a larger number of markers in order to make a more precise conclusion.

Conclusions

The main findings of the current study indicated that VBT was more effective regarding absolute strength and explosiveness relative to the PBT program in young males. Thus, strength and conditioning coaches should implement VBT intervention in athletes competing in sports that require high levels of absolute and explosive strength. Moreover, considering that the obtained results regarding speed and agility are quite unclear, more studies with slightly different strength training programs are highly warranted to verify these findings. Additionally, VBT is demonstrated as a safer method for muscle damage. Nonetheless, further analysis should involve more markers of muscle damage at various time points to confirm this assertion.

Practical implications

The results obtained in this study are consistent with the available evidence indicating that VBT is a useful and effective tool in terms of enhancement of explosive strength and power. Still, both strength training modalities positively affected absolute strength. During the critical phase of the season when swift and precise load level data is crucial, the VBT training method emerges as a valuable resource, offering rapid and precise information.

References/Bibliografia

1) Dorrell HF, Smith MF, Gee TI. Comparison of velocity-based and traditional percentage-based loading methods on maximal strength and power adaptations. *J Strength Cond Res* 2020;34:46-53.
2) Pareja-Blanco F, Sánchez-Medina L, Suárez-Arrones L, González-Badillo JJ. Effects of velocity loss during resistance training on performance in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 2017;12:512-9.
3) Flanagan E, Jovanović M. Researched applications of velocity based strength training. *J Aust Strength Cond* 2014;22:58-69.

4) Weakley J, Mann B, Banyard H, McLaren S, Scott T, Garcia-Ramos A. Velocity-based training: from theory to application. *Strength Cond J* 2021;43:31-49.
5) Hughes IJ, Banyard HG, Dempsey AR, Scott BR. Using a load-velocity relationship to predict one repetition maximum in free-weight exercise: a comparison of the different methods. *J Strength Cond Res* 2019;33:2409-19.
6) Banyard HG, Nosaka K, Vernon AD, Haff GG. The reliability of individualized load-velocity profiles. *Int J Sports Physiol Perform* 2018;13:763-9.
7) Grgic J, Lazinica B, Schoenfeld BJ, Pedisic Z. Test-retest reliability of the

muscolare è limitata a due soli marcatori. Sarà necessario analizzare un numero maggiore di marcatori per trarre conclusioni più precise.

Conclusioni

I principali risultati del presente studio indicano che il VBT è più efficace per quanto riguarda la forza assoluta e l'esplosività rispetto al programma PBT, nei soggetti maschi in giovane età. Pertanto, i preparatori specializzati nello strength e conditioning dovrebbero includere l'intervento VBT nei programmi di allenamento degli atleti impegnati in discipline sportive agonistiche che richiedono elevati livelli di forza assoluta ed esplosiva. Inoltre, poiché i risultati ottenuti in merito alla velocità e all'agilità non sono dirimenti, sono indispensabili altri studi caratterizzati da programmi di allenamento di forza leggermente diversi da quelli impiegati in questo lavoro di ricerca per verificarne i risultati in maniera più approfondita. Infine, il VBT ha dimostrato di essere un metodo di allenamento più sicuro dal punto di vista del danno muscolare indotto dall'esercizio. Ciò detto, ulteriori ricerche dovrebbero analizzare un numero maggiore di marcatori di danno muscolare ed il loro andamento nel tempo per avvalorare tale affermazione.

Implicazioni pratiche

I dati raccolti da questo studio sono coerenti con le evidenze scientifiche disponibili in letteratura, le quali affermano che il VBT è uno strumento utile ed efficace in termini di potenziamento della forza esplosiva e della potenza. Malgrado ciò, entrambe le modalità di allenamento di forza prese in esame hanno influenzato positivamente la forza assoluta. Durante le fasi più concitate della stagione, overosia nel momento in cui avere a disposizione dati precisi e di facile accesso sul carico di allenamento è fondamentale, il metodo VBT emerge come una risorsa preziosa per gli staff tecnici, a causa della sua capacità di offrire informazioni accurate in tempi ristretti.

one-repetition maximum (1RM) strength assessment: a systematic review. *Sports Med - Open* 2020;6:31.

8) Banyard HG, Tufano JJ, Weakley JJS, Wu S, Jukic I, Nosaka K. Superior changes in jump, sprint, and change-of-direction performance but not maximal strength following 6 weeks of velocity-based training compared with 1-repetition-maximum percentage-based training. *Int J Sports Physiol Perform* 2021;16:232-42.

