

**Akademia Wychowania Fizycznego  
im. Jerzego Kukuczki w Katowicach**

**Mariola Gepfert**

**Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej**

**Wpływ czasu trwania powtórzenia w ćwiczeniach oporowych  
na bezpośredni efekt treningowy**

**Promotor**

**dr hab. Michał Wilk prof. nadzw. AWF Katowice**

**Katowice 2022**

## **Spis treści**

1 WPROWADZENIE.....	3
2 PRZEDMIOT ROZPRAWY .....	8
PRACA NR 1.....	9
PRACA NR 2.....	12
PRACA NR 3.....	15
PRACA NR 4.....	18
PODSUMOWANIE.....	3
PIŚMIENNICTWO.....	5

## 1 WPROWADZENIE

Czas trwania powtórzenia jest sumą czasu trwania koncentrycznej, ekscentrycznej oraz izometrycznej fazy ruchu, określając rzeczywisty czas trwania wysiłku (Schoenfeld i wsp., 2015). Według badań naukowych wartość czasu trwania powtórzenia opisuje się za pomocą sekwencji trzech lub czterech liczb, w której każda liczba odpowiada danej fazie ruchu wyrażonej w sekundach (Schoenfeld i wsp., 2015; Wilk i wsp., 2018b). Na przykład szereg liczb 3/1/2 lub 3/1/2/0 odpowiada 3-sekundowej fazie ekscentrycznej, 1-sekundowej fazie izometrycznej, 2-sekundowej fazie koncentrycznej oraz w drugim przypadku brakiem zatrzymania w fazie przejściowej, jednocześnie rozpoczynając kolejny cykl ruchowy (King, 2002; Wilk i wsp., 2018b; Wilk i wsp., 2020). Zmiana czasu trwania powtórzenia w ćwiczeniu oporowym może wynikać z narastającego zmęczenia lub wzrostu obciążenia zewnętrznego, którego wielkość wywołuje obniżenie prędkości sztangi w koncentrycznej fazie ruchu (Suchomel i wsp., 2019a; 2019b; Wilk i wsp., 2020). Jednak zmiana czasu trwania powtórzenia może być kontrolowana w świadomy, zaplanowany sposób, co w konsekwencji prowadzi do modyfikacji czasu trwania serii oraz całego ćwiczenia (Sakamoto i Sinclair, 2006; Wilk i wsp., 2018b). Czas trwania powtórzenia wyrażony jest przez czas trwania napięcia mięśniowego (Time Under Tension – TUT). Zatem wartość TUT w jednym powtórzeniu (repetition – REP) stanowi sumę trwania wszystkich faz ruchu (np. 1 REP w tempie powtórzenia 4/1/2/0 = 7 s). Natomiast podczas całej serii jest iloczynem liczby powtórzeń oraz czasu trwania powtórzenia (np. 4 REP w tempie 4/0/X/0 = 16 s, gdzie „X” określa maksymalną prędkość). Sugeruje to, że TUT może się różnić w zależności od liczby powtórzeń i czasu trwania powtórzenia, co z kolei może mieć istotny wpływ na objętość wysiłku fizycznego (Bird i wsp., 2005; Gumcio i wsp., 2015; Wilk i wsp., 2018a, 2018b).

Figueiredo i wsp. (2018) sugerują, że objętość wysiłku jest zmienną najbardziej modyfikowalną, która znacząco wpływa na rozwój siły i hipertrofii mięśniowej (Schoenfeld i wsp., 2015; 2016; 2017), przez reakcje adaptacyjne w układzie nerwowo-mięśniowym (Häkkinen i wsp., 1985), reakcje metaboliczne (Ratamess i wsp., 2007) oraz hormonalne (Gotshalk i wsp., 1997; Häkkinen i Pakarinen, 1995; Kraemer i wsp., 1985). Dotychczasowe badania naukowe określają objętość wysiłku fizycznego wyrażoną zwykle na podstawie sumy liczby wykonanych powtórzeń. Jednakże jedno powtórzenie

może trwać od 2 do nawet kilkunastu sekund, czego dotychczasowy sposób określania objętości wysiłku nie bierze pod uwagę (Wilk i wsp., 2018b). Badania potwierdziły, że nie tylko zmiana czasu trwania pełnego powtórzenia wpływa na zmianę maksymalnej liczby powtórzeń oraz wartość TUT w serii, ale również zmiana czasu trwania tylko jednej fazy ruchu (ekscentrycznej, izometrycznej, bądź koncentrycznej) wpływa na wartość objętości wysiłku, a tym samym może mieć istotny wpływ na rozwój hipertrofii mięśniowej, generowanie mocy mięśniowej oraz poziom bezpośrednich powysiłkowych reakcji metabolicznych i hormonalnych (Goto i wsp., 2008; Headley i wsp., 2011; Schoenfeld i wsp., 2015; Tanimoto i Ishii, 2006; Watanabe i wsp., 2013; Westcott i wsp., 2001; Wilk i wsp., 2018b, 2020b). Na przykład w serii liczącej 8 powtórzeń, gdy czas trwania jednego powtórzenia wynosi 4s (2/0/2/0), wartość TUT wynosi 32s. Stosując tę samą liczbę powtórzeń, kiedy czas trwania jednego z nich wynosi 6s (4/0/2/0) spowoduje, że wartość TUT wrasta aż do 48s. Wysiłek z wykorzystaniem dłuższego tempa powtórzenia, a tym samym wyższej wartości TUT może ograniczyć liczbę powtórzeń możliwych do wykonania podczas serii (Sakamoto i Sinclair, 2006; Wilk i wsp., 2018b, 2018b). Spośród wielu badań naukowych w zakresie kształtowania siły i mocy mięśniowej niewiele z nich w procedurze badawczej zastosowało świadomą kontrolę czasu trwania powtórzenia (Hatfield i wsp., 2006; Headley i wsp., 2011; Sakamoto i Sinclair, 2006; Westcott i wsp., 2001; Wilk i wsp., 2018a, 2018b, 2019).

