

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
IM. JERZEGO KUKUCZKI W KATOWICACH

Patryk Matykiewicz

**PORÓWNANIE WYBRANYCH ZMIENNYCH KINEMATYCZNYCH
PODCZAS WYCISKANIA SZTANGI STANDARDOWEJ I ŁAMANEJ
(CAMBERED) LEŻĄC.**

Promotor:
prof. dr hab. Adam Zając

Katowice 2023

Wykaz publikacji będących podstawą rozprawy doktorskiej

1.

Tytuł oryginału: The bench press exercise performed with increased range of motion allows for greater bar velocities

Autorzy: Patryk Matykiewicz, Michał Krzysztofik, Aleksandra Filip-Stachnik, Michał Wilk

Czasopismo: Journal of Physical Education and Sport

Opis fizyczny: 2021, Vol. 21, nr 4, s. 1737-1743

Impact Factor: -

Punktacja MNiSW: 70

2.

Tytuł oryginału: A comparison of basic training variables in the standard and cambered bar bench press performed to volitional exhaustion

Autorzy: Patryk Matykiewicz, Michał Krzysztofik, Adam Zając

Czasopismo: Journal of Human Kinetics

Opis fizyczny: 2023, Vol. 87, s. 201-210

Impact Factor: 2.3

Punktacja MNiSW: 140

3.

Tytuł oryginału: Extended range of motion does not induce greater muscle damage than conventional range of motion in the bench press exercise

Autorzy: Patryk Matykiewicz, Michał Krzysztofik, Adam Zając

Czasopismo: Baltic Journal of Health and Physical Activity

Opis fizyczny: 2023, Vol. 15 (4), art. 1

Impact Factor: 0.8

Punktacja MNiSW: 70

Oświadczenie autora i pozostałych współautorów publikacji

1. The Bench Press Exercise Performed With Increased Range of Motion Allows for Greater Bar Velocities

Imię i nazwisko autora	Koncepcja *pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie *manuskryptu [%]	Udział w procesie *recenzenckim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Patryk Matykiewicz	10	10		25	10	55	
Michał Krzysztofik*		5	10		5	20	
Aleksandra Filip-Stachnik		5		5		10	
Michał Wilk			5		10	15	

2. A Comparison of Basic Training Variables in the Standard and Cambered Bar Bench Press Performed to Volitional Exhaustion

Imię i nazwisko autora	Koncepcja pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie manuskryptu [%]	Udział w procesie recenzenckim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Patryk Matykiewicz*	25	10		25	10	70	
Michał Krzysztofik		5	15			20	
Adam Zając			5		5	10	

3. Extended Range of Motion Does not Induce Greater Muscle Damage than Conventional Range of Motion in the Bench Press Exercise

Imię i nazwisko autora	Koncepcja pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie manuskryptu [%]	Udział w procesie recenzenckim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Patryk Matykiewicz*	20	15	5	25	5	70	
Michał Krzysztofik			10	5		15	
Adam Zając	10			5		15	

Spis treści

1. Streszczenie.....	5
2. Summary.....	7
3. Wstęp.....	9
3.1 Wyciskanie sztangi leżąc w kształtowaniu siły mięśniowej	9
3.2 Znaczenie zakresu ruchu w treningu oporowym	10
4. Przedmiot rozprawy	12
4.1 Problem badawczy	12
4.2 Cel badań, pytania badawcze, hipoteza	13
4.3 Osiągnięcia naukowe.....	14
5. Materiał i metody badawcze.....	15
6. Wyniki badań.....	19
7. Podsumowanie	21
8. Wnioski.....	25
9. Bibliografia	27
10. Prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego	34
10.1. Praca nr 1	34
10.2. Praca nr 2	41
10.3. Praca nr 3	51

Streszczenie

Słowa kluczowe: trening oporowy, zakres ruchu, prędkość ruchu, uszkodzenia mięśniowe, zmęczenie

Wyciskanie sztangi leżąc jest jednym z najczęściej wykorzystywanych ćwiczeń oporowych do oceny oraz kształtowania i monitorowania siły maksymalnej, mocy, a także stymulowania hipertrofii mięśniowej górnej części ciała (Król i Gołaś, 2017; Schoenfeld i wsp., 2015). Poza kolejnością wykonywanych ćwiczeń, ich objętością oraz intensywnością, istotnym elementem metodyki treningu oporowego jest również zakres ruchu, z jakim wykonywane jest ćwiczenie (Schoenfeld i Grgic, 2020). Podczas wyciskania sztangi leżąc pełny fizjologiczny zakres ruchu mięśni wiodących (mięsień piersiowy większy, przednia część mięśnia naramiennego oraz mięsień trójgłowy ramienia) ograniczony jest przez sztangę. Podczas końcowej fazy opuszczania (fazy ekscentrycznej ruchu) sztanga dotyka klatki piersiowej, uniemożliwiając tym samym pełne rozciągnięcie ww. mięśni. Rozwiązaniem tego problemu stanowi pojawienie się nowego rodzaju sztangi łamanej przeznaczonej do wyciskania leżąc (ang. cambered barbell – CMB). Sztanga ta stanowi alternatywę dla standardowej sztangi (ang. standard barbell – STD) i jest coraz chętniej wykorzystywana w tradycyjnym treningu siły mięśniowej górnej części ciała.

Przedstawione w niniejszej dysertacji trzy badania naukowe zmierzały do porównania prędkości sztangi CMB i STD oraz określenia poziomu zmęczenia nerwowo-mięśniowego, jak również uszkodzeń mięśniowych wywołanych zwiększonym zakresem ruchu przy wykorzystaniu sztangi typu CMB podczas wyciskania sztangi leżąc. W tym celu, jedno z badań ukierunkowane było na porównanie szczytowej i średniej prędkości sztangi w wyciskaniu gryfem typu CMB i STD w protokole obejmującym wykonanie trzech serii po trzy powtórzenia wyciskania sztangi leżąc, z obciążeniem równym 50% 1RM (ang. one-repetition maximum). W kolejnym badaniu porównano poziom zmęczenia nerwowo-mięśniowego z wykorzystaniem dwóch rodzajów sztang użytych w protokole, w oparciu o różnice w szczytowych prędkościach sztangi podczas wyrzutu leżąc na suwnicy Smith'a wykonywanego 1 i 24 godziny po protokole. Głównym celem ostatniej z prac niniejszej dysertacji było określenie poziomu uszkodzeń mięśniowych na podstawie aktywności enzymu kinazy kreatynowej (CK) we krwi oznaczanej odpowiednio przed, 1, 24 oraz 48 godzin po sesji eksperymentalnej. Poziom zmęczenia nerwowo-mięśniowego określanego na podstawie zmian prędkości wyrzutu sztangi leżąc, jak również aktywności CK

w surowicy krwi, określany był po protokole obejmującym wykonanie 5 serii wyciskania sztangi leżąc prowadzącego do odmowy wolicjonalnej z obciążeniem równym 70% 1RM. Postawiono hipotezę, iż zwiększony zakres ruchu poprzez wykorzystanie sztangi typu CMB prowadzi będzie do większych wartości prędkości sztangi, większego poziomu zmęczenia nerwowo-mięśniowego, jak również wyższej aktywności CK we krwi.

W każdym badaniu wykorzystano sztangę łamaną typu CMB, oraz sztangę STD. Do rejestrowania ilości powtórzeń, prędkości średniej i szczytowej sztangi, przesunięcia liniowego sztangi (przebytej drogi) wykorzystano przetwornik liniowy Tendo Power Analyzer (Tendo Sport Machines, Trencin, Slovakia). Przy selekcji badanych zastosowano następujące kryteria włączenia: min. 5-letnie doświadczenie w treningu siły mięśniowej, 1RM równe lub wyższe 100% masy własnego ciała oraz min. 4 tygodniowe wcześniejsze zaznajomienie się z wyciskaniem sztangi CMB. Każda sesja eksperymentalna poprzedzona była sesją zapoznawczą oraz rozpoczynała się od rozgrzewki ogólnej, następnie specjalistycznej. Pierwsza z prac wykazała istotnie wyższą szczytową prędkość sztangi przy zastosowaniu sztangi CMB w porównaniu do sztangi STD z tym samym obciążeniem zewnętrznym (50% 1RM sztangi STD) przy wykonaniu 3 serii po 3 powtórzenia. Wyniki tych badań sugerują, iż zastosowanie sztangi CMB może być alternatywą dla standardowego wyciskania sztangi leżąc w rozwijaniu wyższych prędkości. Kolejne badanie miało na celu porównanie maksymalnej liczby wykonanych powtórzeń, różnic w teście 1RM oraz poziomu zmęczenia nerwowo-mięśniowego określonego na podstawie szczytowej prędkości w wyrzucie sztangi wykonanym na suwnicy Smith'a przed, godzinę oraz 24 godziny po wykonaniu protokołu badawczego, który składał się z 5 serii wyciskania do odmowy wolicjonalnej z obciążeniem zewnętrznym równym 70%1RM (mierzonego niezależnie na sztandze STD i CMB). Wyniki tych badań wykazały istotne różnice w poziomie 1RM, jak również liczbie wykonanych powtórzeń. Dodatkowo zanotowano podobny trend spadkowy w szczytowej prędkości sztangi w wyrzucie leżąc na suwnicy Smith'a wykonanym godzinę po sesji eksperymentalnej, jak również brak istotnych różnic w wartościach szczytowej prędkości sztangi podczas wyrzutu wykonanego 24 godziny po sesji. Wyniki te mogą sugerować, iż wyciskanie sztangi leżąc przy użyciu zarówno sztangi STD, jak i sztangi CMB powodują podobne zmęczenie nerwowo-mięśniowe przy zastosowaniu odpowiednio tego samego relatywnego obciążenia zewnętrznego. Ostatnie z zaplanowanych badań miało na celu porównanie wyciskania sztangi CMB oraz STD leżąc na prędkość sztangi, oraz uszkodzenia mięśniowe określone na podstawie aktywności enzymu kinazy kreatynowej (CK) we krwi badanych. Aktywność CK wykazała istotny

wzrostowy trend od pomiaru wyjściowego do punktów czasowych (1, 24, 48 godzin) po ćwiczeniu wyciskania sztangi STD, podczas gdy CK po 48 godzinach przy wykorzystaniu sztangi CMB było wyższe w porównaniu do stanu przed i po 1 godzinie, ale nie wyższe niż po 24 godzinach. Można wnioskować, że wyciskanie sztangi na ławce wykonywane przy użyciu sztangi CMB może nie wymagać odmiennej strategii treningowej w porównaniu do wyciskania sztangi STD, a nawet można zastosować wyższą częstotliwość treningu.

1. Summary

The bench press is one of the most commonly used resistance exercises for assessing, developing, and monitoring maximal strength, power, and stimulating muscle hypertrophy of the upper body (Król & Gołaś, 2017; Schoenfeld et al., 2015). Besides exercise order, volume, and intensity, a significant element of resistance training methodology includes the performed exercises range of motion (Schoenfeld & Grgic, 2020). During the bench press exercise, the full physiological range of motion of the primarily engaged muscles (pectoralis major, anterior deltoid, and triceps brachii) is restricted by the barbell. During the final eccentric phase of the movement, the barbell touches the chest, thus preventing full stretching of these muscles. This issue seems to have been resolved by the introduction of a new type of curved barbell designed for the bench press (cambered barbell – CMB). This barbell serves as an alternative to the standard barbell (standard barbell – STD) and is increasingly being used in traditional upper body resistance training.

The three empirical studies presented in this dissertation aimed to evaluate the effectiveness and determine the level of neuromuscular fatigue, as well as muscle damage induced by an increased range of motion using the CMB barbell compared to the conventional range of motion with the use of an STD barbell during the flat bench press exercise. To achieve this, one of the studies focused on comparing the peak and mean velocity between the CMB and STD barbells in a protocol involving three sets of three repetitions with a load equal to 50% of 1RM (one-repetition maximum). In the next study, the level of neuromuscular fatigue was compared using two types of barbells in an exercise protocol, based on differences in peak barbell velocities during the bench press throws performed at 1 and 24 hours after the fatigue exercise protocol. The main goal of the final study of this dissertation was to determine the level of muscle damage based on creatine kinase (CK) activity in blood serum, measured at baseline, and 1, 24, and 48 hours after the experimental exercise protocol. The level of neuromuscular fatigue, determined based on barbell peak velocity during bench press throws, as well as the

level of muscle damage, was assessed in a protocol involving 5 sets of bench press leading to volitional failure with a load equal to 70% of 1RM. The hypothesis was that an increased range of motion through the use of the CMB barbell would lead to higher barbell velocities, greater levels of neuromuscular fatigue, and higher post exercise blood CK activity.

In each study, a CMB barbell and an STD barbell were used. A linear transducer Tendo Power Analyzer (Tendo Sport Machines, Trencin, Slovakia) was used to record the number of repetitions, mean and peak barbell velocities, and range of motion (displacement). The following inclusion criteria were applied in selecting the study group: a minimum of 5 years of strength training experience, a 1RM equal to or greater than 100% of body mass, and at least 4 weeks of prior familiarity with CMB bench press. Each experimental session was preceded by a familiarization session and started with a general warm-up, followed by a specific bench press warm-up. The first study demonstrated significantly higher barbell velocity when using the CMB barbell compared to the STD barbell with the same external load (50% 1RM for both CMB and STD barbells) in the execution of 3 sets of 3 repetitions. The results of these studies suggest that using the CMB barbell may be an alternative to the standard bench press in developing higher velocities. The subsequent study aimed to compare the level of neuromuscular fatigue determined based on the peak velocity during the bench press throws executed before, 1 hour, and 24 hours after performing the fatigue exercise protocol consisting of 5 sets of the bench press to volitional failure with an external load equal to 70%1RM (measured on the STD and CMB barbells independently). The results of these studies showed a similar downward trend in peak barbell velocity during the bench press throws executed 1 hour after the experimental session, with values returning to baseline after 24 hours of recovery. These results may suggest that bench presses performed using both STD and CMB barbells induce similar neuromuscular fatigue when using the same external load. The last planned study aimed to compare the effects of bench pressing with CMB and STD barbells on barbell velocity and muscle damage based on CK activity. CK activity demonstrated a general significant upward trend from baseline measurements to following time points (1, 24, 48 hours) after STD bench press exercise, whereas CK after 48 hours of CMB bench press was higher compared to pre-exercise and post-exercise states, but not higher than after 24 hours of recovery. Therefore, it might be concluded that performing the bench press exercise with the use of the CMB barbell does not require a different training strategy compared to using the STD barbell, and a higher training frequency may even be applied.

2. Wstęp

3.1 Wyciskanie sztangi leżąc w kształtowaniu siły mięśniowej

Jednym z najpopularniejszych ćwiczeń oporowych, wykorzystywanych w celu rozwijania maksymalnej siły mięśniowej górnej części ciała, jest wyciskanie sztangi leżąc (Stastny i wsp., 2017). Wyciskanie sztangi leżąc jest kluczowym ćwiczeniem zarówno dla amatorów, jak i profesjonalnych sportowców różnych dyscyplin sportu. Poprawna technika wyciskania sztangi leżąc, polega na opuszczeniu sztangi do klatki piersiowej (faza ekscentryczna ruchu), następnie wyciśnięciu jej w górę do pełnego wyprostu w stawach łokciowych (faza koncentryczna ruchu) (Gomo i Van Den Tillaar, 2016). Głównym zainteresowaniem naukowców w dziedzinie nauk o sporcie, trenerów i zawodników, jest wpływ wyciskania sztangi leżąc na poziom siły maksymalnej, mocy oraz na stymulowanie hipertrofii mięśniowej (Krzysztofik i wsp., 2019; Schoenfeld i wsp., 2015). Wyciskanie sztangi leżąc można wykonywać m.in. z różną szerokością chwytu (Gepfert i wsp., 2019), prędkością ruchu (Wilk i wsp., 2020), czy zakresem ruchu (Pinto i wsp., 2012), co wpływa na zakres adaptacji treningowych. Główne mięśnie zaangażowane podczas wyciskania sztangi leżąc to przednia część mięśnia naramiennego, mięsień piersiowy większy oraz mięsień trójgłowy ramienia, przy czym mięsień piersiowy większy pełni rolę mięśnia głównego, natomiast mięsień naramienny i trójgłowy ramienia są mięśniami wspomagającymi (Król i Gołaś, 2017; Krzysztofik, Golas, i wsp., 2020; Lagally i wsp., 2004; Stastny i wsp., 2017). W celu oceny siły maksymalnej w ćwiczeniach oporowych stosuje się test jednego powtórzenia maksymalnego (ang. one-repetition maximum test – 1RM). Test ten służy do określenia maksymalnego obciążenia, z którym badany jest w stanie wykonać jedno powtórzenie określonego zadania ruchowego. Z kolei wielkość stosowanego obciążenia zewnętrznego, wyrażana jest zazwyczaj jako procent obciążenia maksymalnego (%1RM) i określa intensywność, z jaką wykonywana jest dana czynność ruchowa. Poza intensywnością wykonywanych ćwiczeń oporowych, projektując program treningu siłowego kluczowa jest także objętość, która może być wyrażona na wiele sposobów. Najczęściej spotykanym wyrażeniem objętości treningowej jest liczba wykonanych powtórzeń, tonaż lub czas napięcia mięśniowego (ang. time under tension - TUT). Najprostszą metodą jest określenie liczby wykonanych powtórzeń lub tonaż, gdzie stosuje się iloczyn liczby wykonanych powtórzeń przez obciążenie zewnętrzne wyrażone w kilogramach. Jednakże, w badaniach dotyczących zakresu ruchu wydaje się, że użycie liczby powtórzeń lub tonażu jako miary objętości nie jest odpowiednie z uwagi na różnice w

przemieszczeniu sztangi. W takich sytuacjach odpowiednim podejściem wydaje się pomiar TUT (Krzysztofik i in., 2021; Krzysztofik, Zajac, i wsp., 2020). Krzysztofik, Zajac, i in., (2020) w swoich badaniach potwierdzili, że przy jednakowej liczbie wykonanych powtórzeń, istotnie większy zakres ruchu przy zastosowaniu sztangi CMB spowodował istotnie większy TUT w porównaniu do sztangi STD. Co więcej, przy seriach wyciskania sztangi do odmowy wolicjonalnej, pomimo większej ilości wykonanych powtórzeń ze sztangą STD w porównaniu do CMB, nie zanotowano istotnych różnic w TUT (Krzysztofik i in., 2021). Pomimo iż dostępna literatura dotycząca zakresu ruchu w treningu siłowym wydaje się obszerna, jego wpływ na efekty treningowe wciąż pozostaje niejasny, a większość literatury ograniczona jest do porównania pełnego z częściowym zakresem ruchu.

3.2 Znaczenie zakresu ruchu w treningu oporowym

Zakres ruchu (ROM – ang. range of motion) w treningu siłowym związany jest między innymi z rodzajem zadania ruchowego i ruchomością stawów. Obejmuje on między innymi wyprosty i zgięcia, rotacje w stawach, odwodzenia i przywodzenia, przebytą drogę, przemieszczenie podczas danej czynności ruchowej, a dostosowanie optymalnego zakresu ruchu wpływa na osiągnięte cele treningowe i adaptację mięśniową. Wpływ zakresu ruchu na wyniki treningowe został szeroko przeanalizowany w literaturze (Clark i wsp., 2008; Martínez Cava i wsp., 2018, 2019; Pallarés i wsp., 2020; Valamatos i wsp., 2018). Trenerzy oraz sportowcy nierzadko stosują częściowy zakres ruchu zgodnie z zasadą specyficzności, kształtując tym samym adaptacje treningowe w wybranym zakresie ruchu odpowiadającym dyscyplinie sportowej. Jednakże, pełny zakres ruchu pozwala na uzyskanie większej szczytowej i średniej prędkości ruchu (Drinkwater i wsp., 2012; Krzysztofik, Zajac, i wsp., 2020). Dodatkowo dostępna literatura wskazuje na pozytywny wpływ stosowania pełnego zakresu ruchu na adaptację nerwowo-mięśniową w porównaniu do częściowego zakresu ruchu podczas wyciskania sztangi leżąc oraz przysiadów ze sztangą (Martínez Cava i wsp., 2019; Pallarés i wsp., 2020). Biorąc pod uwagę długoterminową adaptację, Pallarés i wsp. (2020) udowodnili, że 10 tygodniowy trening przysiadów ze sztangą zarówno w pełnym, jak i częściowym zakresie ruchu, prowadzi do istotnej poprawy wysokości skoku dosiężnego oraz siły maksymalnej kończyn dolnych (1RM), jednak korzystniejszy w wynikach okazał się ponownie pełny zakres ruchu. Podobnie, wyniki badań (Martínez Cava i wsp., 2019) wykazały większy wzrost siły maksymalnej badanych po 10 tygodniach wyciskania sztangi leżąc w pełnym zakresie ruchu, w porównaniu do częściowego zakresu ruchu (1/3 i 2/3

ROM). Wyniki przytoczonych badań zgodnie wskazują na efektywność pełnego zakresu ruchu, natomiast większość z nich ograniczona jest do porównania częściowego i pełnego zakresu ruchu.