9) Orange ST, Metcalfe JW, Robinson A, Applegarth MJ, Liefieith A. Effects of in-season velocity- versus percentage-based training in academy rugby

- league players. *Int J Sports Physiol Perform* 2020;15:554–61.
- 10) Held S, Hecksteden A, Meyer T, Donath L. Improved strength and recovery after velocity-based training: a randomized controlled trial. *Int J Sports Physiol Perform* 2021;16:1185–93.
- 11) Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med* 2010;48:757–67.
- 12) Kim J, Lee J. The relationship of creatine kinase variability with body composition and muscle damage markers following eccentric muscle contractions. *J Exerc Nutr Biochem* 2015;19:123–9.
- 13) Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil* 2002;81:52–69.
- 14) Peake JM, Suzuki K, Wilson G, Hordern M, Nosaka K, Mackinnon L, *et al.* Exercise-induced muscle damage, plasma cytokines, and markers of neutrophil activation. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:737–45.
- 15) Koch AJ, Pereira R, Machado M. The creatine kinase response to resistance exercise. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2014;14:68–77.
- 16) Bruttini FL, Bonetti A, Dragoni S, Gianfelici A. 2022 ethical principles in sports medicine research and motor sciences update. *Med dello Sport* 2022;75:385–90.
- 17) Banyard HG, Nosaka K, Haff GG. Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. *J Strength Cond Res* 2017;31:1897–904.
- 18) Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Hillsdale, N.J: L. Erlbaum Associates; 1988. 567 p.
- 19) Zhang, M, Tan Q, Sun J, Ding S, Yang Q, Zhang Z, *et al.* Comparison of velocity and percentage-based training on maximal strength: meta-analysis. *Int J Sports Med* 2022;43:981–95.
- 20) Liao KF, Wang XX, Han MY, Li LL, Nassis G, Li YM. Effects of velocity based training vs. traditional 1RM percentage-based training on improving strength, jump, linear sprint and change of direction speed performance: a systematic review with meta-analysis. *PLoS One* 2021;16:e0259790.
- 21) Rossi C, Vasiljevic I, Manojlovic M, Trivic T, Ranisavljev M, Stajer V, *et al.* Optimizing strength training protocols in young females: a comparative study of velocity-based and percentage-based training programs. *Heliyon* 2024;10:e30644.
- 22) Liu Y, Zhao X, Wu H. The impact of velocity-based strength training on lower extremity explosiveness in butterfly swimmers. *Adv Educ Humanit Soc Sci Res* 2024;9:92–92.
- 23) Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:456–64.
- 24) Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Sanchis-Moysi J, Dorado C, Mora-Custodio R, *et al.* Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sports* 2017;27:724–35.
- 25) Rodríguez-Rosell D, Yáñez-García JM, Mora-Custodio R, Sánchez-Medina L, Ribas-Serna J, González-Badillo JJ. Effect of velocity loss during squat training on neuromuscular performance. *Scand J Med Sci Sports* 2021;31:1621–35.
- 26) Rodríguez Rosell D, Yáñez García J, Mora Custodio R, Blanco F, García AG, Ribas-Serna J, *et al.* Velocity-based resistance training: impact of velocity loss in the set on neuromuscular performance and hormonal response. *Appl Physiol Nutr Metab* 2020;45:817–28.
- 27) Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:1725–34.
- 28) Włodarczyk M, Adamus P, Zieliński J, Kantanista A. Effects of velocity-based training on strength and power in elite athletes: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18:5257.
- 29) Pareja-Blanco F, Alcazar J, Sánchez-Valdepeñas J, Comejo-Daza PJ, Piqueras-Sanchiz F, Mora-Vela R, *et al.* Velocity loss as a critical variable determining the adaptations to strength training. *Med Sci Sports Exerc* 2020;52:1752–62.
- 30) Zhang M, Li D, He J, Liang X, Li D, Song W, *et al.* Effects of velocity-based versus percentage-based resistance training on explosive neuromuscular adaptations and anaerobic power in sport-college female basketball players. *Healthcare* 2023;11:623.
- 31) Zhang M, Liang X, Huang W, Ding S, Li G, Zhang W, *et al.* The effects of velocity-based versus percentage-based resistance training on athletic performances in sport-collegiate female basketball players. *Front Physiol* 2022;13:992655.
- 32) Walker S, Häkkinen K, Virtanen R, Mane S, Bachero-Mena B, Pareja-Blanco F. Acute neuromuscular and hormonal responses to 20 versus 40% velocity loss in males and females before and after 8 weeks of velocity-loss resistance training. *Exp Physiol* 2022;107:1046–60.

Conflicts of interest

The authors certify that there is no conflict of interest with any financial organization regarding the material discussed in the manuscript.

Funding

The current study was funded by the Provincial Secretariat for Higher Education and Scientific Research, grant number 142-451-3098.

Authors' contributions

Isidora Vasiljevic and Patrik Drid were responsible for the idea, conceptualization, and writing of the study. MM contributed to the methodological aspects. Antonino Bianco, Nemanja Maksimovic, and Tatjana Trivic reviewed the manuscript and interpreted the results. All authors read and approved the final version of the manuscript.

History

Manuscript accepted: June 21, 2024. - Manuscript received: April 9, 2024.

Supplementary data

For supplementary materials, please see the online version of this article at www.minervamedica.it