Podczas gdy w większości ćwiczeń siłowych zakres ruchu podyktowany jest przez fizjologiczne możliwości stawu lub kilku stawów, w przypadku wyciskania sztangi leżąc, głównym ograniczeniem staje się sama sztanga, która dotyka klatki piersiowej pod koniec fazy opuszczania (ekscentrycznej) ćwiczenia. W związku z tym główne mięśnie zaangażowane w tym ćwiczeniu (mięsień piersiowy większy, część przednia mięśnia naramiennego oraz mięsień trójgłowy ramienia) nie są w stanie uzyskać pełnego fizjologicznego rozciągnięcia. Aby wyeliminować to ograniczenie, zaprojektowano nowy przybór treningowy, jakim jest sztanga CMB. W odróżnieniu do tradycyjnej prostej sztangi środek sztangi CMB jest charakterystycznie wygięty, co stwarza dodatkową przestrzeń dla tułowia i umożliwia uzyskanie większego zakresu ruchu w fazie ekscentrycznej podczas opuszczania sztangi, a zatem większe rozciągnięcie mięśni zaangażowanych w tą czynność ruchową. Dotychczas, badanie porównujące aktywność elektromiografii powierzchniowej (sEMG) podczas wyciskania sztangi leżąc z użyciem wyżej wymienionych sztang, wykazało iż wyciskanie przy użyciu sztangi CMB prowadzi do wyższej chwilowej aktywności mięśni naramiennych, podczas gdy wyciskanie sztangi STD wykazało większą aktywność sEMG mięśnia piersiowego większego oraz głowy długiej mięśnia trójgłowego ramienia (Krzysztofik, Golas, i wsp., 2020) z obciążeniem równym 90%1RM. Ponadto, Krzysztofik, Zajac, i wsp., (2020) zarejestrowali w swoich badaniach wyższe wartości średnie i szczytowe mocy i prędkości sztangi przy zastosowaniu CMB w porównaniu do sztangi STD. A zatem, użycie CMB może być rozpatrywane jako dodatkowy przybór w treningu oporowym ukierunkowanym na rozwijanie wyższych prędkości ruchu, w szczególności z zawodnikami sportów, które wymagają siły eksplozywnej. Mając na uwadze pozytywny wpływ zastosowania sztangi CMB podczas wyciskania sztangi leżąc na zmienne treningowe, oraz niewystarczające informacje w dostępnej literaturze, dalsze badania porównujące sztangę CMB z sztangą STD wydają się uzasadnione.

3. Przedmiot rozprawy

4.1 Problem badawczy

Analizując literaturę tematu, według najlepszej wiedzy autora, można doszukać się zaledwie dwóch publikacji, których podstawą było porównanie zastosowania sztangi CMB i STD w wyciskaniu sztangi leżąc na ławce płaskiej. Pierwsza z nich obejmuje porównanie aktywności mięśniowej (za pomocą elektromiografii powierzchniowej) zarówno w wyciskaniu sztangi CMB, jak i STD (Krzysztofik, Golas, i wsp., 2020). Badanie obejmowało jedno powtórzenie wyciskania sztangi leżąc, z obciążeniem zewnętrznym równym 50%, 70% oraz 90%1RM. Wyniki badania wykazały, iż zwiększony zakres ruchu dzięki użyciu sztangi CMB skutkuje większą aktywnością przedniej (obojczykowej) części mięśni naramiennych, podczas gdy aktywność sEMG mięśnia piersiowego większego i głowy długiej mięśnia trójgłowego ramienia okazała się wyższa przy zastosowaniu sztangi STD z zastosowanym obciążeniem zewnętrznym 90%1RM. Wyniki te mogą sugerować, że zastosowanie sztangi CMB może być dobrą alternatywą dla sportowców, którym szczególnie zależy na zaangażowaniu mięśni naramiennych. Z drugiej strony, sztanga STD okazuje się korzystniejsza dla osób, których celem jest maksymalne zaangażowanie mięśni piersiowych i mięśnia trójgłowego ramienia. Celem drugiego z dostępnych badań było porównanie sztangi CMB i STD w wyciskaniu sztangi leżąc na średnią i szczytową moc oraz prędkość sztangi (Krzysztofik, Zajac, i wsp., 2020). Protokół badawczy obejmował wykonanie przez uczestników jednej serii po trzy powtórzenia wyciskania sztangi leżąc na ławce płaskiej, z obciążeniem równym 50%1RM, z użyciem dwóch rodzajów sztangi, z maksymalną możliwą prędkością. Wyniki wykazały istotnie wyższą szczytową oraz średnią moc podczas wyciskania sztangi CMB. Dodatkowo wykazano istotnie większy zakres ruchu przy użyciu sztangi CMB, co spowodowało rozwinięcie wyższej szczytowej i średniej prędkości sztangi. Ponadto, w jednej z wymienionych wyżej prac (Krzysztofik, Zajac, i wsp., 2020) autorzy potwierdzili, iż wydłużony zakres ruchu przy użyciu sztangi CMB spowodował istotny wzrost TUT podczas wyciskania do odmowy. W kolejnej z prac udowodniono, iż kontrolując objętość treningową z zastosowaniem różnych zakresów ruchu, mierzenie tylko i wyłącznie ilości wykonanych powtórzeń wydaje się niewystarczające (Krzysztofik i wsp., 2021). Autorzy tej pracy wykazali istotnie mniejszą liczbę wykonanych powtórzeń do odmowy przy użyciu sztangi CMB w porównaniu do sztangi STD. Mimo tego nie wykazano istotnych różnic w TUT. A zatem można

wnioskować, iż trening z użyciem tej sztangi może powodować większe zmęczenie nerwowo-mięśniowe, co również jest przedmiotem niniejszej dysertacji.

Pomimo częściowych dowodów na pozytywny wpływ stosowania sztangi CMB w wyciskaniu sztangi leżąc, należy zwrócić uwagę na ograniczenia metodologiczne w dotychczasowych badaniach. Głównym ograniczeniem przeprowadzonych wcześniej badań wydaje się brak oddzielnego testu 1RM dla sztangi CMB (Krzysztofik, Golas, i wsp., 2020; Krzysztofik, Zajac, i wsp., 2020; Matykiewicz i wsp., 2021), co mogłoby wpłynąć na wyniki badań poprzez istotne różnice w 1RM w różnym zakresie ruchu. Zgodnie z dostępną wiedzą, pełny zakres ruchu w wyciskaniu sztangi leżąc skutkuje również mniejszą liczbą wykonanych powtórzeń, w porównaniu do częściowego zakresu ruchu (Lima i wsp., 2012). W dostępnej literaturze tylko w dwóch badaniach (Krzysztofik i wsp., 2021, 2022) wykonano oddzielny pomiar 1RM dla sztangi CMB oraz sztangi STD i wykazano istotne różnice w obciążeniu zewnętrznym.

4.2 Cel badań, pytania badawcze, hipotezy

Celem badań zawartych w niniejszej dysertacji było porównanie wykorzystania sztangi CMB i STD na parametry wyciskania sztangi leżąc, takie jak poziom 1RM, zakres ruchu (przesunięcie liniowe sztangi), średnia i szczytowa prędkość sztangi, liczba wykonanych powtórzeń do odmowy, zmęczenie nerwowo-mięśniowe określone porównaniem zmian szczytowych prędkości sztangi podczas jej wyrzutu leżąc, jak i uszkodzenia mięśniowe na podstawie powysiłkowej aktywności CK w surowicy krwi. W tym celu przeprowadzono trzy eksperymenty z udziałem zdrowych mężczyzn z minimum 3-letnim doświadczeniem w treningu siłowym oraz co najmniej 4-tygodniowym wcześniejszym okresem zaznajomienia się z przyborem CMB. Dodatkowo wymagany był minimalny poziom 1RM w wyciskaniu sztangi leżąc, który wynosił 100% masy ciała. Pierwszy z eksperymentów polegał na określeniu różnic w średniej oraz szczytowej prędkości w wyciskaniu sztangi leżąc z użyciem dwóch rodzajów sztang. Analizując uzyskane wyniki oraz wnioski poprzednich doniesień naukowych (Krzysztofik i wsp., 2021), drugie badanie ukierunkowane było na porównanie wyciskania sztangi STD oraz CMB na zmęczenie nerwowo-mięśniowe. Odkąd prędkość ruchu uznawana jest za wiarygodny wskaźnik zmęczenia nerwowo-mięśniowego (de-Oliveira i wsp., 2022; Sánchez-Medina i González-Badillo, 2011), porównane zostały zmiany prędkości sztangi podczas wyrzutu leżąc z wykorzystaniem suwnicy Smith'a. Wyrzuty wykonano przed i godzinę, oraz 24 godziny po protokole badawczym w celu określenia różnic między

wyciskaniem sztangi leżąc z użyciem sztangi STD i CMB w poziomie wywołanego zmęczenia nerwowo-mięśniowego, oraz jak zmienia się ono w czasie. Trzecie badanie było kontynuacją poprzednio wspomnianej pracy, która uzupełniona została o porównanie sztangi CMB i STD w wyciskaniu sztangi leżąc na uszkodzenia mięśniowe określone przez aktywność CK w surowicy krwi badanych tuż przed oraz godzinę, 24 godziny i 48 godzin po wysiłku.

Pytania badawcze dotyczące poszczególnych eksperymentów wchodzących w skład przedkładanego cyklu prac obejmowały:

Badanie 1: Czy istnieją istotne różnice w średniej oraz szczytowej prędkości sztangi między wyciskaniem leżąc z wykorzystaniem sztangi CMB i STD?

Badanie 2: Czy istnieją istotne różnice podczas wyciskania sztangi CMB a STD w teście siły maksymalnej, liczbie wykonanych powtórzeń do odmowy oraz poziomie zmęczenia nerwowo-mięśniowego w określonym przebiegu czasowym?

Badanie 3: Czy istnieją istotne różnice w powysiłkowej aktywności CK w surowicy krwi badanych pomiędzy wyciskaniem sztangi CMB i STD w określonym przebiegu czasowym?

Hipoteza 1: Zastosowanie sztangi CMB, która pozwala uzyskać większy zakres ruchu w porównaniu do sztangi STD, pozwala osiągać wyższe prędkości sztangi.

Hipoteza 2: Większy zakres ruchu przy zastosowaniu sztangi CMB wpływa na niższe wyniki testu 1RM oraz mniejszą liczbę wykonanych powtórzeń. Wyciskanie sztangi z użyciem CMB prowadzi do większego zmęczenia.

Hipoteza 3: Sztanga CMB poprzez zwiększony zakres ruchu wywołuje większy spadek prędkości wyrzucanej sztangi, oraz wyższą aktywność CK w surowicy krwi w określonych przedziałach czasowych po zakończeniu wysiłku, co może wymagać odmiennego podejścia treningowego.

4.3 Osiągnięcia naukowe

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest osiągnięcie naukowe przedstawione w postaci trzech monotematycznych prac opublikowanych w czasopismach znajdujących się na liście Journal Citation Report (JCR) oraz MEiN. Łączna wartość punktowa opublikowanych prac wynosi: **IF =3.1; MEiN = 280 pkt.**

Prace zostały przedstawione pod wspólnym tematem: Porównanie wybranych zmiennych kinematycznych podczas wyciskania sztangi standardowej i łamanej (cambered) leżąc.

Wykaz opublikowanych prac:

1. **Patryk Matykiewicz**, Michał Krzysztofik, Aleksandra Filip-Stachnik, Michał Wilk. „*The bench press exercise performed with increased range of motion allows for greater bar velocities*”. Journal of Physical Education and Sport 2021;21(4):1737-1743. [MEiN = 70.000]
2. **Patryk Matykiewicz**, Michał Krzysztofik, Adam Zając. „*A comparison of basic training variables in the standard and cambered bar bench press performed to volitional exhaustion*”. Journal of Human Kinetics 2023;87:201-210. [IF = 2.300; MEiN = 140]
3. **Patryk Matykiewicz**, Michał Krzysztofik, Adam Zając. „*Extended range of motion does not induce greater muscle damage than conventional range of motion in the bench press exercise*”. Baltic Journal of Health and Physical Activity 2023; [IF = 0.8; MEiN = 70]

5. Materiał i metody badawcze

Wymienione prace dotyczą porównania zastosowania wyprofilowanej sztangi typu CMB oraz sztangi STD na parametry wyciskania sztangi leżąc, takie jak zakres ruchu, siła maksymalna, liczba wykonanych powtórzeń, średnia oraz szczytowa prędkość sztangi. Dodatkowo oceniony został wpływ stosowania pogłębionego zakresu ruchu w wyciskaniu sztangi leżąc (poprzez zastosowanie sztangi CMB) na zmęczenie nerwowo-mięśniowe oraz uszkodzenia mięśniowe. W każdym z badań wykorzystano olimpijską sztangę do wyciskania na ławce leżąc oraz sztangę specjalistycznie wyprofilowaną w celu pogłębienia zakresu ruchu (Ryc. 1).



Ryc. 1 Wyciskanie sztangi łamanej (Cambered Barbell)

Pierwsze z badań, opublikowane w 2021 roku w czasopiśmie *Journal of Physical Education and Sport*, obejmowało określenie różnic w średniej i szczytowej prędkości sztangi, w wyciskaniu leżąc z użyciem dwóch ww. sztang. W badaniu wzięło udział 10 mężczyzn z min. 3-letnim doświadczeniem w treningu siłowym (wiek [lat] $27,9 \pm 3,7$; masa ciała [kg] $89,6 \pm 11,7$; wzrost [cm] 181 ± 6 ; doświadczenie w treningu siłowym [lat] $5,7 \pm 2,1$; STD 1RM [kg] 121 ± 26 ; STD ROM [cm] $39,2 \pm 1,8$; CMB ROM [cm] $48,5 \pm 1,7$). Dodatkowo jednym z kryteriów doboru badanych było co najmniej 4 tygodniowe wcześniejsze zapoznanie się z wyciskaniem sztangi CMB (aby uniknąć potencjalnego wpływu efektu uczenia się techniki wyciskania na ławce na wyniki badania). Badanie składało się łącznie z 3 sesji wykonanych w odstępie czasowym dwóch tygodni, z zachowaniem min. 72 godzin przerwy między sesjami. Pierwsza z sesji obejmowała test pomiaru STD 1RM w wyciskaniu sztangi leżąc, zgodnie z ustandaryzowaną procedurą (Wilk i wsp., 2020). 1RM zdefiniowane zostało jako najwyższe obciążenie, z jakim badany wykonał ćwiczenie przy zachowaniu poprawnej techniki, w pełnym zakresie ruchu bez pomocy obecnych asystentów (Seo i wsp., 2012; Wilk i wsp., 2019). Podczas kolejnych dwóch sesji eksperymentalnych, uczestnicy wykonali 3 serie po 3 powtórzenia wyciskania sztangi leżąc, z obciążeniem 50%1RM. Ta wartość obciążenia zewnętrznego została wybrana, ponieważ zakres od 40% do 60% 1RM został określony jako optymalny do uzyskania najwyższych wartości szczytowych mocy podczas wyciskania sztangi leżąc (Siegel i wsp., 2002) przy niskiej objętości treningowej, która zalecana jest w treningu siłowym ukierunkowanym na rozwijanie mocy (Bird i wsp., 2005). Sesje eksperymentalne przeprowadzono zgodnie z projektem krzyżowym, w którym każdy badany wykonał test 1RM oraz dwie sesje eksperymentalne, różniące się jedynie rodzajem użytej sztangi w wyciskaniu leżąc.

Do oceny prędkości sztangi oraz zakresu ruchu podczas wyciskania sztangi leżąc, wykorzystano przetwornik liniowy Tendo Power Analyzer (Tendo Sport Machines, Trencin, Słowacja). System składa się z czujnika prędkości, który połączony jest ze sztangą kevlarową liną, która przekazuje osiągniętą prędkość do oprogramowania (Tendo 7.0.3.0 2020) zainstalowanego na komputerze. System ten uznawany jest za wysoce rzetelny w ocenie prędkości sztangi podczas wyciskania leżąc (García-Ramos i wsp., 2018; Goldsmith i wsp., 2019). Prędkość szczytowa uzyskana została z najszybszego wykonanego powtórzenia w serii, podczas gdy prędkość średnia jako średnia prędkość z każdej wykonanej serii. Sesje eksperymentalne odbywały się o tej samej porze dnia, między godziną 17:00 a 19:00. Poprzedzone były rozgrzewką ogólną oraz specjalistyczną. Rozgrzewka ogólna obejmowała: 5 minut jazdy na ergometrze stacjonarnym (Keiser M3i, Keiser Corporation, Fresno CA), 2 serie

po 10 skrętoskłonów tułowia i skłonów do boku, 10 powtórzeń krążeń ramion w przód i w tył oraz wymachów ramion do boku. Rozgrzewka specjalistyczna składała się z wykonania 15, 10, 5 powtórzeń wyciskania sztangi leżąc na ławce płaskiej z obciążeniem odpowiednio 20%1RM, 40%1RM, 60%1RM. Wszystkie z sesji odbyły się w Pracowni Siły i Mocy Mięśniowej Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach. Analizy statystyczne opracowane zostały za pomocą oprogramowania SPSS (25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA), a dane poddane analizie przedstawione zostały jako średnie i odchylenia standardowe. Istotność statystyczna przyjęta została na poziomie $p < 0,05$. W celu oceny różnic w średnim zakresie ruchu we wszystkich wykonywanych powtórzeniach między wyciskaniem leżąc na ławce ze sztangą STD i CMB, przeprowadzono test t dla prób zależnych. Normalność rozkładu danych została zweryfikowana za pomocą testu Shapiro-Wilka. Ze względu na normalny rozkład wszystkich analizowanych danych, średnia i szczytowa prędkość sztangi zostały poddane analizie dwuczynnikowej ANOVA z powtarzanymi pomiarami (sztanga \times seria; 2×3). W przypadku istotnej interakcji, efektu głównego, przeprowadzono porównania parami za pomocą testów wielokrotnych z korektą Bonferroniego. Wielkość różnic średnich wyrażona została za pomocą znormalizowanych wskaźników efektu. Przyjęto przedziały interpretacji jakościowych opisów d Cohena: $< 0,20$ jako „nieznaczące”; $0,20 - 0,49$ jako „małe”; $0,50 - 0,79$ jako „średnie”; $> 0,80$ jako „duże” (Cohen, 1988). Obliczono również 95% przedziały ufności dla wartości średnich.

Analizując wyniki pierwszego eksperymentu, zauważono istotnie wyższe prędkości sztangi przy użyciu CMB. Warto jednak zwrócić uwagę, że największe różnice widoczne były w pierwszej serii i stopniowo malały w kolejnych seriach wyciskania sztangi leżąc. A zatem może to wskazywać, że użycie CMB prowadzi do większego natychmiastowego zmęczenia z uwagi na dłuższy wysiłek (dłuższy TUT), co może również skutkować mniejszą liczbą wykonanych powtórzeń w seriach wykonywanych do odmowy. W związku z tym, druga z przedstawionych w cyklu publikacja (2023) opublikowana w czasopiśmie *Journal of Human Kinetics*, miała na celu porównanie wpływu wyciskania sztangi leżąc, wykonanego przy użyciu sztangi STD i CMB, na liczbę wykonanych powtórzeń i średnią prędkość sztangi w protokole obejmującym 5 serii wyciskania sztangi leżąc do odmowy wolicjonalnej z obciążeniem zewnętrznym równym 70%1RM. Ponadto, celem było ustalenie różnic w zmęczeniu nerwowo-mięśniowym określonym poprzez różnice w szczytowej prędkości sztangi w wyrzucie leżąc na suwnicy Smith'a wykonanym tuż przed, a następnie 1 godzinę oraz 24 godziny po protokole. W badaniu wzięło udział 12 dorosłych zdrowych mężczyzn (wiek[lat] $25,9 \pm 4,2$; masa ciała[kg] $88 \pm 9,1$; wzrost[cm] $178,3 \pm 5,3$; doświadczenie[lat] $9,8 \pm 4,7$; STD 1RM[kg] 132 ± 21 ; CMB 1RM[kg] 126 ± 20 ; STD ROM[cm] $35 \pm 3,7$, CMB ROM[cm] $38,9 \pm 2,9$), a z uwagi

na wymagania protokołu badawczego, minimalne doświadczenie w treningu siłowym określono na 5 lat. Co więcej, uczestnicy musieli spełniać następujące kryteria przed przystąpieniem do eksperymentu: brak urazów nerwowo-mięśniowych, poziom 1RM w wyciskaniu sztangi STD równe lub wyższe 100% własnej masy ciała oraz minimum 4 tygodniowe zaznajomienie się z przyborem CMB. Badanie łącznie składało się z 4 sesji, z czego pierwsze dwie sesje miały na celu określenie poziomu 1RM zarówno w wyciskaniu sztangi STD, jak i sztangi CMB, co z pewnością wyróżnia pozostałe prace w tym obszarze. Testy 1RM wykonano zgodnie z procedurą stosowaną we wcześniejszych badaniach (Matykieicz i wsp., 2021; Wilk i wsp., 2020) i wykonywane były w odstępie 72 godzin. Dwie kolejne sesje eksperymentalne polegały na wykonaniu 5 serii wyciskania sztangi STD lub CMB do odmowy wolicjonalnej w protokole krzyżowym, aby określić bezpośredni oraz opóźniony wpływ na prędkość sztangi podczas jej wyrzutu leżąc. W tym celu, przed, 1 godzinę oraz 24 godziny po wykonaniu protokołu uczestnicy wykonywali 1 serię po 2 powtórzenia wyrzutu sztangi leżąc na suwnicy Smith'a z obciążeniem równym 30%1RM (sztangi STD). Uczestnicy zostali poinstruowani, aby wykonać wyrzut sztangi z maksymalną prędkością. Podczas wszystkich serii wyciskania sztangi rejestrowano zakres ruchu, średnią prędkość sztangi oraz całkowitą liczbę wykonanych powtórzeń, natomiast podczas wyrzutu sztangi analizie podlegała szczytowa prędkość sztangi. Do analizy zmiennych wyciskania sztangi leżąc, ponownie wykorzystano przetwornik liniowy Tendo Power Analyzer (Tendo Sport Machines, Trencin, Słowacja).

Do przeprowadzenia wszystkich analiz statystycznych użyto oprogramowania SPSS (25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA), a dane przedstawiono jako średnie z odchyleniami standardowymi (\pm SD). Istotność statystyczna została ustalona na poziomie $p < 0,05$. Normalność rozkładu danych została zweryfikowana za pomocą testu Shapiro-Wilka, natomiast test Mauchly'ego został użyty do oceny założenia sferyczności. Do badania różnic w zmiennych treningowych podczas wyciskania sztangi STD i wyciskania sztangi CMB oraz ich wpływu na wyniki wyrzutu sztangi, użyto dwuczynnikowej analizy ANOVA z powtarzanymi pomiarami lub, jeśli normalność nie została potwierdzona, zastosowano nieparametryczny odpowiednik dwuczynnikowej analizy ANOVA tj. test rang Friedman'a. W przypadku stwierdzenia istotnego efektu głównego lub interakcji przeprowadzono porównania parami za pomocą testów wielokrotnych z korektą Bonferroni. Do oceny wielkości efektu między średnimi użyto współczynnika g Hedgesa. Przedziały opisów g Hedgesa zostały zinterpretowane jako małe, średnie i duże dla $\leq 0,20$, $0,21-0,79$ i $>0,80$, odpowiednio.

Trzecia z prac, opublikowana w czasopiśmie *Baltic Journal of Health and Physical Activity* miała na celu porównanie wpływu wyciskania sztangi leżąc z użyciem sztangi STD i CMB na powysiłkową aktywność CK w surowicy krwi. Jak wiadomo, zmiany prowadzące do wydłużenia zakresu ruchu w treningu oporowym mogą prowadzić do uszkodzeń mięśniowych wywołanych wysiłkiem i skutkować obniżeniem właściwości kurczliwych, a w rezultacie sprawności fizycznej do kilku dni po wykonanej aktywności fizycznej (Clarkson i Hubal, 2002; Nosaka i Sakamoto, 2001). Materiał i metody badawcze wykorzystane w pracy zostały częściowo przedstawione w poprzedniej publikacji (Matykiewicz i wsp., 2023) w ramach cyklu badawczego i stanowią jego kontynuację. A mianowicie, przy wykorzystaniu niemalże identycznej metodologii dotyczącej protokołu badań, tj. 5 serii wyciskania sztangi leżąc do odmowy wolicjonalnej z obciążeniem równym 70%1RM, eksperyment rozszerzono o oznaczenie powysiłkowej aktywności enzymu CK w surowicy krwi badanych. Ponadto, w porównaniu do ww. publikacji, przebieg czasowy, w którym badany był poziom CK, został wydłużony do 48 godzin po wykonaniu sesji eksperymentalnych. W badaniu wzięło udział 14 mężczyzn (wiek[lat] $26,3 \pm 2,3$; masa ciała[kg] $88,5 \pm 4,9$; wzrost[cm] $178,4 \pm 2,8$; STD 1RM[kg] $132,7 \pm 12,4$; CMB 1RM[kg] $126,3 \pm 11,9$). Aby wziąć udział w badaniu, uczestnicy musieli spełniać następujące kryteria: brak urazów nerwowo-mięśniowych, poziom 1RM w wyciskaniu sztangi STD równe lub wyższe 100% własnej masy ciała oraz minimum 5 tygodniowe zaznajomienie się z przyborem CMB.

6. Wyniki badań

Analiza danych uzyskanych w pierwszym z badań (Matykiewicz i wsp., 2021) wykazała, że stosowanie sztangi CMB powoduje istotne zwiększenie średniego zakresu ruchu (dystansu sztangi) w wyciskaniu sztangi leżąc w porównaniu do sztangi STD ($48,5 \pm 1,7$ vs. $39,2 \pm 1,8$ cm; $p < 0,001$). Wystąpił istotny efekt główny rodzaju sztangi dla prędkości średniej ($p = 0,001$; $\eta^2 = 0,739$) oraz szczytowej sztangi ($p = 0,002$; $\eta^2 = 0,661$). Analiza post-hoc wykazała istotnie wyższą średnią prędkość sztangi CMB w porównaniu ze sztangą STD podczas wyciskania leżąc na ławce w Serii 1 ($p = 0,002$) oraz Serii 2 ($p = 0,012$), ale nie w Serii 3 ($p = 0,062$). Ponadto, w Serii 2 średnia prędkość była znacząco wyższa niż w Serii 1 ($p = 0,017$) podczas wyciskania sztangi STD, bez innych istotnych różnic. Nie odnotowano istotnych różnic w średniej prędkości między seriami podczas wyciskania sztangi CMB. Ponadto, zanotowano istotną różnicę w szczytowej prędkości podczas wyciskania sztangi CMB w porównaniu do sztangi STD we wszystkich seriach ($p < 0,001$; $p = 0,014$; $p = 0,048$; odpowiednio).

Wyniki drugiego badania z cyklu potwierdziły istotnie wyższy poziom 1RM dla sztangi STD w porównaniu do sztangi CMB (132 ± 21 kg vs. 126 ± 20 kg; $p < 0,001$; $ES = 0,40$), co potwierdza wcześniejsze doniesienia, według których im większy zakres ruchu w danej czynności ruchowej, tym mniejszy poziom 1RM (Martínez Cava i wsp., 2018). Podobnie jak w poprzednim eksperymencie, wykazano istotnie większy zakres ruchu dla sztangi CMB w porównaniu do STD ($p = 0,006$; $ES = 1,34$). Dodatkowo wykazano istotnie większą liczbę wykonanych powtórzeń ze sztangą STD w porównaniu do sztangi CMB (49 ± 7 ; 43 ± 8 ; $p = 0,005$, $ES = 0,77$), co również potwierdza fakt, iż większy zakres ruchu skutkuje mniejszą liczbą wykonanych powtórzeń w wyciskaniu sztangi leżąc (Lima i wsp., 2012). Głównym odkryciem jest to, że zarówno klasyczna sztanga, jak i sztanga CMB spowodowały znaczny spadek prędkości szczytowej w wyrzucie sztangi 1 godzinę po ćwiczeniach do odmowy, natomiast nie zanotowano istotnych różnic w wyrzucie sztangi 24 godziny po wysiłku. Jednakże należy wspomnieć, że 24 godziny po sesji treningowej ze sztangą STD, prędkość szczytowa była nadal nieznacznie obniżona, ale wartość ta nie osiągnęła poziomu istotności statystycznej. Biorąc pod uwagę, że poprzednie badania nad treningiem oporowym wykazały, że utrata prędkości może obiektywnie kwantyfikować zmęczenie nerwowo-mięśniowe (de-Oliveira i wsp., 2022; Sánchez-Medina i González-Badillo, 2011), wskazuje to, że zarówno wyciskanie sztangi CMB jak i STD przyczynia się do podobnego wzrostu i utrzymania się poziomu zmęczenia.

Wyniki ostatniej z przedstawionych w cyklu publikacji wykazały, że wyższa prędkość szczytowa sztangi została osiągnięta podczas wyrzutu sztangi następującym po sesji eksperymentalnej z zastosowaniem sztangi CMB w porównaniu do sztangi STD ($p < 0,001$; $ES = 0,55$). Ponadto, co ciekawe, aktywność CK wykazywała ogólny, istotny trend wzrostowy od punktu wyjściowego do punktów czasowych po sesji eksperymentalnej ze sztangą STD, natomiast 48 godzin po sesji ze sztangą CMB, aktywność CK była wyższa w porównaniu z poziomem przed sesją treningową ($p < 0,001$; $ES = 1,43$) oraz 1 godzinę po sesji ($p = 0,002$; $ES = 0,88$), ale nie była wyższa niż po 24 godzinach ($p = 1,00$; $ES = 0,27$). Ponadto, porównanie średniej prędkości sztangi wykazało podobny spadek prędkości między seriami przy użyciu obu sztang, a liczba wykonywanych powtórzeń zmniejszyła się podobnie w obu warunkach ($p < 0,002$). Zaobserwowano również istotnie większy zakres ruchu we wszystkich seriach podczas wyciskania sztangi CMB w porównaniu do sztangi STD ($p < 0,002$).

7. Podsumowanie

Celem cyklu badań, które stanowią podstawę niniejszej dysertacji, było porównanie wpływu zastosowania sztangi CMB oraz STD podczas wyciskania sztangi leżąc na zmienne treningowe, takie jak średnia i szczytowa prędkość sztangi, poziom 1RM, maksymalna liczba wykonanych powtórzeń. Dodatkowo porównano wpływ zastosowania sztangi CMB i STD w wyciskaniu sztangi leżąc na lokalne zmęczenie mięśniowe oraz powysiłkową aktywność CK w surowicy krwi.

Niniejsza dysertacja jest pogłębieniem dotychczasowych badań, które niedostatecznie wskazują różnice między wyciskaniem sztangi CMB a STD. W dostępnych aktualnych badaniach porównano wyciskanie sztangi z użyciem sztangi STD i CMB na aktywność sEMG (Krzysztofik, Golas, i in., 2020). Jednakże brakuje dostatecznych informacji wskazujących wpływ wyciskania sztangi STD i CMB na zmienne treningowe. Sztanga STD ogranicza fizjologiczny zakres ruchu podczas wyciskania sztangi leżąc. Sztanga CMB pozwala osiągnąć istotnie większy zakres ruchu, co w konsekwencji może wpływać na zmienne treningowe, takie jak 1RM, maksymalna liczba wykonanych powtórzeń, prędkości sztangi oraz zmęczenie nerwowo-mięśniowe i uszkodzenia mięśniowe. Większość publikacji związanych z porównaniem sztangi STD oraz CMB w wyciskaniu sztangi leżąc jest ograniczona i oparta na teście 1RM tylko i wyłącznie sztangi STD (Krzysztofik, Golas, i wsp., 2020; Krzysztofik, Zajac, i wsp., 2020). Według dostępnej wiedzy, tylko jedno badanie uwzględniło test 1RM dla obu sztang (Krzysztofik i wsp., 2021), a przedstawione wyniki potwierdziły istotnie większy 1RM w wyciskaniu sztangi STD, co jest zgodne z wynikami badania, w którym wykazano istotnie wyższe wartości 1RM w krótszym zakresie ruchu (Martínez Cava i in., 2018). Należy natomiast zauważyć, że w badaniu porównywano różne zakresy ruchu w przysiadach ze sztangą (pełny ROM, $\frac{1}{2}$ ROM, $\frac{1}{4}$ ROM), natomiast w wyciskaniu sztangi leżąc ograniczeniem pełnego fizjologicznego zakresu ruchu jest sztanga. We wszystkich wymienionych powyżej badaniach porównujących wyciskanie sztangi STD i CMB wykazano istotnie większy zakres ruchu przy zastosowaniu sztangi CMB. Jest to efektem charakterystycznego kształtu sztangi, która jest wygięta w centralnej części. Dzięki temu, sztanga umożliwia większe rozciągnięcie głównych mięśni zaangażowanych podczas wyciskania sztangi leżąc, a są nimi mięsień piersiowy większy, przednia (obojczykowa) część mięśnia naramiennego oraz mięsień trójgłowy ramienia.

Wyniki badań przedstawionych w dysertacji wskazały, że użycie sztangi CMB podczas treningu wyciskania sztangi leżąc pozwala osiągnąć istotnie większy zakres ruchu (większy dystans sztangi), a w konsekwencji niższy poziom 1RM oraz mniejszą liczbę wykonanych powtórzeń. Jednakże, wyciskanie sztangi CMB pozwala uzyskać wyższe prędkości sztangi w porównaniu ze sztangą STD z zastosowaniem jednakowego absolutnego obciążenia (%1RM) (Matykiewicz i wsp., 2021). Metodologia pierwszego eksperymentu zakładała test 1RM tylko ze sztangą standardową co należy uznać za jej ograniczenie, a sesje eksperymentalne składały się z 3 serii po 3 powtórzenia wyciskania sztangi leżąc zarówno z CMB jak i sztangą STD z obciążeniem 50%1RM (pomiar na sztandze STD). Należy zauważyć, że wartość absolutna 1RM dla wyciskania sztangi STD jest wyższa (Krzysztofik i wsp., 2021). Natomiast, pomimo relatywnie większego obciążenia dla sztangi CMB (50%1RM sztangi STD), szczytowa prędkość sztangi wciąż była istotnie wyższa w każdej z wykonanych serii. Potwierdziło to wcześniejsze doniesienia o korzystnych efektach większego zakresu ruchu w ćwiczeniach oporowych na prędkość sztangi (Drinkwater i wsp., 2012; Krzysztofik, Zajac, i wsp., 2020; Martínez Cava i wsp., 2019). Drinkwater i wsp. (2012) stwierdzili, że pełny zakres ruchu w przysiadach pozwala uzyskać istotnie większą prędkość szczytową sztangi w porównaniu z przysiadami w częściowym zakresie ruchu z jednakowym relatywnym obciążeniem zewnętrznym. Podobnie, autorzy (Martínez-Cava i wsp., 2019) wykazali, że średnia prędkość była istotnie większa, gdy zastosowano większy zakres ruchu w wyciskaniu sztangi leżąc z jednakową relatywną wartością obciążenia zewnętrznego. Warto jednak podkreślić, że badania te ograniczone były do porównania pełnego zakresu ruchu (do momentu dotknięcia sztangą klatki piersiowej) i częściowego zakresu ruchu (np. 1/3 zakresu, 2/3 zakresu), podczas gdy sztanga CMB umożliwia wykorzystanie fizjologicznego zakresu ruchu. Większa prędkość sztangi przy wyciskaniu sztangi CMB może być związana z efektywniejszym wykorzystaniem cyklu rozciągnięcie-skurcz (SSC – ang. stretch and shortening cycle). Wielkość wstępnego rozciągnięcia mięśni ma istotny wpływ na efektywność wykonania wielu zadań sportowych (Cronin i wsp., 2001). Większe wstępne rozciągnięcie mięśnia umożliwia bowiem skuteczniejsze wykorzystanie cyklu SSC poprzez zgromadzenie i oddanie energii sprężystej a w efekcie osiągnięcie wyższych prędkości ruchu. Wyższe wartości szczytowej i średniej prędkości sztangi związane są również z dłuższym dystansem sztangi, a tym samym dłuższą fazą przyspieszenia w tej czynności ruchowej. W eksperymencie wchodzącym w skład cyklu publikacji (Matykiewicz i wsp., 2021), największe różnice w prędkościach sztangi zaobserwowano pomiędzy pierwszymi seriami, które stopniowo zmniejszały się w kolejnych seriach. Wskazuje to, że w porównaniu ze sztangą STD, użycie sztangi CMB podczas jej

wyciskania może powodować wyższy poziom zmęczenia ze względu na dłuższą drogę sztangi oraz zmniejszenie prędkości, co może wymagać wydłużonego okresu odpoczynku między kolejnymi seriami, natomiast wymaga to dalszych badań. Uzyskane wyniki natomiast sugerują, że sztanga CMB może potencjalnie stanowić dobrą alternatywę dla sztangi STD w treningu mocy mięśniowej górnej części ciała.

Kolejnym ograniczeniem, które mogło wpłynąć na ogólną interpretację wyników pierwszego eksperymentu było zastosowanie wyłącznie jednej objętości treningowej, to jest trzech serii po 3 powtórzenia z obciążeniem 50%1RM, co nie jest typowym odzwierciedleniem schematu treningowego wyciskania sztangi leżąc. Dlatego, głównym celem kolejnego z eksperymentów było porównanie wyciskania sztangi CMB oraz STD na liczbę wykonanych powtórzeń i średnią prędkość sztangi podczas protokołu, który obejmował wykonanie 5 serii do odmowy wolicjonalnej z obciążeniem 70% 1RM wyznaczonego dla każdej ze sztang. Jak wiadomo, większa liczba wykonanych powtórzeń wskazuje więcej wykonanych cykli SSC, co może prowadzić do większego obciążenia mechanicznego którego efektem mogą być różnice w intensywności wywołanego zmęczenia i bodźców treningowych (Chapman i wsp., 2006). Dodatkowym celem było określenie różnic w zmęczeniu nerwowo-mięśniowym między warunkami w oparciu o szczytową prędkość sztangi w wyrzucie leżąc na suwnicy Smith'a wykonanego 1 godzinę oraz 24 godziny po protokole. Metodologia obejmowała test 1RM osobno dla sztangi CMB i STD, który potwierdził istotnie wyższe wartości 1RM dla sztangi STD w porównaniu do CMB (132 ± 21 kg vs. 126 ± 20 kg; $p < 0.001$). Co więcej, zanotowano istotnie wyższą całkowitą liczbę wykonanych powtórzeń ze sztangą STD (49 ± 7 vs. 43 ± 8 ; $p = 0,005$, $ES = 0,77$). Ponadto, zaobserwowano ogólny istotny trend spadkowy średniej prędkości sztangi od pierwszej do piątej serii w obu warunkach, jednak nie odnotowano istotnych różnic pomiędzy odpowiadającymi sobie seriami podczas wyciskania sztangi CMB i STD. W obu warunkach zaobserwowano podobny znaczący spadek szczytowej prędkości sztangi podczas jej wyrzutu na ławce jedną godzinę po sesji treningowej, ale po 24 godzinach nie odnotowano istotnych różnic w porównaniu do wartości wyjściowych. Ponadto, pomimo istotnie większej całkowitej liczby wykonanych powtórzeń podczas wyciskania sztangi STD w porównaniu do CMB, nie wykazano istotnych różnic w wywołanym zmęczeniu w określonym przebiegu czasowym. Mogą to być główne implikacje treningowe, biorąc pod uwagę, że objętość treningu, obliczona jako liczba wykonanych powtórzeń, jest kluczowym czynnikiem w adaptacjach długotrwałych związanych z hipertrofią mięśniową (Kraemer i Ratamess, 2004), natomiast wymaga to dalszych badań.

Faktem wartym podkreślenia w obecnym badaniu jest brak istotnych różnic w średniej prędkości sztangi między badanymi rodzajami sztang. Te wyniki przeczą poprzedniemu badaniu (Matykiewicz i in., 2021), natomiast trzeba zauważyć, że protokół badań znacznie się różnił, tj. obejmował wykonanie 5 serii do odmowy wolicjonalnej zamiast 3 serii po 3 powtórzenia z większym %1RM (70%1RM vs. 50%1RM). Podobnie, wyniki te są sprzeczne z badaniem porównującym prędkości sztangi CMB i STD (Krzysztofik, Zajac, i in., 2020), które wykazało wyższe wartości prędkości średniej i szczytowej podczas wyciskania sztangi CMB, natomiast uczestnicy eksperymentu wykonywali tylko 1 serię po 3 powtórzenia z obciążeniem 50%1RM. Autorzy (de-Oliveira i wsp., 2022; Sánchez-Medina i González-Badillo, 2011) udowodnili, że utrata prędkości ruchu może obiektywnie określić zmęczenie nerwowo-mięśniowe. Zatem, biorąc pod uwagę brak istotnych różnic w średnich prędkościach między warunkami, można wnioskować, iż zarówno sztanga CMB jak i STD prowadzi do podobnego poziomu zmęczenia z każdą kolejną serią. Wyniki te mogą zatem wskazywać, że stosując sztangę CMB, nie jest konieczne zastosowanie dłuższych przerw wypoczynkowych między seriami. To badanie miało również na celu ustalenie, czy trening z użyciem sztangi CMB przyczyni się do większego powysiłkowego zmęczenia, co może negatywnie wpływać na kolejne sesje treningowe. Jak się okazało, zarówno wyciskanie sztangi STD jak i CMB spowodowało znaczny spadek prędkości szczytowej jedną godzinę po sesji treningowej, ale po 24 godzinach nie było istotnych różnic w zmęczeniu nerwowo-mięśniowym ocenianym za pomocą różnic prędkości szczytowych w wyrzucie sztangi leżąc w porównaniu do wartości wyjściowych. Jest to kolejny aspekt wskazujący na brak istotnych różnic między jednostkami treningowymi wyciskania na ławce ze sztangą CMB i STD. To oznacza, w połączeniu z brakiem różnic w średnich prędkościach sztangi, że ćwiczenia z użyciem sztangi CMB mogą nie wymagać stosowania innej objętości (tj. liczby serii i powtórzeń), intensywności (%1RM) lub częstotliwości treningu. Należy jednak zaznaczyć, że 24 godziny po sesji treningowej z użyciem sztangi STD, szczytowa prędkość wyrzuconej sztangi nadal była nieco zmniejszona, ale wartość ta nie osiągnęła poziomu istotności statystycznej.

Zmiany prowadzące do wydłużenia zakresu ruchu podczas ćwiczeń oporowych mogą prowadzić do większego uszkodzenia mięśni wywołanego ćwiczeniami oporowymi, co skutkuje spadkiem poziomu generowanej siły, zaburzeniem właściwości kurczliwych mięśni, oraz ograniczeniem ich funkcji, utrzymującym się nawet przez kilka dni po sesji treningowej (Clarkson & Hubal, 2002; Nosaka & Sakamoto, 2001). Wykonywanie ćwiczeń oporowych, które powoduje uszkodzenie struktury komórek mięśni szkieletowych, prowadzi do wzrostu aktywności CK we krwi. Dlatego też ocena aktywności CK w surowicy krwi dostarcza miary

uszkodzenia mięśni (Clarkson & Hubal, 2002), co może być wykorzystane jako wskaźnik określenia odpowiedniego czasu regeneracji między sesjami treningowymi. W związku z tym, ostatnia z publikacji przedstawiona w niniejszej dysertacji, opublikowana w czasopiśmie *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, miała na celu ocenić wpływ ćwiczeń ze sztangą CMB i STD na uszkodzenie mięśni określone pośrednio poprzez aktywność enzymu CK we krwi ocenianej przed i bezpośrednio po, jak również 24 i 48 godzin po sesji eksperymentalnej. Pomimo dotychczasowych publikacji oceniających wpływ zakresu ruchu na uszkodzenia mięśni (Baroni i in., 2016; Fochi i in., 2016), według najlepszej wiedzy autora, niniejsza praca jest jedyną, w której porównano wpływ wyciskania sztangi CMB oraz STD na uszkodzenia mięśniowe. Wyniki dotychczasowych wyżej wymienionych badań wykazały istotnie większe uszkodzenie mięśni po ćwiczeniach w pełnym zakresie ruchu, natomiast protokół ograniczony był do porównania tylko i wyłącznie pełnego z częściowym zakresem ruchu, a poziom uszkodzeń ograniczono tylko do czynników pośrednich, tj. maksymalny wolicjonalny skurcz izometryczny (MVIC), ból mięśni, obwód kończyny czy zakres ruchu. W odróżnieniu do większości prac porównujących pełny z częściowym zakresem ruchu, wyciskanie sztangi leżąc z użyciem sztangi CMB znacznie pogłębia już „pełny” zakres ruchu. Analiza aktywności CK w niniejszym badaniu wykazała ogólny trend wzrostowy od punktu wyjściowego do kolejnych punktów czasowych w warunkach wyciskania sztangi STD. Zanotowano podobny wzrost w warunkach CMB, podczas gdy aktywność CK po 48 godzinach była znacznie wyższa w porównaniu do przed i po sesji eksperymentalnej, ale nie do wartości oznaczanej w 24 godzinie restytucji. Te wyniki wskazują, w związku z brakiem różnic w prędkościach sztangi, że wykorzystanie sztangi CMB podczas treningu górnej części ciała może nie wymagać odmiennego podejścia treningowego, takiego jak inna objętość lub intensywność ćwiczeń. Ponadto, wydaje się, że przy użyciu sztangi CMB można zastosować wyższą częstotliwość treningu, jednak wymaga to empirycznej weryfikacji poprzez długoterminowe interwencje.

8. Wnioski

W oparciu o aktualny stan wiedzy oraz monotematyczny cykl publikacji naukowych przedstawiony w niniejszej dysertacji, sformułowano następujące wnioski:

1. Zastosowanie sztangi CMB pozwala istotnie zwiększyć zakres ruchu podczas wyciskania sztangi leżąc na ławce w porównaniu do zastosowania sztangi STD. Dzięki temu, główne mięśnie zaangażowane podczas wyciskania sztangi na ławce ulegają

większemu rozciągnięciu, co umożliwi osiągnięcie większej średniej i szczytowej prędkości sztangi przy zastosowaniu jednakowego absolutnego obciążenia.

2. Poziom siły maksymalnej (1RM) w wyciskaniu sztangi leżąc jest istotnie niższy podczas zastosowania sztangi CMB. Ponadto, zastosowanie sztangi CMB spowodowało istotny spadek całkowitej liczby wykonanych powtórzeń w porównaniu do wyciskania sztangi STD. Jednakże, nie zanotowano istotnych różnic w poziomie zmęczenia nerwowo-mięśniowego w określonym przebiegu czasowym pomiędzy warunkami.
3. Analiza aktywności CK w surowicy krwi wykazała ogólny rosnący trend od punktu wyjściowego do kolejnych punktów czasowych po wyciskaniu z zastosowaniem sztangi STD. Podobny wzrost zaobserwowano przy zastosowaniu sztangi CMB, jednak po 48 godzinach aktywność CK była znacząco wyższa w porównaniu z okresem przed i po jednostce treningowej, ale nie po 24 godzinach.

9. Bibliografia

- Baroni, B., Pompermayer, M., Cini, A., Peruzzolo, A., Radaelli, R., Müller Brusco, C., & Pinto, R. (2016). Full Range of Motion Induces Greater Muscle Damage Than Partial Range of Motion in Elbow Flexion Exercise With Free Weights. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31, 1. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001562>
- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: A review of the acute programme variables. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(10), 841–851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00002>
- Chapman, D., Newton, M., Sacco, P., & Nosaka, K. (2006). Greater Muscle Damage Induced by Fast Versus Slow Velocity Eccentric Exercise. *International journal of sports medicine*, 27, 591–598. <https://doi.org/10.1055/s-2005-865920>
- Clark, R. A., Bryant, A. L., & Humphries, B. (2008). An examination of strength and concentric work ratios during variable range of motion training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1716–1719. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318173c529>
- Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11 Suppl), S52-69. <https://doi.org/10.1097/00002060-200211001-00007>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2. wyd.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001). Magnitude and decay of stretch-induced enhancement of power output. *European Journal of Applied Physiology*, 84(6), 575–581. <https://doi.org/10.1007/s004210100433>

- de-Oliveira, L. A., Aragão-Santos, J. C., Heredia-Elvar, J. R., & Da Silva-Grigoletto, M. E. (2022). Movement Velocity as an Indicator of Mechanical Fatigue and Resistance Exercise Intensity in Cross Modalities. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1–7. <https://doi.org/10.1080/02701367.2022.2101603>
- Drinkwater, E. J., Moore, N. R., & Bird, S. P. (2012). Effects of changing from full range of motion to partial range of motion on squat kinetics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 890–896. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318248ad2e>
- Fochi, A., Damas, F., Berton, R., Alvarez, I., Miquelini, M., Salvini, T., & Libardi, C. (2016). Greater eccentric exercise-induced muscle damage by large versus small range of motion with the same end-point. *Biology of Sport*, 33(3), 285–289. <https://doi.org/10.5604/20831862.1208480>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & Haff, G. G. (2018). Differences in the Load-Velocity Profile Between 4 Bench-Press Variants. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 326–331. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0158>
- Gepfert, M., Krzysztofik, M., Filip-Stachnik, A., Mostowik, A., Wojdała, G., Drozd, M., & Wilk, M. (2019). Effect of grip width on exercise volume in bench press with a controlled movement tempo in women. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 11. <https://doi.org/10.29359/BJHPA.11.3.02>
- Goldsmith, J. A., Trepeck, C., Halle, J. L., Mendez, K. M., Klemp, A., Cooke, D. M., Haischer, M. H., Byrnes, R. K., Zoeller, R. F., Whitehurst, M., & Zourdos, M. C. (2019). Validity of the Open Barbell and Tendo Weightlifting Analyzer Systems Versus the Optotrak Certus 3D Motion-Capture System for Barbell Velocity. *International*

- Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(4), 540–543.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0684>
- Gomo, O., & Van Den Tillaar, R. (2016). The effects of grip width on sticking region in bench press. *Journal of Sports Sciences*, 34(3), 232–238.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1046395>
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674–688. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000121945.36635.61>
- Król, H., & Gołaś, A. (2017). Effect of Barbell Weight on the Structure of the Flat Bench Press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(5), 1321–1337.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001816>
- Krzysztofik, M., Golas, A., Wilk, M., Stastny, P., Lockie, R., & Zajac, A. (2020). A Comparison of Muscle Activity Between the Cambered and Standard Bar During the Bench Press Exercise. *Frontiers in Physiology*.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00875>
- Krzysztofik, M., Matykiewicz, P., Filip-Stachnik, A., Humińska-Lisowska, K., Rzeszutko-Belzowska, A., & Wilk, M. (2021). Range of motion of resistance exercise affects the number of performed repetitions but not a time under tension. *Scientific Reports*, 11.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-94338-7>
- Krzysztofik, M., Trybulski, R., Trabka, B., Perenc, D., Łuszcz, K., Zajac, A., Alexe, D., Dobrescu, T., & Cristina, M. (2022). The impact of resistance exercise range of motion on the magnitude of upper-body post-activation performance enhancement. *BMC Sports Science Medicine and Rehabilitation*, 14. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00519-w>

- Krzysztofik, M., Wilk, M., Wojdała, G., & Gołaś, A. (2019). Maximizing Muscle Hypertrophy: A Systematic Review of Advanced Resistance Training Techniques and Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(24), 4897. <https://doi.org/10.3390/ijerph16244897>
- Krzysztofik, M., Zajac, A., Żmijewski, P., & Wilk, M. (2020). Can the Cambered Bar Enhance Acute Performance in the Bench Press Exercise? *Frontiers in Physiology*, *11*, 577400. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.577400>
- Lagally, K. M., McCaw, S. T., Young, G. T., Medema, H. C., & Thomas, D. Q. (2004). Ratings of perceived exertion and muscle activity during the bench press exercise in recreational and novice lifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *18*(2), 359–364. <https://doi.org/10.1519/R-12782.1>
- Lima, F., Guimarães, D., Diniz, R., Santiago, D., Alves, B., & Chagas, M. (2012). Effect of range of motion in the maximum number of repetitions in the bench press exercise. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, *26*, 571–579. <https://doi.org/10.1590/S1807-55092012000400004>
- Martínez Cava, A., Belmonte, A., Courel Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J., & Pallarés, J. (2019). Bench Press at Full Range of Motion Produces Greater Neuromuscular Adaptations Than Partial Executions After Prolonged Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research, Publish Ahead of Print*, *1*. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003391>
- Martínez Cava, A., Morán-Navarro, R., Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J., & Pallarés, J. (2018). Velocity- and power-load relationships in the half, parallel and full back squat. *Journal of Sports Sciences*, *37*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1544187>

- Martínez-Cava, A., Morán-Navarro, R., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Conesa-Ros, E., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2019). Range of Motion and Sticking Region Effects on the Bench Press Load-Velocity Relationship. *Journal of Sports Science & Medicine*, *18*(4), 645–652.
- Matykiewicz, P., Krzysztofik, M., Filip-Stachnik, A., & Wilk, M. (2021). The bench press exercise performed with increased range of motion allows for greater bar velocities. *Journal of Physical Education and Sport*, *21*, 1737–1743.
<https://doi.org/10.7752/jpes.2021.04220>
- Matykiewicz, P., Krzysztofik, M., & Zajac, A. (2023). A Comparison of Basic Training Variables in the Standard and Cambered Bar Bench Press Performed to Volitional Exhaustion. *Journal of Human Kinetics*, 201–210. <https://doi.org/10.5114/jhk/162516>
- Nosaka, K., & Sakamoto, K. (2001). Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *33*(1), 22–29. <https://doi.org/10.1097/00005768-200101000-00005>
- Pallarés, J. G., Cava, A. M., Courel-Ibáñez, J., González-Badillo, J. J., & Morán-Navarro, R. (2020). Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. *European Journal of Sport Science*, *20*(1), 115–124. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1612952>
- Pinto, R. S., Gomes, N., Radaelli, R., Botton, C. E., Brown, L. E., & Bottaro, M. (2012). Effect of range of motion on muscle strength and thickness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(8), 2140–2145.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a3b15>
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *43*(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>

- Schoenfeld, B., & Grgic, J. (2020). Effects of Range of Motion on Muscle Development During Resistance Training Interventions: A Systematic Review. *SAGE Open*.
<https://doi.org/10.1177/2050312120901559>
- Schoenfeld, B. J., Ratamess, N. A., Peterson, M. D., Contreras, B., & Tiriyaki-Sonmez, G. (2015). Influence of Resistance Training Frequency on Muscular Adaptations in Well-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1821–1829.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000970>
- Seo, D.-I., Kim, E., Fahs, C. A., Rossow, L., Young, K., Ferguson, S. L., Thiebaud, R., Sherk, V. D., Loenneke, J. P., Kim, D., Lee, M.-K., Choi, K.-H., Bemben, D. A., Bemben, M. G., & So, W.-Y. (2012). Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11(2), 221–225.
- Siegel, J. A., Gilders, R. M., Staron, R. S., & Hagerman, F. C. (2002). Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 173–178.
- Stastny, P., Golaś, A., Blazek, D., Maszczyk, A., Wilk, M., Pietraszewski, P., Petr, M., Uhlir, P., & Zajac, A. (2017). A systematic review of surface electromyography analyses of the bench press movement task. *PloS One*, 12(2), e0171632.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171632>
- Valamatos, M. J., Tavares, F., Santos, R., Veloso, A., & Mil-Homens, P. (2018). Influence of full range of motion vs. Equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *European Journal of Applied Physiology*, 118.
<https://doi.org/10.1007/s00421-018-3932-x>
- Wilk, M., Golas, A., Krzysztofik, M., Nawrocka, M., & Zajac, A. (2019). The Effects of Eccentric Cadence on Power and Velocity of the Bar during the Concentric Phase of the Bench Press Movement. *Journal of Sports Science & Medicine*, 18(2), 191–197.

Wilk, M., Golas, A., Zmijewski, P., Krzysztofik, M., Filip-Stachnik, A., Del Coso, J., & Tufano, J. (2020). The Effects of the Movement Tempo on the One-Repetition Maximum Bench Press Results. *Journal of Human Kinetics*, 151–159.
<https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0001>

10. Prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

10.1. Praca nr 1

Journal of Physical Education and Sport® (JPES), Vol. 21 (4), Art 220, pp. 1737 - 1743, June 2021
online ISSN: 2247 - 806X; p-ISSN: 2247 - 8051; ISSN - L = 2247 - 8051 © JPES

Original Article

The bench press exercise performed with increased range of motion allows for greater bar velocities

PATRYK MATYKIEWICZ¹, MICHAŁ KRZYSZTOFIK², ALEKSANDRA FILIP-STACHNIK³, MICHAŁ WILK⁴

^{1,2,3,4}Institute of Sport Sciences, Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, ul. Mikołowska 72A, 40-065 Katowice, POLAND

Published online: June 30, 2021

(Accepted for publication June 15, 2021)

DOI:10.7752/jpes.2021.04220

Abstract

Background/objective: The aim of this study was to examine differences in bar velocity between the cambered and standard barbell bench press exercise. **Methods:** Ten healthy men volunteered for the study (age = 27.9 ± 3.7 years; body mass = 89.6 ± 11.7 kg; experience in resistance training 5.7 ± 2.1 years; bench press one-repetition maximum > 120% body mass). The first session aiming at the determination of the one-repetition maximum was followed by two experimental sessions consisted of performing 3 sets of 3 repetitions of the bench press exercise with the cambered or standard barbell at 50% of one-repetition maximum (of the standard barbell) in randomized order. **Results:** The two-way repeated measures ANOVA indicated a significant main effect of bar type on mean velocity ($p=0.001$; $\eta^2=0.739$) and peak velocity ($p=0.002$; $\eta^2=0.661$). The post-hoc analysis showed a significantly higher mean velocity for the cambered barbell compared to the standard barbell bench press in Set 1 ($p=0.002$) and Set 2 ($p=0.012$), but not in Set 3 ($p=0.062$). Moreover, there was a significantly higher mean velocity in Set 2, than in Set 1 ($p=0.017$) during the standard barbell bench press, with no other differences. Furthermore, a significantly higher peak velocity for the cambered barbell in comparison to the standard barbell was observed in all sets of the BP exercise ($p<0.001$; $p=0.014$; $p=0.048$; respectively). **Conclusions:** The outcomes of this investigation indicated that the cambered barbell used during the bench press training session significantly increases bar velocity compared to the standard barbell with the same external load across the workout.

Keywords: muscular power; performance enhancement; resistance training; sports performance; upper-body power

Introduction

One of the resistance training variables that can be easily manipulated and has a significant effect on training adaptations is the range of motion (ROM) of the exercise (Schoenfeld & Grgic, 2020). Practitioners and coaches often use a partial ROM, believing that it can improve athletes' performance by increasing the specificity of movement. In addition, partial ROM allows lifting higher loads in comparison with full ROM, which results in substantially greater force production (Clark et al., 2008). However, a greater ROM allows for a higher velocity of movement (Drinkwater et al., 2012; Krzysztofik, Zajac, et al., 2020), and recently conducted studies have found that full ROMs after resistance training produces greater neuromuscular adaptations than partial movements (Martínez-Cava, Hernández-Belmonte, et al., 2019; Pallarés et al., 2020). Therefore, the optimal ROM is still a matter of debate in the fitness society (Goto et al., 2019).

While in most exercises the ROM is determined by the physiological capabilities of a joint or several joints, in the case of bench press the ROM is restricted by the bar which touches the chest. So, the major muscles involved in the bench press (pectoralis major, anterior deltoid, triceps brachii) are clearly not going through their full physiological ROM. To overcome this limitation and increase the ROM during the bench press exercise, a cambered barbell was designed. The cambered barbell is U-shaped, which creates additional space for the torso, allowing the lower bottom position in comparison to the standard barbell (Corey, 1991; Krzysztofik, Golas, et al., 2020). Therefore, the greater stretch of the chest and shoulder muscles can be achieved. Nevertheless, to ensure safety, an athlete should be familiar with the cambered barbell bench press, especially when it has to be performed in an explosive manner.

Although cambered barbell has been around for a long time and the bench press performance is one of the most studied resistance exercises there is surprisingly little research investigating its use in training. To date, only two studies analyzed the impact of the cambered barbell on muscle performance (Krzysztofik, Golas, et al., 2020; Krzysztofik, Zajac, et al., 2020). The first of them showed that during the cambered barbell bench press the anterior deltoid is activated to a greater extent than during standard barbell bench press, whereas the standard barbell provided higher pectoralis major and triceps brachii long head muscle activity (Krzysztofik, Golas, et al., 2020). Another indicated that the cambered barbell significantly increased power output and bar velocity in the

-----1737
Corresponding Author: MICHAŁ KRZYSZTOFIK, E-mail: m.krzysztofik@awf.katowice.pl

bench press exercise at 50% of one repetition maximum (1RM) compared to the standard barbell (Krzysztofik, Zajac, et al., 2020). This is due to the extra ROM which allows the bar to be accelerated by a considerably longer displacement, which has a positive impact on the achieved velocity. However, these differences were assessed on the basis of only a single set, while the real-world resistance training sessions in trained individuals rarely contain a single set of a particular exercise. This raises the question of whether the observed increase in these variables will also occur in successive sets and indicates the need for further studies to optimize training with the use of cambered barbell during the bench press.

Given that the bench press is one of the most common resistance exercises used to develop upper body strength and power, and that the use of a cambered barbell during bench press can potentially be a good alternative to the standard barbell, the need for research on how affects the muscle performance appears to be justified. Thus, the objective of this study was to examine differences in bar velocity between cambered barbell and standard barbell bench press training session that included 3 sets of 3 repetitions at the same external load (50%1RM of standard barbell bench press). We hypothesized that cambered barbell bench press allows for higher velocity values, especially in the first set of the bench press exercise protocol.

Materials and Methods

Participants

Ten healthy resistance-trained men participated in this study (Table 1). The inclusion criteria were: (a) free from neuromuscular and musculoskeletal disorders, (b) a bench press personal record of at least 120% of body mass; (c) minimum of 3 years of resistance training experience (d) at least 4 weeks of previous experience with cambered barbell bench press (to avoid the potential interference of the learning effect of the bench press exercise technique on the results of the investigation). The study participants were allowed to withdraw from the experiment at any moment.

They were informed about the benefits and potential risks of the study before providing their written informed consent for participation. The study protocol was approved by the Bioethics Committee for Scientific Research, at the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, and performed according to the ethical standards of the Declaration of Helsinki, 2013. To calculate the sample size, statistical software (G*Power, Dusseldorf, Germany) was used. Given the study 2-way analysis of variance (ANOVA) (2 condition and 3 repeated measures), a small overall effect size (ES) = 0.25, an alpha-error < 0.05, the desired power (1-β error) = 0.8 and correlation among repeated measures = 0.85, the total sample size resulted in 10 participants.

Table 1
Descriptive characteristics of the study participants.

Age [years]	27.9 ± 3.7
Body Mass [kg]	89.6 ± 11.7
Height [cm]	181 ± 6
Experience in RT [years]	5.7 ± 2.1
Standard Bar 1RM [kg]	121 ± 26
Standard Bar ROM [cm]	39.2 ± 1.8
Cambered Bar ROM [cm]	48.5 ± 1.7

Abbreviations: RT – resistance training; 1RM – one repetition maximum; ROM – range of motion.

Procedure

The participants took part in three experimental sessions within 2 weeks performed in random order. The first (Wed) session included the determination of the one-repetition maximum (1RM) load of the flat bench press with the standard barbell while the second and third (Tue and Sat, next week) sessions consisted of performing 3 sets of 3 repetitions of the bench press exercise with the cambered or standard barbell at 50%1RM (of standard barbell) in randomized order (Figure 1).

During each set the mean and peak velocity (MV; PV; respectively) were recorded. The participants were instructed to not perform any additional resistance exercises within 72-h of testing to avoid fatigue. Moreover, they were asked to maintain their normal dietary and sleep habits throughout the study and not to use any supplements or stimulants for 24-h prior to the sessions. The weight of the barbells is the same and more features of the cambered barbell are presented in Figure 2.



Fig. 1. Schematic representation of the experimental protocol.

Experimental Sessions

Three test sessions were used for the experimental trials. In the first one, the 1RM test was performed with the standard barbell, and the second and third were identical except for the use of the standard or cambered barbell during the bench press exercise. All testing trials were conducted at the same time of the day to avoid circadian variation (in the afternoon between 17:00 and 19:00 pm). The general warm-up for the experimental sessions was identical and comprised of: cycling on an ergometer with the upper-body component for 5 min (Keiser M3i Total Body Trainer, Keiser Corporation, Fresno CA) at a resistance approximately of 100W and cadence within 70-80 rpm; 2 circuits of 10 trunk rotations and side-bends; 10 internal, external and lateral arm swings; 10 bodyweight squats and 10 push-ups. During the first session, the participants performed 15, 10, and 5 bench press repetitions using 20, 40, and 60% of their estimated 1RM with the standard barbell. After that, the participants performed the 1RM bench press test with the standard barbell to assess upper-body maximal muscle strength. During that evaluation, the participants executed a single repetition with a constant tempo of movement (2 s duration of the eccentric phase and maximum velocity in the concentric phase, with no pause in-between) and standardized hand placement on the barbell (150% individual bi-acromial distance). The loading started at 80% estimated 1RM and if the participant successfully lifted the load, the weight was increased by 2.5 to 10kg in following attempts until the 1RM for a particular bar condition was obtained. The 1RM was defined as the highest load completed without any help of the spotters (Seo et al., 2012; Wilk et al., 2019, 2020). Five-minute rest intervals were allowed between the 1RM attempts, and all 1RM values were obtained within five attempts.

During the second and third session, the participants completed 3 sets of 3 repetitions of the bench press exercise with either the standard barbell or cambered barbell in randomized order with a load equivalent to 50% of the participants' 1RM, as measured previously in the 1RM test. This value of the external load was chosen because the range between 40% to 60% of 1RM was indicated as optimal for obtaining the highest values of peak power outputs during a bench press exercise (Siegel et al., 2002), with a low training volume which is recommended for power-oriented resistance training output (Bird et al., 2005). In addition, for the safety of the participants, and to ensure high practicality and time-efficient testing protocol (which is crucial when a large number of athletes are tested within a single session), the same external load value was used during the cambered barbell bench press (50% 1RM of standard barbell bench press) (Clark et al., 2010; McMaster et al., 2014). 3-min recovery periods were introduced between sets. To ensure safety and technical proficiency, two strength and conditioning specialists were present during all attempts, and provided spotting for the participants. The hand placement on the barbell was standardized as during 1RM test (150% individual bi-acromial distance). The eccentric phase of each repetition was performed with a constant duration of 2 s, while the concentric phase at maximal possible velocity, but without bouncing the barbell off the chest, without intentionally pausing at the transition between the eccentric and concentric phases (Haff et al., 2016; Seo et al., 2012). It should be emphasized that since not all participants were able to touch their chests during the cambered barbell bench press, they were instructed to lower the barbell to a range that was comfortable for them. The intra-class correlation coefficient and coefficient of variation for ROM measurements was 0.813 and 5.5% for standard barbell, while for cambered barbell it was 0.836 and 4.9%, respectively.

A linear position transducer system (Tendo Power Analyzer, Tendo Sport Machines, Trencin, Slovakia) was used for the evaluation of bar velocity and range of motion during the bench press exercise. The system consists of a velocity sensor connected to the bar with a kevlar cable, which, through the interface, immediately transmits the vertical velocity reached by the bar to software installed on the computer. The sampling rate is determined by the velocity of the disk's rotation (for example 200Hz for 2 m/s). In previous studies, this linear transducer has emerged as a reliable system for measuring bar velocity during the bench press exercises (intra-class correlation coefficient and coefficient of variation: 0.977 and 9.1% for mean velocity and 0.989 and 9.3% for peak velocity; respectively) (Garcia-Ramos et al., 2018; Goldsmith et al., 2019). The peak bar velocity was obtained from the best repetition performed in particular sets, while mean bar velocity was obtained as the mean of all repetitions performed in a particular set.



Fig. 2. Cambered barbell characteristics as previously presented elsewhere [3]. Weight – 20 kg; (A) overall length – 190 cm; (B) camber depth – 10 cm; (C) space between camber – 55 cm.

Statistical Analysis

All statistical analysis were performed using SPSS (version 25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) and were expressed as means with standard deviations (\pm SD). Statistical significance was set at $p < 0.05$. The paired samples t-test was performed to assess differences in the mean range of motion in all performed repetitions between the standard and cambered barbell bench press. The normality of data distribution was checked using Shapiro-Wilk tests. Due to the normal distribution of all analyzed data, the mean and peak velocity were

analyzed with a two-way (bar × set; 2 × 3) ANOVA with repeated measures. Effect sizes for main effects and interaction were estimated by calculating the partial eta squared (η^2). Partial eta squared values were classified as small (0.01 to 0.059), moderate (0.06 to 0.137) and large (>0.137). In the event of a significant main effect, post-hoc comparisons were conducted using the Bonferroni-adjusted significance tests. Magnitude of mean differences were expressed with standardized (Cohen) effect sizes; thresholds for qualitative descriptors of Cohen's d were defined: <0.20 as "trivial", 0.20-0.49 as "small", 0.50-0.79 as "moderate", and >0.80 as "large". Mauchly's test of sphericity was conducted to test for the homogeneity of data and if violated ($p < 0.05$), the Greenhouse-Geisser adjustment value was used. The 95% confidence intervals for mean values were also calculated.

Results

Table 2 contains the differences in performance variables during the standard and cambered bar bench press exercise. The t-test indicated significantly higher mean ROM for the cambered barbell in comparison to the standard barbell (48.5 ± 1.7 cm vs. 39.2 ± 1.8 ; $p < 0.001$). The two-way repeated measures ANOVA indicated no significant bar × set interaction effect for mean velocity ($p = 0.098$; $\eta^2 = 0.227$) as well as for peak velocity ($p = 0.244$; $\eta^2 = 0.147$). However, there was a significant main effect of bar type for mean velocity ($p = 0.001$; $\eta^2 = 0.739$) and peak velocity ($p = 0.002$; $\eta^2 = 0.661$). The post-hoc analysis showed a significantly higher mean velocity for cambered barbell than standard barbell bench press in Set 1 ($p = 0.002$) and Set 2 ($p = 0.012$) but not in Set 3 ($p = 0.062$). Moreover, there was a significantly higher mean velocity in Set 2 than in Set 1 ($p = 0.017$) during standard barbell bench press, with no other differences. There were no significant differences in mean velocity between sets during the cambered barbell bench press. Furthermore, a significantly higher peak velocity for cambered barbell than standard barbell bench press in all sets ($p < 0.001$; $p = 0.014$; $p = 0.048$; respectively) were found.

Table 2
Differences in bar velocity during the standard and cambered bar bench press.

	Standard Bar (95%CI)	Cambered Bar (95%CI)	ES	Bar	Set	Interaction
Mean Velocity [m/s]						
Set 1	0.82 ± 0.17 (0.70 – 0.94)	0.9 ± 0.16 * (0.78 – 1.02)	0.48	p=0.002	p=0.118	p=0.238
Set 2	0.86 ± 0.16 # (0.74 – 0.97)	0.91 ± 0.17 * (0.78 – 1.03)	0.3			
Set 3	0.85 ± 0.15 (0.75 – 0.96)	0.88 ± 0.15 (0.77 – 0.99)	0.15			
Peak Velocity [m/s]						
Set 1	1.13 ± 0.18 (0.99 – 1.26)	1.26 ± 0.2* (1.12 – 1.41)	0.68	p=0.001	p=0.097	p=0.098
Set 2	1.18 ± 0.18 (1.05 – 1.31)	1.28 ± 0.21* (1.13 – 1.43)	0.51			
Set 3	1.17 ± 0.13 (1.08 – 1.27)	1.25 ± 0.19* (1.11 – 1.39)	0.49			

Abbreviations: CI – confidence interval; ES – effect size; * $p < 0.05$ compared with the corresponding value in the standard bar bench press; # $p < 0.05$ compared with first set.

Discussion

The outcomes of this investigation indicated that the cambered barbell used during the bench press training session significantly increases bar velocity compared to the standard barbell with the same load (kg) across the workout. However, the greatest differences were noted between the first sets and gradually decreased between successive sets. This may indicate that compared to the standard barbell, the use of the cambered barbell during the bench press is likely to induce a higher level of acute fatigue because of longer bar displacement and might require a slightly longer rest interval between successive sets to achieve maximum bar velocities. These results suggest that the cambered barbell can potentially be a good alternative to standard barbell for increasing muscle performance during upper-body explosive training, however further research is needed to confirm this.

Our study confirms the beneficial effects of a greater ROM during resistance exercise on achieving higher bar velocities (Drinkwater et al., 2012; Krzysztofik, Zajac, et al., 2020; Martínez-Cava, Hernández-Belmonte, et al., 2019). Drinkwater et al. (Drinkwater et al., 2012) found that full ROM back squats lead to significantly higher bar velocity compared to partial back squats, regardless of load. Similarly, Martínez-Cava et al. (Martínez-Cava, Hernández-Belmonte, et al., 2019), showed that mean velocity was significantly higher when a greater ROM was applied (full vs. two-third vs. one-third). However, the "full" ROM during the bench press is limited by the barbell, not by physiological capabilities. The use of cambered barbell during the bench press exercise allows to obtain a significantly greater ROM due to its structure (approximately 39 cm vs. 48 cm in this study). Therefore, it seems that acceleration through a greater ROM at the same absolute load results in the production of significantly greater velocities, what probably is associated with a longer propulsive phase

(Krzysztofik, Zajac, et al., 2020; Martínez-Cava, Hernández-Belmonte, et al., 2019). To date, only one study has examined the effect of using a cambered barbell during the bench press on bar velocity (Krzysztofik, Zajac, et al., 2020). The authors found that the cambered barbell during the bench press exercise allowed for higher velocities, but only one set was analyzed. Our research is in line with these reports and, in addition, shows that higher values of bar velocity were also recorded in subsequent sets. Nevertheless, it should be emphasized that the barbell velocity changes found were trivial to small for mean velocity (from 0.15 to 0.48) and small to moderate for peak velocity (from 0.49 to 0.68), however, even a slight increase in performance can affect training adaptation and have an impact on winning in some sports, that require explosive upper-body strength (Grgic et al., 2019; Pyne et al., 2009).

In this study, the same load was used for both standard barbell and cambered barbell (50% 1RM of standard barbell bench press). Our unpublished data indicated that 1RM was significantly lower in the cambered barbell bench press than the standard barbell ($n=18$, 133 ± 16 vs. 140 ± 17 kg; $p<0.0001$) (Krzysztofik et al., n.d.), which is in line with the fact that, the greater the ROM in a given exercise, the lower the 1RM (Martínez-Cava, Morán-Navarro, et al., 2019). Thus, although the applied load actually corresponds to a higher relative load, the bar velocity achieved were still significantly higher. The higher velocity obtained during the cambered barbell than standard barbell bench press may be associated with more efficient use of the stretch and shortening cycle. The optimal pre-stretch allows an athlete to produce more force and achieve a greater velocity of movement. This performance enhancement depends, among others on the magnitude of the pre-stretch (Cronin et al., 2001). Therefore, it appears that a greater pre-stretch due to the use of cambered barbell resulted in greater storage and release of elastic energy, thus increasing bar velocity in the concentric phase of the movement. Moreover, the duration of the eccentric phase for both barbells was fixed at 2 s, which means that during the cambered barbell bench press trial, participants had to lower the barbell at a higher speed to stay within the time set for each repetition. Therefore, also faster execution of the eccentric phase could have contributed to a significant increase of the concentric phase performance (Wilk et al., 2019).

Another finding worthy of discussion was that the greatest difference in bar velocity between the standard barbell and cambered barbell bench press was registered between the first sets and this difference decreased with each subsequent set. Moreover, in Set 2 of the standard barbell bench press, there was a significant increase compared to Set 1. This may indicate that a post-activation performance enhancement phenomenon occurs during the standard barbell bench press. Since, the post-activation performance enhancement effect depends on the balance between fatigue and potentiation (Krzysztofik, Wilk, et al., 2020) it seems that during the standard barbell bench press potentiation exceeds fatigue within subsequent set, while this is not the case in the cambered barbell bench press. It seems, that the additional range of motion due to the use of cambered barbell during bench press induces a higher level of acute fatigue than standard barbell because of longer bar displacement and time under tension (in concentric phase), thus reduce the ability to express high levels of post-activation performance enhancement. While there was no decrease in bar velocity in subsequent sets with the use of the cambered barbell, longer rest intervals should be considered than in the standard barbell bench press exercise.

The experimental procedure employed in this investigation contains several limitations that should be addressed. The first relates to the use of absolute load, which might not provide the optimal loading for each tested condition however, an absolute loading may be more practical (i.e., more time-efficient) in gym-based settings, where a large number of athletes are tested within a single session. Secondly, only one external load and rest interval was investigated, but it is necessary to determine if the cambered barbell also augments bar velocity in other training regimens. Third of all, biomechanical and EMG analysis weren't performed (differences in upper limb joint angles and muscle activity) that could provide further explanations for the obtained differences. Lastly, as the participants were well experienced in resistance training the findings of this study should be generalized with caution. Future research could focus on other training routine combinations, e.g., with longer rest intervals between sets or utilizing the cambered barbell in conditioning activities to induce post-activation performance enhancement.

Authors should discuss the results and how they can be interpreted from the perspective of previous studies and of the working hypotheses. The findings and their implications should be discussed in the broadest context possible. Future research directions may also be highlighted.

Practical Implications

The results of our study showed that the use of the cambered barbell can be an effective alternative to the standard barbell during the bench press exercise, and even better when the goal is to achieve high bar velocities. Moreover, the use of cambered barbell during bench press can provide an additional stimulus to break through plateaus and to prevent training monotony (Krzysztofik et al., 2019). This may be of particular importance in sport disciplines where there is a lot of explosive movements involving the upper limbs, such as the shot put or discus throw. However, it can be speculated that the use of longer rest intervals between sets than those used in this experimental procedure may provide additional benefits in terms of the post-activation performance enhancement. Additionally, strength and conditioning practitioners should bear in mind that the increased ROM due to the use of the cambered barbell during the bench press exercise may place additional

strain on the chest and shoulder muscles. Thus, for safety reasons, the athlete should familiarize himself with the cambered barbell bench press exercise before attempting greater loads.

Conclusions

In conclusion, the results of this investigation revealed that the cambered barbell significantly increases bar velocity compared to the bench press performed with a standard barbell at the same external load. Since the use of a cambered barbell allows for a significant increase of the ROM, it seems that the bar can be accelerated over a longer distance, which may contribute to an increase in velocity. These results suggest that the cambered bar can be assumed as an alternative for the standard barbell to increase barbell velocity during bench press training session. Therefore, the cambered barbell can be considered as an additional resistance training tool to increase movement velocity, especially useful for athletes representing explosive sports disciplines.

Institutional Review Board Statement: The study protocol was approved by the Bioethics Committee for Scientific Research, at the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, and performed according to the ethical standards of the Declaration of Helsinki, 2013.

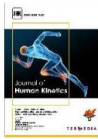
Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

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

References

- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing Resistance Training Programmes to Enhance Muscular Fitness: A Review of the Acute Programme Variables. *Sports Medicine*, 35(10), 841–851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00002>
- Clark, R. A., Bryant, A. L., & Humphries, B. (2008). An Examination of Strength and Concentric Work Ratios During Variable Range of Motion Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1716–1719. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318173e529>
- Clark, R. A., Bryant, A. L., & Pua, Y.-H. (2010). Examining Different Aspects of Functional Performance Using a Variety of Bench Throw Techniques. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2755–2761. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf0368>
- Corey, S. W. (1991). The cambered bar. *Strength & Conditioning Journal*, 13(1). https://journals.lww.com/nsca-scj/Fulltext/1991/02000/The_cambered_bar.7.aspx
- Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001). Magnitude and decay of stretch-induced enhancement of power output. *European Journal of Applied Physiology*, 84(6), 575–581. <https://doi.org/10.1007/s004210100433>
- Drinkwater, E. J., Moore, N. R., & Bird, S. P. (2012). Effects of changing from full range of motion to partial range of motion on squat kinetics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 890–896. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318248ad2e>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & Haff, G. G. (2018). Differences in the Load–Velocity Profile Between 4 Bench-Press Variants. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 326–331. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0158>
- Goldsmith, J. A., Trepeck, C., Halle, J. L., Mendez, K. M., Klemp, A., Cooke, D. M., Haischer, M. H., Byrnes, R. K., Zoeller, R. F., Whitehurst, M., & Zourdos, M. C. (2019). Validity of the Open Barbell and Tendo Weightlifting Analyzer Systems Versus the Optotrak Certus 3D Motion-Capture System for Barbell Velocity. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(4), 540–543. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0684>
- Goto, M., Maeda, C., Hirayama, T., Terada, S., Nirengi, S., Kurosawa, Y., Nagano, A., & Hamaoka, T. (2019). Partial Range of Motion Exercise Is Effective for Facilitating Muscle Hypertrophy and Function Through Sustained Intramuscular Hypoxia in Young Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1286–1294. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002051>
- Grgic, J., Sabol, F., Venier, S., Tallis, J., Schoenfeld, B. J., Coso, J. D., & Mikulic, P. (2019). Caffeine Supplementation for Powerlifting Competitions: An Evidence-Based Approach. *Journal of Human Kinetics*, 68(1), 37–48. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0054>
- Haff, G., Triplett, N. T., & National Strength & Conditioning Association (U.S.) (Eds.). (2016). *Essentials of strength training and conditioning* (Fourth edition). Human Kinetics.
- Krzysztofik, M., Golas, A., Wilk, M., Stastny, P., Lockie, R. G., & Zajac, A. (2020). A Comparison of Muscle Activity Between the Cambered and Standard Bar During the Bench Press Exercise. *Frontiers in Physiology*, 11, 875. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00875>
- Krzysztofik, M., Matykiewicz, P., Filip-Stachnik, A., Huminska-Lisowska, K., Rzeszutko-Belzowska, A., & Wilk, M. (n.d.). Range of motion affects the number of performed repetitions but not a time under tension during bench press to muscular failure. *Scientific Reports*, under review.
- Krzysztofik, M., Wilk, M., Golas, A., Lockie, R. G., Maszczyk, A., & Zajac, A. (2020). Does Eccentric-only and Concentric-only Activation Increase Power Output?: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(2), 484–489. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002131>

- Krzysztofik, M., Zajac, A., Żmijewski, P., & Wilk, M. (2020). Can the Cambered Bar Enhance Acute Performance in the Bench Press Exercise? *Frontiers in Physiology*, *11*, 577400. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.577400>
- Krzysztofik, Wilk, Wojdała, & Golaś. (2019). Maximizing Muscle Hypertrophy: A Systematic Review of Advanced Resistance Training Techniques and Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(24), 4897. <https://doi.org/10.3390/ijerph16244897>
- Martínez-Cava, A., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2019). Bench Press at Full Range of Motion Produces Greater Neuromuscular Adaptations Than Partial Executions After Prolonged Resistance Training: *Journal of Strength and Conditioning Research*, *1*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003391>
- Martínez-Cava, A., Morán-Navarro, R., Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2019). Velocity- and power-load relationships in the half, parallel and full back squat. *Journal of Sports Sciences*, *37*(10), 1088–1096. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1544187>
- McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., & McGuigan, M. (2014). A Brief Review of Strength and Ballistic Assessment Methodologies in Sport. *Sports Medicine*, *44*(5), 603–623. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0145-2>
- Pallarés, J. G., Cava, A. M., Courel-Ibáñez, J., González-Badillo, J. J., & Morán-Navarro, R. (2020). Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. *European Journal of Sport Science*, *20*(1), 115–124. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1612952>
- Pyne, D. B., Mujika, I., & Reilly, T. (2009). Peaking for optimal performance: Research limitations and future directions. *Journal of Sports Sciences*, *27*(3), 195–202. <https://doi.org/10.1080/02640410802509136>
- Schoenfeld, B. J., & Grgic, J. (2020). Effects of range of motion on muscle development during resistance training interventions: A systematic review. *SAGE Open Medicine*, *8*, 205031212090155. <https://doi.org/10.1177/2050312120901559>
- Seo, D.-I., Kim, E., Fahs, C. A., Rossow, L., Young, K., Ferguson, S. L., Thiebaud, R., Sherk, V. D., Loenneke, J. P., Kim, D., Lee, M.-K., Choi, K.-H., Bembien, D. A., Bembien, M. G., & So, W.-Y. (2012). Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *Journal of Sports Science & Medicine*, *11*(2), 221–225.
- Siegel, J. A., Gilders, R. M., Staron, R. S., & Hagerman, F. C. (2002). Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *16*(2), 173–178.
- Wilk, M., Golas, A., Krzysztofik, M., Nawrocka, M., & Zajac, A. (2019). The Effects of Eccentric Cadence on Power and Velocity of the Bar during the Concentric Phase of the Bench Press Movement. *Journal of Sports Science & Medicine*, *18*(2), 191–197.
- Wilk, M., Golas, A., Żmijewski, P., Krzysztofik, M., Filip, A., Coso, J. D., & Tufano, J. J. (2020). The Effects of the Movement Tempo on the One-Repetition Maximum Bench Press Results. *Journal of Human Kinetics*, *72*(1), 151–159. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0001>



A Comparison of Basic Training Variables in the Standard and Cambered Bar Bench Press Performed to Volitional Exhaustion

by

Patryk Matykiewicz^{1,*}, Michał Krzysztofik¹, Adam Zajac¹

The objective of this study was to compare the impact of cambered and standard barbells used during the bench press exercise on the number of performed repetitions and mean velocity during a bench press training session that included 5 sets performed to volitional failure at 70% of one-repetition maximum (1RM) (for each barbell type). An additional objective was to determine whether there would be any difference in neuromuscular fatigue assessed by peak velocity changes during bench press throws performed 1 and 24 hours after the cessation of each session. The research participants included 12 healthy resistance-trained men. Participants performed 5 sets of the bench press exercise to volitional failure against 70% of 1RM with the cambered or standard barbell. The Friedman's test showed an overall trend of a significant decrease in the mean velocity ($p < 0.001$) and a number of performed repetitions ($p < 0.001$) from the first to the fifth set ($p < 0.006$ and $p < 0.02$, respectively for all) under both conditions, yet neither bar showed significant differences between the corresponding sets. Two-way ANOVA indicated a significant main effect of time ($p < 0.001$) for peak velocity during the bench press throw. The post-hoc comparisons showed significantly lower peak velocity during the bench press throw one hour after the bench press compared to pre ($p = 0.003$) and 24-hour post intervention ($p = 0.007$). Both barbells caused a similar decrease in peak barbell velocity during the bench press throw performed one hour after the bench press training session, with values returning to baseline 24 hours later. This indicates that bench press workouts with either a standard or a cambered barbell present the same training demands.

Keywords: ROM; fatigue; movement velocity

Introduction

The bench press exercise is perhaps one of the most popular resistance exercises for developing upper-body strength, power and hypertrophy (Krol and Golas, 2017; Shoenfeld et al., 2015). It is also often used for research and testing (Stastny et al., 2017). The correct technique of the bench press requires the athlete to lower the barbell to the chest and then press upwards until the elbows are fully extended (Gomo and Van Den Tillaar, 2016). However, the barbell bench press is one of the few exercises in which the entire physiological range of motion (ROM) of the prime movers (in this case, the pectoralis major, anterior deltoid, and triceps brachii) is not fully achieved because the athlete is limited by the barbell (Lockie

et al., 2017). Specifically, during the standard barbell bench press, the "full" ROM is limited by the shape of the barbell, which touches the chest. Equipment known as the cambered barbell has been created to eliminate this restriction. The cambered barbell's U-shape provides greater torso room and allows to reach a lower-end position of the barbell in the bench press movement in comparison to the standard barbell (Matykiewicz et al., 2021). One of the cambered bar's tenets is to help athletes extend their chest and shoulder muscles to a greater extent during the bottom phase of the bench press movement (Corey, 1991).

Previous studies have already compared the impact of cambered and standard barbell bench presses on muscle activity (Krzysztofik et al.,

¹ Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Katowice, Poland.

* Correspondence: p.matykiewicz@awf.katowice.pl



2020a), barbell velocity (Krzysztofik et al., 2020b; Matykiewicz et al., 2021), post-activation performance enhancement (Krzysztofik et al., 2022), and training volume (Krzysztofik et al., 2021). Krzysztofik et al. (2020a) have revealed that the cambered barbell leads to greater activation of the anterior deltoid, while the standard barbell causes higher pectoralis major and triceps brachii long head activity during the bench press exercise at 90% of the one-repetition maximum (1RM). Additionally, the cambered barbell significantly enhances power output and bar velocity in the bench press exercise at 50% of 1RM compared with the standard barbell, according to studies by Krzysztofik et al. (2020b) and Matykiewicz et al. (2021). On the other hand, the standard bar bench press turned out to be superior as a conditioning activity to acutely enhance bench press throw performance compared with the cambered bar (Krzysztofik et al., 2022). Finally, Krzysztofik et al. (2021) evaluated the effects of 3 sets of bench presses with a standard or a cambered barbell until volitional failure at 50% of 1RM on training volume and peak barbell velocity. However, those studies were limited by testing protocols, which seem unusual when compared to regular strength training workouts, that is, performing a single repetition at 50, 70, and 90%1RM (Krzysztofik et al., 2020a), a single set of 3 repetitions at 50%1RM (Krzysztofik et al., 2020b) or 3 sets of 3 repetitions at 50%1RM (Matykiewicz et al., 2021). To the best of the authors' knowledge, only one study has examined a higher-volume cambered barbell bench press session (Krzysztofik et al., 2021). In addition, none of those studies were designed to compare the effects of bench presses on immediate and delayed fatigue, despite the fact that the ROM may have an impact on its magnitude. However, in the study by Krzysztofik et al. (2021), changes in barbell velocity, which is considered an indicator of neuromuscular fatigue (de-Oliveira et al., 2022; Sánchez-Medina and González-Badillo, 2011), were assessed. Those authors compared the velocities obtained during successive sets of standard and cambered barbell presses until failure and found a similar decrease in peak velocity from set to set. However, the magnitude of differences in velocity between cambered and standard barbells was large in the first set (effect size $g = 1.14$), while it was medium in the second and third one ($g = 0.53$ – 0.6). Moreover, a greater

enhancement of bench press throw performance after a standard barbell than a cambered barbell bench press was reported by Krzysztofik et al. (2022), what may also indicate that higher neuromuscular fatigue was induced by a standard barbell. Therefore, this may suggest that a greater ROM and stretch achieved during a cambered barbell bench press may induce a higher level of fatigue, followed by a prolonged recovery process. These results indicate that cambered bar bench press training may require significant adjustments of particular training variables, such as the rest intervals, the number of sets and training frequency.

Considering that the interaction of particular training variables, such as training volume, intensity, rest intervals, muscle action, and ROM, greatly influence the magnitude of fatigue imposed by strength training (Toigo and Boutellier, 2006), the aim of this study was to compare differences in cambered and standard barbell bench presses in training volume and mean barbell velocity across 5 sets of this exercise performed until volitional failure at 70%1RM and its impact on neuromuscular fatigue assessed by changes in peak velocity during the bench press throw performed 1 h and 24 h later. We hypothesized that the use of the cambered barbell would allow for greater velocities during the bench press with no significant changes in training volume, but would induce a higher level of fatigue in comparison to the standard barbell due to the significantly greater ROM.

Methods

Participants

Twelve male resistance-trained adults were recruited for this study (Table 1). The inclusion criteria were as follows: no musculoskeletal injuries prior to the investigation, a minimum of 5 years of resistance training experience, 1RM bench press of at least 100% of own body mass. Additionally, to avoid the influence of the learning effect on the research outcomes, four weeks of prior experience with the cambered bar bench press exercise were also required. All participants signed an informed consent form after receiving information about the study's objectives, methods, potential advantages, and risks. All measurements were conducted in the Strength and Power Laboratory of the Academy of

Physical Education in Katowice, Poland. All procedures followed the most recent edition of the Declaration of Helsinki, 2013, and the research protocol was approved by the Bioethics Committee for Scientific Research of the Academy of Physical Education in Katowice, Poland (3/2021).

Measures

All participants performed both, the cambered and standard bench press training sessions, which were carried out using a randomized crossover design. This setup aimed to investigate the effects of particular bench press sessions on subsequent and delayed bench press throw performance. Two familiarization and two experimental sessions were attended by all participants. One of these sessions included a one-repetition maximum test of the flat bench press (1RM test) with a standard and a cambered barbell. The experimental procedures consisted of 5 sets of the bench press exercise with a load equal to 70% of the standard or the cambered bar bench press 1RM to volitional failure (Figure 1). The 1RM tests were performed 72 h apart, while the bench press sessions were executed one week apart. To prevent fatigue, participants were instructed to avoid additional resistance exercise within 72 hours of testing.

Design and Procedures

The next two sessions were identical except for the use of a standard or a cambered barbell during the bench press session. During particular sessions, participants performed 5 sets of the bench press exercise to momentary volitional failure with either a standard or a cambered barbell at a load equal to 70% of the participants' 1RM (specific bar), in randomized order. The bench press tempo of movement was identical to the 1RM test and a 5-min rest interval was introduced between each set. To prevent circadian fluctuation, all tests were carried out at the same time of the day (12:00 and 15:00 pm), and were separated by a 96 h recovery period. Since the movement velocity has been previously shown as an indicator of neuromuscular fatigue (Sánchez-Medina and González-Badillo, 2011), changes in barbell velocity during the bench press throw (BPT) were evaluated to determine how each barbell bench press session affected the time course of fatigue. For this purpose, prior to and 1 h, as well as 24 h after each session, all participants performed a

single set of two repetitions of the BPT on the Smith machine at maximal velocity against a load of 30% of 1RM of the standard barbell BP. Moreover, mean velocity, as well as barbell displacement, and the number of performed repetitions, were recorded during each set of the bench press exercise. Peak velocity was measured during the BPT. A Tendo Power Analyzer system (Tendo Sport Machines, Trencin, Slovakia) was used for measuring bar velocity and displacement during both the bench press exercise and the bench press throw (Drinkwater et al., 2007).

One-Repetition Maximum Bench Press Test

The first two sessions aimed to determine the 1RM either with a standard or a cambered barbell. Each experimental session began with the standard warm-up detailed elsewhere (Matykiewicz et al., 2021). Afterwards, using a standard or a cambered bar, participants performed the 1RM bench press test. They performed a single repetition, without pausing, with a constant tempo of the eccentric phase of the movement (2 s) and a volitional tempo of the concentric phase of the lift (Wilk et al., 2020). Hand positioning on the bar was similar throughout each trial and was placed at 150% of the participant's bi-acromial distance (Green and Comfort, 2007). The test consisted of three to five attempts. The first attempt was set at 80% of the self-reported 1RM, and if successfully lifted, the weight was increased by 2.5 kg to 5 kg in the following attempts. Participants were instructed about BP technique requirements, which included keeping the feet on the floor, hips in contact with the bench, and not bouncing the barbell off the chest. Two experienced spotters were present at all times to guarantee safety.

Statistical Analysis

SPSS software (version 25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) was used to perform all statistical analyses, and data are presented as means with standard deviations (\pm SD). Statistical significance was set at $p < 0.05$. The normality of data distribution was checked using the Shapiro-Wilk test, while the Mauchly's test was used to check the assumption of sphericity. Two-way ANOVA or, if the normality was not confirmed, the related-samples Friedman's two-way ANOVA by ranks was used to investigate differences in training variables during standard and cambered

barbell bench presses and their influence on the bench press throw performance. Pairwise comparisons were examined using post-hoc tests with Bonferroni correction when a significant main effect or interaction was found. Standardized effect sizes were used to express the size of mean differences. Thresholds for qualitative descriptors of Hedges g were interpreted as small, medium, and large at ≤ 0.20 , 0.21 – 0.79 and > 0.80 , respectively (Cohen, 2013).

Results

The Shapiro-Wilk tests indicated a violation of data distribution for the following variables: the number of performed repetitions, mean velocity during the bench press, and peak power during the bench press throw.

The t-test showed a significantly higher 1RM value in the standard than in the cambered bench press (132 ± 21 kg vs. 126 ± 20 kg; $p < 0.001$; $ES = 0.40$).

Number of Performed Repetitions during the Bench Press

The t-test showed a significantly higher total number of performed repetitions during the standard than the cambered bench press exercise (49 ± 7 vs. 43 ± 8 ; $p = 0.005$, $ES = 0.77$).

The Friedman's test (test = 94.913; $p < 0.001$; Kendall's $W = 0.879$) showed an overall trend of a significant decrease in the number of performed repetitions from the first to the fifth set ($p < 0.02$ for all) under both conditions, yet no significant differences between corresponding sets of standard and cambered bench presses were observed (Figure 2).

Range of Motion during the Bench Press

The t-test showed no significant difference in total load displacement between the cambered and the standard barbell bench press (1698 ± 286 cm vs. 1771 ± 382 cm; $p = 0.308$, $ES = 0.21$).

Two-way ANOVA indicated a non-significant interaction ($F = 0.583$; $p = 0.567$; $\eta^2 = 0.05$), but a significant main effect of condition ($F = 11.286$; $p = 0.006$; $\eta^2 = 0.506$) and set ($F = 12.243$; $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.527$). The post-hoc comparisons showed significantly greater ROM during the cambered than the standard barbell bench press ($p = 0.006$; $ES = 1.34$). Moreover, the ROM was significantly greater in the first set compared to the second ($p = 0.33$; $ES = 0.35$), third ($p = 0.28$; $ES = 0.41$), and fifth sets ($p = 0.004$; $ES = 0.47$) (Figure 3).

Mean Velocity during the Bench Press

The Friedman's test (test = 74.205; $p < 0.001$; Kendall's $W = 0.687$) showed an overall trend of a significant decrease in mean velocity from the first to the fifth set ($p < 0.006$ for all) under both conditions, however, no significant differences between corresponding sets of the standard and cambered bench presses were noted (Figure 4).

Peak Velocity during the Bench Press Throw

Two-way ANOVA indicated a non-significant interaction ($F = 1.374$; $p = 0.274$; $\eta^2 = 0.111$) and a main effect of condition ($F = 0.012$; $p = 0.914$; $\eta^2 = 0.001$), but a significant main effect of time points ($F = 14.721$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.572$). Post-hoc comparisons showed significantly lower peak velocity 1-h post bench press compared to pre ($p = 0.003$; $ES = 1.11$) and 24-h post intervention ($p = 0.007$; $ES = 0.9$) (Figure 5).

Table 1. Descriptive characteristics of participants.

Age [years]	25.9 ± 4.2
Body Mass [kg]	88 ± 9.1
Height [cm]	178.3 ± 5.3
Experience [years]	9.8 ± 4.7
Standard bar 1RM [kg]	132 ± 21
Cambered bar 1RM [kg]	126 ± 20
Standard bar ROM [cm]	35 ± 3.7
Cambered bar ROM [cm]	38.9 ± 2.9

1RM – one repetition maximum; ROM – range of motion

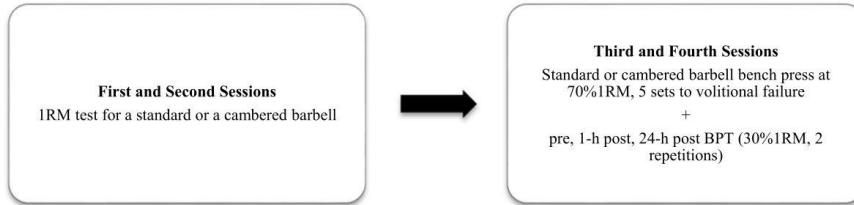


Figure 1. Schematic representation of the experimental protocol.
1RM – one-repetition maximum

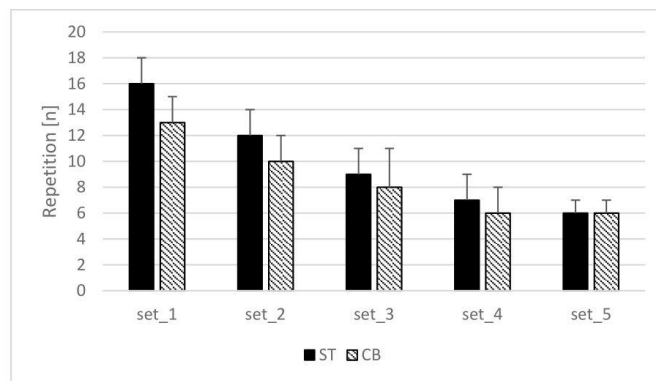


Figure 2. Differences in the number of performed repetitions during the standard and cambered barbell bench press.
ST – standard barbell bench press, CB – cambered barbell bench press

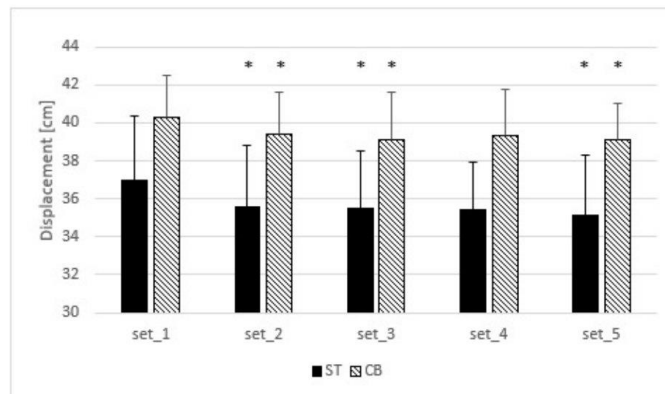


Figure 3. Differences in the ROM during the standard and cambered barbell bench press.
* significant difference in comparison to the first set
ST – standard barbell bench press, CB – cambered barbell bench press

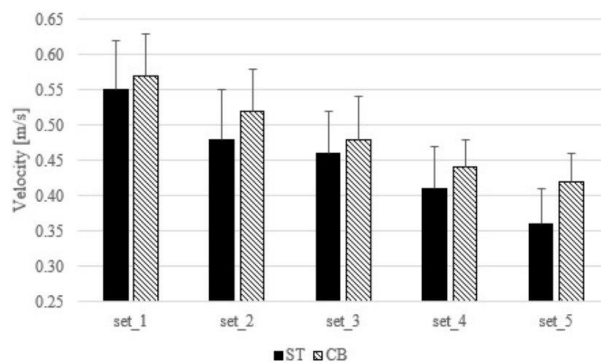


Figure 4. Comparison of mean velocity during the standard and cambered barbell bench press.
ST – standard barbell bench press, CB – cambered barbell bench press

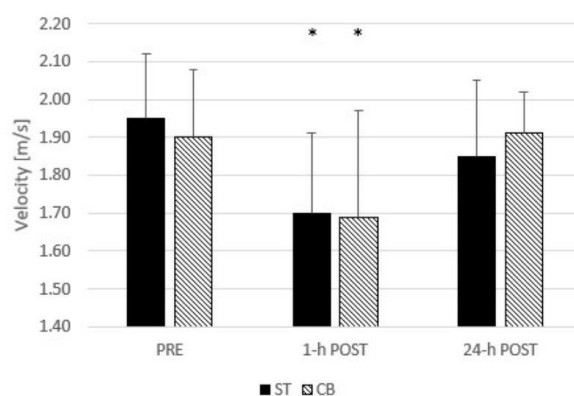


Figure 5. Changes in peak velocity during the bench press throw at pre, 1-h post, and 24-h post the standard and the cambered barbell bench press session.

* significant difference in comparison to the pre
ST – standard barbell bench press, CB – cambered barbell bench press

Discussion

The main aim of this study was to compare the impact of cambered and standard barbells used during the bench press exercise on the number of performed repetitions and mean velocity during a

bench press training session that included 5 sets performed to volitional failure at 70% of 1RM (for each barbell). An additional objective was to determine whether there would be any difference in neuromuscular fatigue assessed by peak velocity changes during bench press throws

performed 1 and 24 hours after the end of each session. The results showed a significantly greater ROM during the cambered than the standard barbell bench press, as well as a gradual decrease in the number of performed repetitions and barbell velocity across the sets, but no significant differences between the barbells in these variables. Moreover, under both conditions, a similar significant decrease in barbell velocity during the bench press throw 1 hour after the training session was found, but 24 hours later, no significant changes in comparison to baseline values were reported. Furthermore, participants lifted a significantly higher maximal load in the standard bar when compared with the cambered one, confirming that the greater ROM of exercise results in a lower 1RM (Martínez-Cava et al., 2019, 2022; Pallarés et al., 2020).

To date, research comparing the impact of cambered and standard barbells during bench press training has focused on differences in electromyographic activity, power output, and barbell velocity (Krzysztofik et al., 2020a, 2020b; Matykiewicz et al., 2021). These studies have consistently shown that a cambered barbell contributes to a significantly higher ROM during the bench press exercise, which leads to significantly higher barbell velocities (Krzysztofik et al., 2021; Matykiewicz et al., 2021). However, to the best of the authors' knowledge, the current study is the second one to date (Krzysztofik et al., 2021) that compared the impact of a cambered barbell on changes in the number of performed repetitions and barbell velocity in the protocol, imitating a bench press training workout to a greater extent than procedures of previous studies. Although in the current study, more sets (5 vs. 3) were performed and a higher load (70% 1RM vs. 50% 1RM) was used compared to the previous study (Krzysztofik et al., 2021), the results were similar and showed a significantly lower total number of repetitions in the bench press workout performed with the cambered barbell compared to the standard one, with no differences in load displacement. Considering the above, evaluating only the number of performed repetitions may lead to an incorrect estimation of training volume due to the exclusion of variations in the ROM (Krzysztofik et al., 2021). As a result, despite the fact that the cambered barbell allows for a significant increase in ROM during the bench press

exercise, it has no effect on the volume of the bench press training workout as measured by load displacement. On the other hand, more repetitions indicate that the eccentric-concentric transition phase was performed more often, which results in higher peak torque output and greater mechanical stress that may differ in magnitude to the elicited fatigue and training stimuli (Chapman et al., 2006). These may be the major training implications considering that exercise volume, calculated as the number of performed repetitions, is a key factor in chronic adaptations related to muscle hypertrophy (Kraemer and Ratamess, 2004; Schoenfeld et al., 2019). Nonetheless, the available literature provides premises that a greater ROM confers beneficial effects on muscle hypertrophy and strength adaptations in comparison to partial ones (Martínez-Cava et al., 2022; Schoenfeld and Grgic, 2020). For example, Martínez-Cava et al. (2022) showed greater gains in muscle strength after 10 weeks of standard barbell bench press training performed at full ROM compared to partial ROM. Therefore, it is possible to conclude that while performing bench press training sessions with a cambered or a standard bar, various adaptive changes may occur. It seems that further research is needed that would expand the knowledge of long-term use of the cambered bar in bench press training.

The fact that there were no significant differences in mean bar velocity during the bench press exercise between the two types of bars is another finding from the current study that needs to be emphasized. These findings contradict earlier research that found significantly lower bench press bar velocities in a smaller ROM (Martínez-Cava et al., 2019). Also, studies comparing cambered and standard barbell velocities during the bench press (Krzysztofik et al., 2020b, 2021; Matykiewicz et al., 2021) showed higher velocity values during a cambered barbell bench press. It should be noted, however, that the procedures of those studies differed significantly. In the study by Krzysztofik et al. (2021), the average of peak velocities was obtained during sets performed until volitional failure at 50% of 1RM. As a consequence, significantly higher mean bar velocity was observed while using a cambered compared to a standard bar in a study by Krzysztofik et al. (2020b), however, participants only performed 3 repetitions at 50% 1RM. On the other hand, in the

current study, the average of mean velocities in a given set performed to volitional failure at 70% of 1RM was measured. Nonetheless, this study found a slightly higher barbell velocity during the cambered bench press compared to the standard barbell bench press, though this difference did not reach statistical significance. It should also be emphasized that the peak velocity measure in the study by Krzysztofik et al. (2021) is the instantaneous value of velocity, the fastest single moment during the entire concentric phase of the movement. The mean velocity, which represents the average velocity for the entire concentric phase of the movement, may provide more comprehensive information to assess training demands due to traditional resistance exercises performed until failure. The current study's findings revealed a similar trend of decreasing velocity from set to set with no difference between barbells. Considering that previous research on resistance training has shown that velocity loss may objectively quantify neuromuscular fatigue (de-Oliveira et al., 2022; Sánchez-Medina and González-Badillo, 2011), it indicates that bench pressing with either a cambered or a standard barbell contributes to a similar increase in fatigue with each successive set. This confirms that using a cambered barbell may not require longer rest intervals between sets.

Considering the fact that training frequency is another variable affecting adaptations to resistance training (Kraemer and Ratamess, 2004), this study also aimed to determine whether training with a cambered barbell would contribute to greater fatigue, which may negatively affect successive training sessions. As it turned out, both the standard and the cambered bar bench press exercise caused a considerable drop in peak velocity one hour after the training session, but 24 hours later, there were no significant differences in neuromuscular performance evaluated by the BPT. This is another aspect that indicates the lack of significant differences between bench press training with a standard and a cambered bar. This indicates, in conjunction with the lack of differences in load displacement and velocity, that training with a cambered barbell may not require a different training volume, intensity, or frequency approach. However, it should be mentioned that 24 h after the training session with the standard barbell, velocity was still slightly reduced, but this

value did not reach the level of statistical significance ($g = 0.36$). Therefore, to comprehensively assess the consequences of cambered barbell bench press training, further studies should examine changes in fitness, and also in muscle damage markers.

Some limitations should be considered when drawing conclusions from this study. First, participants performed 5 sets to voluntary failure, which is not a typical training approach, thus further studies should compare bench press training sessions with a given number of sets and repetitions at a fixed load. Furthermore, only peak velocity during the bench press throw was used to assess neuromuscular fatigue, which is clearly insufficient to determine the true physiological disturbance; thus, additional studies should measure, i.e., muscle damage markers. Bench press throw performance was only measured up to 24 hours after the intervention, despite the fact that fatigue symptoms may last longer. Additionally, the subjective level of physical exertion was not evaluated.

Conclusions

Overall, the total number of repetitions performed with the standard bar bench press during 5 sets at 70% of 1RM until voluntary failure was significantly higher than with the cambered bar, but there were no differences in load-displacement or mean barbell velocity. Furthermore, both bars caused a similar decrease in peak barbell velocity during the bench press throw performed one hour after the bench press training session, with values returning to baseline 24 hours later. This indicates that bench press workouts with either a standard or a cambered bar have the same training demands, and although a cambered bar allows for a significantly greater ROM, it does not require an adjustment of particular training variables, such as rest intervals between sets and training frequency.

Author Contributions: *Contributions:* Conceptualization: P.M.; methodology: P.M.; software: P.M. and M.K.; validation: P.M.; formal analysis: M.K.; investigation: P.M.; resources: P.M.; data curation: P.M.; writing—original draft preparation: P.M.; writing—review & editing: A.Z. and M.K.; visualization: P.M.; supervision: M.K. and A.Z.; project administration: P.M.; funding acquisition: A.Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding Information: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: This study was conducted following the principles of the Declaration of Helsinki, and approved by the Bioethics Committee for Scientific Research (3/2021).

Informed Consent: Informed consent was obtained from all participants included in the study.

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

References

- Chapman, D., Newton, M., Sacco, P., & Nosaka, K. (2006). Greater Muscle Damage Induced by Fast Versus Slow Velocity Eccentric Exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 27(8), 591–598. <https://doi.org/10.1055/s-2005-865920>
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Elsevier Science. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=923159>
- Corey, S. W. (1991). The cambered bar. *Strength & Conditioning Journal*, 13(1). https://journals.lww.com/nsca-scj/Fulltext/1991/02000/The_cambered_bar.7.aspx
- de-Oliveira, L. A., Aragão-Santos, J. C., Heredia-Elvar, J. R., & Da Silva-Grigoletto, M. E. (2022). Movement Velocity as an Indicator of Mechanical Fatigue and Resistance Exercise Intensity in Cross Modalities. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1–7. <https://doi.org/10.1080/02701367.2022.2101603>
- Drinkwater, E., Galna, B., Mckenna, M., Hunt, P., & Pyne, D. (2007). Validation of an optical encoder during weight resistance movements and analysis of bench press sticking point power during fatigue. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 510–517. <https://doi.org/10.1519/R-20406.1>
- Gomo, O., & Van Den Tillaar, R. (2016). The effects of grip width on sticking region in bench press. *Journal of Sports Sciences*, 34(3), 232–238. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1046395>
- Green, C.M., & Comfort, P. (2007). The affect of grip width on bench press performance and risk of injury. *Strength and Conditioning Journal*, 29(05), 10–14. <https://doi.org/10.1519/00126548-200710000-00001>
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674–688. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000121945.36635.61>
- Krol, A., & Golas, A. (2017). Effect of barbell weight on the structure of the flat bench press. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(5), 1321–1337. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001816>
- Krzysztofik, M., Golas, A., Wilk, M., Stastny, P., Lockie, R. G., & Zajac, A. (2020a). A Comparison of Muscle Activity Between the Cambered and Standard Bar During the Bench Press Exercise. *Frontiers in Physiology*, 11, 875. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00875>
- Krzysztofik, M., Matykiewicz, P., Filip-Stachnik, A., Humińska-Lisowska, K., Rzeszutko-Belzowska, A., & Wilk, M. (2021). Range of motion of resistance exercise affects the number of performed repetitions but not a time under tension. *Scientific Reports*, 11(1), 14847. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94338-7>
- Krzysztofik, M., Trybulski, R., Trąbka, B., Perenc, D., Łuszcz, K., Zajac, A., Alexe, D. I., Dobrescu, T., & Moraru, C. E. (2022). The impact of resistance exercise range of motion on the magnitude of upper-body post-activation performance enhancement. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 123. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00519-w>
- Krzysztofik, M., Zajac, A., Żmijewski, P., & Wilk, M. (2020b). Can the Cambered Bar Enhance Acute Performance in the Bench Press Exercise? *Frontiers in Physiology*, 11, 577400. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.577400>

- Lockie, R.G., Callaghan, S.J., Moreno, M., Risso, F.G., Liu, T., Stage, A., Birmingham-Babauta, S., Stokes, J.J., Giuliano, D.V., Lazar, A., Davis, D., & Orjalo, A. (2017). Relationships between mechanical variables in the traditional and close-grip bench press. *Journal of Human Kinetics, 60*(1), 19–28. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0109>
- Martínez-Cava, A., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2022). Bench Press at Full Range of Motion Produces Greater Neuromuscular Adaptations Than Partial Executions After Prolonged Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research, 36*(1), 10–15. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003391>
- Martínez-Cava, A., Morán-Navarro, R., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Conesa-Ros, E., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2019). Range of Motion and Sticking Region Effects on the Bench Press Load-Velocity Relationship. *Journal of Sports Science & Medicine, 18*(4), 645–652.
- Matytkiewicz, P., Krzysztofik, M., Filip-Stachnik, A., & Wilk, M. (2021). The bench press exercise performed with increased range of motion allows for greater bar velocities. *Journal of Physical Education and Sport, 21*(04), 1737–1743.
- Pallarés, J. G., Cava, A. M., Courel-Ibáñez, J., González-Badillo, J. J., & Morán-Navarro, R. (2020). Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. *European Journal of Sport Science, 20*(1), 115–124. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1612952>
- 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>
- Schoenfeld, B.J., Ratamess, N.A., Peterson, M.D., Contreras, B., & Tiryaki-Sonmez, G. (2015). Influence of resistance training frequency on muscular adaptations in well-trained men. *Journal of Strength & Conditioning Research, 29*(7), 1821–1829. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000970>
- Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Krieger, J., Grgic, J., Delcastillo, K., Belliard, R., & Alto, A. (2019). Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 51*(1), 94–103. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001764>
- Schoenfeld, B. J., & Grgic, J. (2020). Effects of range of motion on muscle development during resistance training interventions: A systematic review. *SAGE Open Medicine, 8*, 205031212090155. <https://doi.org/10.1177/2050312120901559>
- Stastny, P., Gołaś, A., Blazek, D., Maszczyk, A., Wilk, M., Pietraszewski, P., Petr, M., Uhler, P., & Zajac, A. (2017). A systematic review of surface electromyography analyses of the bench press movement task. *PLOS ONE, 12*(2), e0171632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171632>
- Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European Journal of Applied Physiology, 97*(6), 643–663. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0238-1>
- Wilk, M., Golas, A., Zmijewski, P., Krzysztofik, M., Filip, A., Coso, J. D., & Tufano, J. J. (2020). The Effects of the Movement Tempo on the One-Repetition Maximum Bench Press Results. *Journal of Human Kinetics, 72*(1), 151–159. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0001>

Received: 27 January 2023; Accepted: 18 March 2023; Published: 20 April 2023



Article

Extended range of motion does not induce greater muscle damage than conventional range of motion in the bench press exercise

Patryk MATYKIEWICZ¹, Michał KRZYSZTOFIK², Adam ZAJĄC³

- ¹ The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Poland; ORCID 0000-0002-8163-0738
- ² The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Poland; ORCID 0000-0003-2797-8431
- ³ The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Poland; ORCID 0000-0002-4374-4822

* Correspondence: Patryk Matykiewicz, Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Katowice, Poland; e-mail: p.matykiewicz@awf.katowice.pl

Abstract: Introduction: Range of motion (ROM) of resistance exercise affects the muscle damage magnitude and the recovery-time course. Thus, the main aim of this study was to compare conventional and extended ROM in the bench press exercise on neuromuscular fatigue assessed by velocity changes during bench press throw, as well on the exercise-induced muscle damage evaluated by creatine kinase (CK) activity in the blood. Material and Methods: A total of fourteen healthy, well-trained males performed 5 sets of the bench press exercise at 70% of one repetition maximum with either standard (STD) and cambered (CMB) barbell until reaching volitional failure. CK and barbell velocity changes were assessed at the baseline and 1h, 24h, 48h post exercise protocol. Results: The results showed that higher peak barbell velocity was reached during the bench press throw after the CMB when compared to the STD condition. Moreover, CK activity showed an overall significant growing trend from baseline to time points following exercise during the STD, whereas the CMB post-48h CK was higher in comparison to pre and post, but not than post-24h. Conclusion: the bench press exercise performed with the use of CMB barbell might not require a specific training approach, and even higher training frequency might be applied.

Keywords: muscle damage, fatigue, range of motion, bench press.

Citation: Matykiewicz P, Krzysztofik M, Zajac A. Extended range of motion does not induce greater muscle damage than conventional range of motion in the bench press exercise. *Balt J Health Phys Act.* 2023;15(4):Article1. <https://doi.org/10.29359/BJHPA.15.4.01>

Academic Editor:
Aleksandra Bojarczuk

Received: July 2023
Accepted: June 2023
Published: December 2023

Publisher's Note: BJHPA stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2023 by Gdansk University of Physical Education and Sport. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY-NC-ND) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Resistance training is the most commonly recommended approach for achieving long-term improvements in strength and muscle mass [1]. Beside the exercise order, volume, intensity, and rest intervals [2], the range of motion (ROM) in an exercise is another variable that influences training adaptations [3]. Thus, acute effects of ROM should be taken into consideration by coaches and athletes participating in resistance training, since changes in exercise ROM may result in exercise-induced muscle damage, leading to impaired muscle function and performance impairment lasting up to several days after the training session [4, 5]. Indeed, participating in intense physical activity that causes damage to the structure of skeletal muscle cells leads to a rise in overall levels of creatine kinase (CK). Thus, the evaluation of blood serum CK activity provides information about the magnitude of muscle damage [4], which may be used as an index to establish sufficient recovery between training sessions.

Although extensive research has already investigated the effects of different exercise ROM on exercise-induced muscle damage [5, 6, 7], most of it was limited to only partial vs. full ROM comparison, and mostly the elbow flexors were investigated. However, in the case of the bench press exercise, the ROM is limited by the barbell which touches the chest while lowering the bar [8]. In consequence, the primary muscles engaged in the bench press movement do not undergo their complete physiological ROM. Nevertheless, since the cambered barbell was designed, this issue seems to be solved. The barbell's U-shape provides extra room for the torso, allowing to achieve a lower bottom position of the lift and a greater stretch of primary muscles when compared to a standard barbell [9, 10]. Previous studies have already investigated differences between a cambered and standard barbell in muscle activity [9], barbell velocities [10, 11], training volume [12] and muscle fatigue [13]. The studies by Krzysztofik et al. [11] and Matykiewicz et al. [10] have demonstrated that the use of a cambered barbell results in an increased range of motion (ROM) during the bench press exercise, leading to higher velocities of the barbell. Hence, the implementation of a cambered bar can be regarded as a supplementary tool in resistance training aimed at enhancing movement velocity, especially with athletes participating in sport disciplines that require explosiveness. Other findings [9] indicated that when comparing the cambered barbell to the standard one during the bench press exercise at 90% of the one-repetition maximum (1RM), it was observed that the cambered barbell elicits increased activation of the anterior deltoid muscles. In contrast, the standard barbell resulted in higher activity of the pectoralis major and triceps brachii long head muscles. A recent study which is a continuation of our previous research [13] indicated no significant differences in neuromuscular fatigue between the cambered and the standard barbell.

Given the benefits of the cambered barbell and that a greater ROM used in a long-term resistance training program results in greater adaptations [14, 15], the main aim of this study was to evaluate the differences between the cambered and the standard barbell used during the bench press exercise in relation to the magnitude of muscle damage assessed by CK activity. We hypothesized that the use of a cambered barbell, which provides a greater ROM during the bench press exercise, would lead to more significant muscle damage.

2. Materials and Methods

2.1. Participants

A group of fourteen well-trained men volunteered for this study (26.3 ± 2.3 years, 88.5 ± 4.9 kg, 178.4 ± 2.8 cm, standard barbell bench presses $1RM = 132.7 \pm 12.4$ kg, cambered barbell bench press $1RM = 126.3 \pm 11.9$ kg). The following inclusion criteria were required: free from musculoskeletal injury prior to the study, a minimum of 5 years of resistance training experience, 1RM bench press of at least 100% of own body mass. Moreover, the participants were also required to have at least 5 weeks of previous cambered barbell bench press experience. All participants were familiarized with the study's purpose, methods, benefits and risks and agreed to participate by providing a signed informed consent. The investigation was conducted in the Strength and Power Laboratory of the Academy of Physical Education in Katowice, Poland. All procedures were performed in accordance with the most recent edition of the Declaration of Helsinki, 2013. The study protocol was approved by the Bioethics Committee for Scientific Research of the Academy of Physical Education in Katowice, Poland (KB/14/2022).

2.2. Measures

The participants were divided into two conditions: a) standard (STD), b) cambered (CMB). Both STD and CMB groups performed the bench press training sessions in a randomized crossover design. The first two sessions focused on the one-repetition maximum

test (1RM) of the flat bench press with a STD or CMB barbell, followed by two experimental sessions. The focus of the experimental sessions was to evaluate the effects of the STD and CMB bench press exercise protocol on subsequent and delayed muscle fatigue and muscle damage. To do so, the bench press throw as well as creatine kinase activity measures were performed pre-session, 1-h, 24-h and 48-h post-exercise. The experimental procedures contained 5 sets of the bench press exercise against 70% of the standard or the cambered bar bench press 1RM performed to volitional failure. 72 hours of rest was implemented between 1RM tests, and experimental sessions were executed one week apart to avoid fatigue. The participants were also asked not to perform any additional upper-body resistance training during the experiment.

2.3. Design and procedures

The experimental protocol had the same procedures, only differing in the type of the barbell used during the exercise protocol. The procedure required the participants to perform 5 sets of the bench press exercise at 70% of 1RM (STD or CMB barbell) to momentary volitional failure. Cadence of the eccentric phase of the movement was controlled through a metronome and equaled 2s of the eccentric phase and a volitional tempo of the concentric phase of the movement. A 3-min rest interval was established between subsequent sets. To assess the time course of muscle fatigue, changes in peak barbell velocity [16] during the bench press throw (BPT) were analyzed, as several previous studies have shown movement velocity to be a reliable indicator of neuromuscular fatigue [17, 18]. To define the differences in the time course of muscle damage between STD and CMB the activity of serum creatine kinase was analyzed [19, 20, 21]. To achieve these goals, each participant completed a single set of two repetitions of the BPT on the Smith machine at maximum velocity with a load corresponding to 30% of their 1RM for the standard barbell bench press at pre-, 1-h, 24-h and 48-h post session and each post-BPT set was preceded by a standard warm-up on the cycle ergometer for 5min followed by dynamic mobility exercises for the upper body. Similarly, serum samples were collected for creatine kinase activity analysis before and one hour, as well as 24 and 48 hours after each training session. During the BPT attempts, peak velocity was measured, whereas the mean velocity, the number of performed repetitions and the barbell displacement were recorded during each set of the bench press exercise. All measures were conducted using a Tendo Power Analyzer (Tendo Sport Machines, Trencin, Slovakia) [22].

2.4. One-repetition maximum bench press test

The participants visited the laboratory twice for a STD and a CMB 1RM estimation. During both sessions, the participants began with a standardized warm-up specified in a previous study [10]. Subsequently, utilizing either a STD or a CMB, they were subjected to a 1RM bench press test. They were instructed to maintain technical demands during the attempts, e.g. keeping feet on the ground, hips and head in contact with the bench. Moreover, the hand placement was consistent across all attempts and was positioned at 150% of the subject's biacromial width. The tempo of movement was consistent during the trials and matched the recommendation by Wilk et al. [23], i.e. 2s of the negative (lowering) phase of the lift, and a volitional tempo of a positive (raising) phase of the lift, without pausing and bouncing the barbell off the chest. The goal of the sessions was to estimate 1RM within three to five trials, with a 3-min rest interval between sets. The first trial was established at 80% of self-reported 1RM, and if successfully lifted, the load was increased by 2.5kg to 5kg in the next trials until the subjects could not lift a given load. Safety was ensured by two experienced spotters that were present during the sessions.

3. Results

3.1. Statistical analysis

All statistical analyses were performed using SPSS (version 25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) and were shown as means with standard deviations (\pm SD). Statistical significance was set at $p < 0.05$. The normality of data distribution was checked using Shapiro–Wilk tests, while Mauchly’s test was used to test for the assumption of sphericity. The two-way ANOVA or, if the normality was not confirmed, related-samples Friedman’s two-way ANOVA by ranks were used to investigate the differences in training variables during standard and cambered barbell bench presses and their influence on the bench press throw performance and creatine kinase activity. When a significant main effect or interaction was found, post-hoc tests with Bonferroni correction were used to analyze the pairwise comparisons. The magnitude of mean differences was expressed with standardized effect sizes. Thresholds for qualitative descriptors of Hedges g were interpreted as ≤ 0.20 “small”, 0.21–0.79 “medium”, and > 0.80 as “large”.

3.2. Bench press performance

Two-way ANOVA indicated that there was a significant interaction ($F = 7.467$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.365$) and a main effect of a set ($F = 192.302$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.937$) and condition ($F = 25.560$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.663$) on the number of performed repetitions. The post-hoc comparisons showed an overall trend of a significant decrease in the number of performed repetitions from the first to the fifth set ($p < 0.002$) with the exception of the first vs. second set during the STD bench press ($p = 0.99$; ES = 0.87) and the fourth vs fifth set during the CMB bench press ($p = 0.065$; ES = 0.0) (Table 1).

Friedman’s test (test = 117.195; $p < 0.001$; Kendall’s $W = 0.93$) showed an overall trend of a significantly higher ROM between the corresponding sets during the CMB bench press in comparison to the STD bench press ($p < 0.002$; for all) (Table 1).

Two-way ANOVA indicated that there was a significant interaction ($F = 5.58$; $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.300$) and a main effect of a set ($F = 34.205$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.725$) but not condition ($F = 0.134$; $p = 0.720$; $\eta^2 = 0.010$) on the mean velocity. The post-hoc analysis showed a significantly lower barbell mean velocity in the fourth ($p < 0.001$; ES = 1.29 to 2.32) and fifth set ($p < 0.008$; ES = 1.36 to 2.89) compared to sets from the first to the third one during the STD bench press, while during the CMB bench press, there was a significant overall trend to decrease barbell mean velocity in subsequent sets (first vs other sets $p < 0.01$; ES = 1.07 to 2.67; second and third to fifth ($p < 0.008$; ES = 1.41 and 1.05); third vs. fourth ($p = 0.011$; ES = 1.05) with exception to no significant differences between third and fifth ($p = 0.127$; ES = 0.86) and fourth vs. fifth set ($p = 1.00$; ES = 0.38). Furthermore, a barbell mean velocity was significantly higher in the first set ($p = 0.01$) during the STD compared to the CMB bench press. On the other hand, a higher barbell mean velocity was reported in the fourth set ($p = 0.018$) during the CMB than in the STD bench press (Table 1).

Table 1. Changes in training variables during the standard and cambered barbell bench press sessions. Mean \pm SD (95%CI)

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5
	Repetitions [n]				
Cambered barbell	13 \pm 2 (12 to 14)	10 \pm 2 (9 to 11)	8 \pm 2 (7 to 10)	6 \pm 1 (6 to 7)	6 \pm 1 (5 to 6)
Standard barbell	16 \pm 2 (15 to 17)	14 \pm 3 (13 to 16)	11 \pm 2 (10 to 13)	9 \pm 2 (8 to 10)	7 \pm 2 (6 to 8)
ES	1.46	1.52	1.46	1.84	0.61

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5
	Range of Motion [cm]				
Cambered barbell	42.3 ± 1.2 (41.6 to 43.0)	41.8 ± 1.6 (40.9 to 42.7)	41.6 ± 1.6 (40.6 to 42.5)	40.8 ± 2.0 (39.6 to 42.0)	39.9 ± 2.1 (38.8 to 41.1)
Standard barbell	35.7 ± 2.2 (34.5 to 36.8)	34.4 ± 2.2 (33.2 to 35.5)	33.7 ± 2.2 (32.5 to 34.9)	33.0 ± 2.3 (31.8 to 34.2)	32.8 ± 2.6 (31.4 to 34.2)
ES	3.62	3.73	3.99	3.51	2.92
	Mean Velocity [m/s]				
Cambered barbell	0.56 ± 0.04 (0.48 to 0.62)	0.51 ± 0.05 (0.45 to 0.59)	0.49 ± 0.05 (0.40 to 0.58)	0.45 ± 0.04 (0.38 to 0.51)	0.43 ± 0.06 (0.34 to 0.52)
Standard barbell	0.59 ± 0.07 (0.47 to 0.71)	0.50 ± 0.07 (0.41 to 0.65)	0.51 ± 0.07 (0.43 to 0.67)	0.41 ± 0.08 (0.25 to 0.56)	0.42 ± 0.04 (0.35 to 0.49)
ES	0.51	0.16	0.32	0.61	0.19

3.3. Bench press throw performance

Two-way ANOVA indicated that there was a non-significant interaction ($F = 1.025$; $p < 0.392$; $\eta^2 = 0.073$) but a significant main effect of a set ($F = 12.837$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.921$) and of a condition ($F = 8.015$; $p = 0.014$; $\eta^2 = 0.381$) on barbell peak velocity. The post hoc analysis showed a significantly higher barbell peak velocity after the CMB compared to the STD condition ($p < 0.001$; $ES = 0.55$). Moreover, the barbell peak velocity was significantly lower in post- than in pre- ($p = 0.001$; $ES = 4.39$) and post-48 ($p = 0.004$; $ES = 0.73$) session (Figure 2).

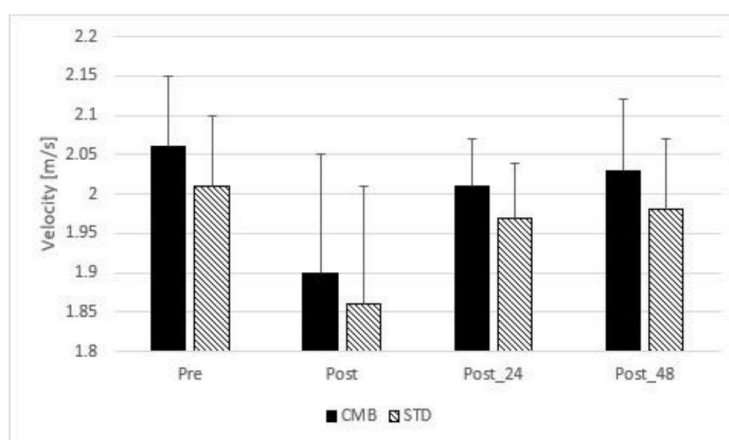


Figure 1. Changes in peak velocity during the bench press throw at pre-, post-, post-24h and post-48h the standard and the cambered barbell bench press session. CMB – cambered barbell bench press; STD – standard barbell bench press

3.4. Creatine kinase activity

Two-way ANOVA indicated that there was a significant interaction ($F = 23.417$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.643$) and a main effect of a set ($F = 151.837$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.921$) and of a condition ($F = 8.015$; $p = 0.014$; $\eta^2 = 0.381$) on the CK activity. The post-hoc analysis showed an overall trend to increase of CK activity from pre- to subsequent time points ($p < 0.001$).

for all; ES = 0.95 to 2.27) during the STD condition. Similarly, during the CMB condition with the exception of the post-48, which was higher in comparison to pre ($p < 0.001$; ES = 1.43) and post ($p = 0.002$; ES = 0.88) but not than post-24 ($p = 1.00$; ES = 0.27) (Figure 2).

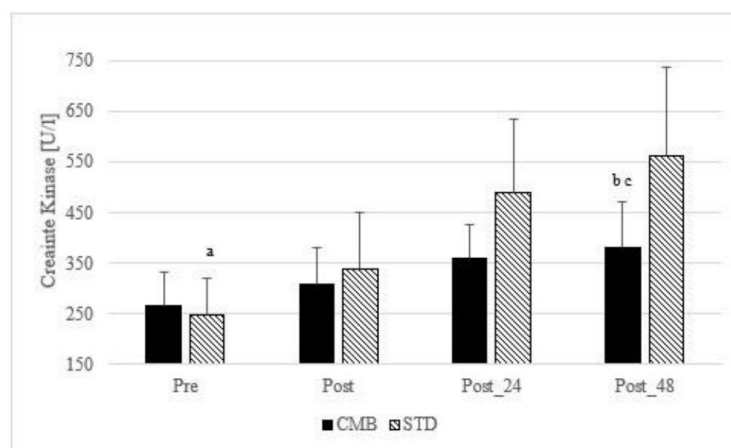


Figure 2. Changes in creatine kinase activity at pre- and post-exercise with the standard and the cambered barbell bench press at different time points. CMB – cambered barbell bench press; STD – standard barbell bench press. a – significantly different in comparison to other time points within the condition; b – significantly different in comparison to pre within the condition; c – significantly different in comparison to post within the condition.

4. Discussion

The main aim of this study was to indicate the differences between the standard and cambered barbells used during the bench press exercise protocol which consisted of 5 sets at 70% of 1RM performed to volitional failure on neuromuscular fatigue assessed by barbell velocity changes during the bench press throw, as well as exercise-induced muscle damage evaluated by creatine kinase (CK) serum activity, evaluated at baseline, as well as 24- and 48-h post exercise. A further objective was to compare the differences in the number of performed repetitions and mean barbell velocities across the exercise protocol between the two conditions. The results indicated that higher peak barbell velocity was reached during the BPT after the CMB when compared to the STD condition. Moreover, interestingly, CK activity showed an overall significant growing trend from baseline to time points following exercise during the STD, whereas the CMB post-48h CK was higher in comparison to pre and post, but not to post-24h. Furthermore, a mean barbell velocity comparison showed a similar velocity decrease across the sets when utilizing both barbells, and the number of performed repetitions decreased similarly across the sets under both conditions. A significantly greater ROM in the corresponding sets during the cambered than the standard barbell bench press was observed.

Despite the long presence of the cambered barbell, and the fact that the bench press exercise is one of the most extensively studied and employed upper-body exercises in training [24], there is limited research exploring its utilization in training [9, 10, 11, 13]. The above-mentioned studies [10, 11] showed a greater ROM during the bench press exercise, as well as higher barbell velocities with the use of CMB. Furthermore, authors [9] found that bench pressing with the CMB at 90% of 1RM elicits increased activation of the anterior deltoid, while the STD resulted in higher activity in the pectoralis major and triceps brachii long head muscles. Nevertheless, to the best of the author's knowledge, the present study is the third to date [12, 13] that presents the effects of a cambered barbell on the number of performed repetitions executed and a barbell velocity comparison in an

exercise protocol that closely simulates a bench press training regimen, composed of 5 sets at 70% of 1RM to volitional failure. Furthermore, to our knowledge, the current study is the first designed to compare the impact of a bench press training session performed with a cambered barbell on muscle damage evaluated by CK activity analyzed from baseline up to 48h post exercise.

The influence of exercise ROM on exercise-induced muscle damage has been a matter of debate in previous research [6, 7]. The authors of research [6] indicated that performing 4 sets of 10 repetitions of unilateral elbow flexion on a Scott bench with a full ROM led to a greater muscle damage when compared with partial ROM, even though, similarly to our study, a smaller ROM allowed higher loads to be lifted. Similar results were demonstrated by Fochi et al. [7], who compared full and partial ROM (180° vs. 60°) of elbow flexion on eccentric exercise-induced muscle damage. However, the results were limited only to direct factors, such as peak torque, maximal voluntary isometric contraction torque, muscle soreness, arm circumference and joint ROM. In contrast to the above-mentioned results, the findings of our study showed a longer muscle damage activity after bench pressing with a typical ROM when compared to extended ROM, but this difference did not reach statistical significance. It is known that training frequency is a key variable affecting adaptations in resistance training [2]. Thus, the current study also aimed to investigate whether using a cambered barbell, which allows extending the ROM during the bench press exercise, would lead to a greater fatigue in BPT and muscle damage assessed by CK serum activity, potentially impacting subsequent training sessions. It turned out that a significantly greater decrease in barbell peak velocity was observed after STD than CMB barbell bench press. Moreover, the barbell peak velocity was significantly lower in post than in pre, and 48h post the bench press exercise protocol, with no significant differences between conditions. The final analysis of CK activity showed an overall growing trend from baseline to subsequent time points of recovery during the STD condition. A similar increase during the CMB condition was observed; however, post-48h CK activity was significantly higher in comparison to pre and post exercise, but not post-24h. These results confirm, in connection with the lack of differences in barbell velocities, that utilizing a CMB barbell in upper-body workout might not require a specific training approach, such as different volume or intensity of exercise. Furthermore, considering the analysis of muscle damage, it can be inferred that with the use of a cambered bar, higher training frequency can be applied. Taking into consideration the benefits of a long-term full ROM training on muscle hypertrophy and strength adaptations [3, 25, 26] compared to partial ROM, the need for research on its influence on muscle damage seems to be justified. Nevertheless, this study examined a group of well-trained individuals (minimum of 5 years of resistance training experience) that experience lower increases in CK activity after exercise when compared with untrained subjects [27, 28]. Thus, the results of this study should be generalized with caution.

Additional analysis showed that when utilizing a cambered barbell during a bench press workout, a significantly lower total number of repetitions was achieved when compared to a standard barbell, which was confirmed by previous results [12, 13]. These results are also in line with Vitor Lima et al. [29] study's outcomes, who proved that the lower range of motion, the higher total number of repetitions performed in the bench press exercise. In consequence, an increase in the number of executed repetitions results in a greater frequency of the eccentric-concentric transition phase, leading to a higher peak torque output and increased mechanical stress, which may vary in magnitude to the elicited fatigue and training stimuli [30]. Mean barbell velocity measures indicated a similar decreased trend across the exercise protocol, with no significant differences between STD and CMB bench press. These findings are inconsistent with a previous report by Martínez-Cava et al. [31] that showed significantly lower barbell velocities during bench pressing with a smaller ROM. However, the above-mentioned studies [29, 31] have been limited only to full vs. partial ROM comparison. By contrast, taking into account that CMB allows

for extended ROM, studies [10, 11] confirmed greater barbell velocities when CMB was used in the bench press exercise when compared with the STD.

Our study is not without limitations. Firstly, we have compared only two different ROMs in the bench press exercise, which might not translate to other exercises. Therefore, since a cambered barbell has been on the market, future research could compare partial with full and extended ROM. Secondly, even though the same relative load was used in this study (70% of STD or CMB 1RM), a different absolute load was lifted during the experiment. Furthermore, the participants performed 5 sets until reaching voluntary failure, which differs from usual resistance training workouts. Thus, future research could compare bench press training sessions with a predetermined number of repetitions and a consistent load. Thirdly, the BPT performance, as well as CK activity, was only measured up to 48h after exercise, despite the fact that fatigue and muscle damage may last longer.

5. Conclusions

Taking into account no significant differences in mean barbell velocity between the barbells, given that a movement velocity is a reliable indicator of neuromuscular fatigue [17, 18], it can be assumed that the use of a cambered barbell does not require longer rest intervals between sets across a training session. In conclusion, the bench press exercise performed the use of CMB, which allows for a greater ROM might not require specific training approach and even higher training frequency might be applied.

References

1. Stone M, Plisk S, Collins D. Training principles: Evaluation of modes and methods of resistance training – A coaching perspective. *Sports Biomech.* 2002;1:79–103. DOI: 10.1080/14763140208522788
2. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Med Sci Sport Exerc.* 2004;36:674–688. DOI: 10.1249/01.mss.0000121945.36635.61
3. Schoenfeld BJ, Grgic J. Effects of range of motion on muscle development during resistance training interventions: A systematic review. *SAGE Open Med.* 2020;8:205031212090155. DOI: 10.1177/2050312120901559
4. Clarkson, PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81:52–569. DOI: <https://doi.org/10.1097/00002060-200211001-00007>
5. Nosaka K, Sakamoto K. Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. *Med Sci Sport Exerc.* 2001;33:22–29. DOI: 10.1097/00005768-200101000-00005
6. Baroni BM, Pompermayer MG, Cini A, Peruzzolo AS, Radaelli R, Brusco CM, et al. Full range of motion induces greater muscle damage than partial range of motion in elbow flexion exercise with free weights. *J Strength Cond Res.* 2017;31(8):2223–2230. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001562
7. Fochi AG, Damas F, Berton R, Alvarez L, Miquelini M, Salvini T, et al. Greater eccentric exercise-induced muscle damage by large versus small range of motion with the same end-point. *Biol Sport.* 2016;33(3). DOI: 10.5604/20831862.1208480
8. Lockie RG, Callaghan SJ, Moreno M, Risso FG, Liu T, Stage A, et al. Relationships between mechanical variables in the traditional and close-grip bench press. *J Human Kinetics.* 2017;60(1): 19–28. DOI: 10.1515/hukin-2017-0109
9. Krzysztofik M, Golas A, Wilk M, Stastny P, Lockie RG, Zajac A. A comparison of muscle activity between the cambered and standard bar during the bench press exercise. *Front Physiol.* 2020;11:875. DOI: 10.3389/fphys.2020.00875
10. Matykiewicz P, Krzysztofik M, Filip-Stachnik A, Wilk M. The bench press exercise performed with increased range of motion allows for greater bar velocities. *J Phys Educ Sport.* 2021;21(4):1737-1743. DOI: <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.04220>
11. Krzysztofik M, Zajac A, Zmijewski P, Wilk M. Can the cambered bar enhance acute performance in the bench press exercise? *Front Physiol.* 2020;11:577400. DOI: 10.3389/fphys.2020.577400
12. Krzysztofik M, Matykiewicz P, Filip-Stachnik A, Huminska-Lisowska K, Rzeszutko-Belzowska A, Wilk M. Range of motion of resistance exercise affects the number of performed repetitions but not a time under tension. *Sci Reports.* 2021;11(1):14847. DOI: 10.1038/s41598-021-94338-7

13. Matykiewicz, P., Krzysztofik, M., Zajac, A. A comparison of basic training variables in the standard and cambered bar bench press performed to volitional failure. *Journal of Human Kinetics*. 2023;87:201-2010. DOI: <https://doi.org/10.5114/jhk/162516>
14. Massey, C.D, Vincent, J., Maneval, M., Johnson, J.T. Influence of range of motion in resistance training in women: Early phase adaptations. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005;19: 409–411. DOI: <https://doi.org/10.1519/R-14643.1>
15. Clark, R.A., Bryant, A.L., and Humphries, B. An examination of strength and concentric work ratios during variable range of motion training. *J Strength Cond Res*. 2008;22: 1716–1719. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318173c529
16. Ramos AG, Haff GG, Jimenez-Reyes P, Castilla AP. Assessment of upper-body ballistic performance through the bench press throw exercise: Which velocity outcome provides the highest reliability? *J Strength Cond Res*. 2018;32(10):2701–2710. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002616
17. de-Oliveira LA, Aragao-Santos JC, Heredia-Elvar JR, Da Silva-Grigoletto ME. Movement velocity as an indicator of mechanical fatigue and resistance exercise intensity in cross modalities. *Res Q Exerc Sport*. 2022;1–7. DOI: 10.1080/02701367.2022.2101603
18. Sanchez-Medina L, Gonzalez-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sport Exerc*. 2011;43(9):1725–1734. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318213f880
19. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull*. 2007;81-82, 209-230. DOI: 10.1093/bmb/ldm014
20. Nosaka K, Newton M, Sacco P. Muscle damage and soreness after endurance exercise of the elbow flexors. *Med Sci Sport Exerc*. 2005;37(2):248–256. DOI: 10.1097/00005768-200206000-00003
21. Brennecke A, Guimaraes TM, Leone R, Cadarci M, Mochizuki L, Simao R, et al. Creatine kinase and lactate dehydrogenase responses after upper-body resistance exercise with different rest intervals. *J Strength Cond Res*. 2009;23(3):757–764. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181d8e6b1
22. Drinkwater E, Galna B, Mckenna M, Hunt P, Pyne D. Validation of an optical encoder during weight resistance movements and analysis of bench press sticking point power during fatigue. *J Strength Cond Resh*. 2007;21(2):510–517. DOI: 10.1519/R-20406.1
23. Wilk M, Golas A, Zmijewski P, Krzysztofik M, Filip A, Coso JD, et al. The effects of the movement tempo on the one-repetition maximum bench press results. *J Human Kinetics*. 2020;72(1):151–159. DOI: 10.2478/hukin-2020-0001
24. Stastny P, Golas A, Blazek D, Maszczyk A, Wilk M, Pietraszewski P, et al. A systematic review of surface electromyography analyses of the bench press movement task. *PLoS ONE*. 2017;12(2):e0171632. DOI: 10.1371/journal.pone.0171632
25. Martinez-Cava A, Hernández-Belmonte A, Courel-Ibanez J, Moran-Navarro R, Gonzalez-Badillo JJ, Pallares JG. Bench press at full range of motion produces greater neuromuscular adaptations than partial executions after prolonged resistance training. *J Strength Cond Res*. 2022;36(1):10–15. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003391
26. Pinto RS, Gomes N, Regis R, Cintia EB, Lee EB, Martim B. Effect of range of motion on muscle strength and thickness effect of range of motion on muscle strength and thickness. *J Strength Cond Res*. 2012;26(8):2140–2145. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31823a3b15
27. Vincent HK, Vincent KR. The effect of training status on the serum creatine kinase response, soreness and muscle function following resistance exercise. *Int J Sports Med*. 1997;18:431–7. DOI: 10.1055/s-2007-972660
28. Fehrenbach E, Niess AM, Schlotz E, Passek F, Dickhuth HH, Northoff H. Transcriptional and translational regulation of heat shock proteins in leukocytes of endurance runners. *J Appl Physiol*. 2000;89:704–10. DOI: 10.1152/jappl.2000.89.2.704
29. Lima FV, Goncalves Guimaraes D, Diniz RCR. Effect of range of motion in the maximum number of repetitions in the bench press exercise. *Brazil J Phys Educ Sport*. 2012;26(4):571–579. DOI: 10.1590/S1807-55092012000400004
30. Chapman D, Newton M, Sacco P, Nosaka K. Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *Int J Sport Med*. 2006;27(8):591–598. DOI: 10.1055/s-2005-865920
31. Martinez-Cava A, Moran-Navarro R, Hernandez-Belmonte A, Courel-Ibanez J, Conesa-Ros E, Gonzalez Badillo JJ, et al. Range of motion and sticking region effects on the bench press load-velocity relationship. *J Sport Sci Med*. 2019;18(4):645–652.

Author Contributions: Study Design, PM, MK and AZ; Data Collection, PM, MK and AZ; Statistical Analysis, PM, MK and AZ; Data Interpretation, PM, MK and AZ; Manuscript Preparation, PM, MK and AZ; Literature Search, PM, MK and AZ; Funding Acquisition, PM, MK and AZ. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Acknowledgements: Not applicable.

Funding: The research obtained no external funding.

Institutional Review Board Statement: All procedures were performed in accordance with the most recent edition of the Declaration of Helsinki, 2013. The study protocol was approved by the Bioethics Committee for Scientific Research of the Academy of Physical Education in Katowice, Poland (KB/14/2022).

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

Data Availability Statement: Data available from the corresponding author on request.

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