Dłuższy czas trwania powtórzenia (np. 6/0/X/0) może ograniczyć także aktywność nerwowo-mięśniową oraz efekt cyklu rozciągnięcie-skurcz, negatywnie oddziałując na poziom generowanej mocy mięśniowej w fazie koncentrycznej (Wilk i wsp., 2019a), w porównaniu do krótszego czasu trwania powtórzenia (2/0/X/0). Niższe zapotrzebowanie energetyczne w ekscentrycznym skurczu mięśniowym powoduje, że stosunek czasu trwania fazy ekscentrycznej do fazy koncentrycznej może mieć istotny wpływ na maksymalną wartość liczby powtórzeń oraz czasu trwania napięcia mięśniowego w serii (Enoka, 1996; Roig i wsp., 2010). Wykazano, że zmniejszenie liczby powtórzeń podczas stosowania tempa powtórzenia (6/0/4/0) powoduje jednoczesny wzrost wartości TUT, w porównaniu do tempa powtórzenia (2/0/2/0) ( $178.89 \pm 33.69$  s vs.  $124.65 \pm 33.66$  s; kolejno) (Wilk i wsp., 2018b). Tym samym niższa liczba powtórzeń niekoniecznie oznacza krótszy czas trwania wysiłku, a wręcz przeciwnie pozwala na realizację wysiłku przez istotnie dłuższy czas. Wydłużenie czasu trwania napięcia mięśniowego może prowadzić do wyższych powysiłkowych reakcji

fizjologicznych (Burd i wsp., 2012; Koegh i wsp., 1999; Wilk i wsp., 2018a, 2018b, 2019b) oraz większego poziomu obserwowanych uszkodzeń mięśniowych (Schoenfeld i wsp., 2015). Wyższy poziom uszkodzeń mięśniowych wywołanych wysiłkiem fizycznym zwiększa aktywację komórek satelitarnych mających istotny udział w procesie regeneracji oraz hipertrofii komórek mięśniowych (Fridén i wsp., 1983; Stauber i wsp., 1988). Ponadto, dłuższa wartość TUT w serii wywołana zastosowaniem dłuższego czasu trwania powtórzenia (np. 6/0/6/0) wpływa na wyższą syntezę białek mitochondrialnych, sarkoplazmatycznych i miofibrilarnych (Burd i wsp., 2012) oraz zwiększa poziom stresu metabolicznego, przyczyniając się do zwiększonej odpowiedzi hipertroficzej (Fridén i wsp., 1983; Stauber i wsp., 1988; Hutchins, 1992; Burd i wsp., 2012), w porównaniu z krótszą wartością TUT w serii i w jednostce treningowej. Wartości TUT, która wpływa na poziom objętości treningowej może być ważnym czynnikiem stymulującym bezpośrednio powysiłkowe reakcje metaboliczne i hormonalne.

Do kluczowych hormonów wpływających na zmiany adaptacyjne ukierunkowane na hipertrofię i siłę mięśniową należą: testosteron, hormon wzrostu (GH), kortyzol oraz insulinopodobny czynnik wzrostu (IGF-1) (Wilk i wsp., 2020). Objętość oraz intensywność wysiłku powinny być właściwie zaplanowane, aby ograniczać poziom powysiłkowego stężenia kortyzolu, jednocześnie uzyskując powysiłkowy wzrost stężenia testosteronu, GH i IGF-1 (Wilk i wsp., 2018a, 2021). Dotychczasowe badania naukowe wskazują, że na wyższy powysiłkowy poziom mleczanu oraz GH wpływa czas trwania przerwy wypoczynkowej pomiędzy seriami (Bottaro i wsp., 2009; Buresh i wsp., 2009; Rahimi i wsp., 2010), objętość wysiłku (Gotshalk i wsp., 1997; Leite i wsp., 2011), intensywność wysiłku (Goto i wsp., 2008; Raastad i wsp., 2000) oraz czas trwania powtórzenia (Goto i wsp., 2009). Uchida i wsp. (2009) oceniali poziom reakcji metabolicznych i hormonalnych po wykonaniu wyciskania sztangi leżąc w czterech próżnych protokołach badawczych (4 serie 50% 1-RM, 5 serii 75% 1-RM, 10 serii 90% 1-RM oraz 8 serii 110% 1-RM), w których każdy protokół został zrównany z objętością wysiłku (liczba powtórzeń x liczba serii x wartość obciążenia zewnętrznego). Autorzy wykazali niewielkie powysiłkowe różnice zmiany stężenia testosteronu i kortyzolu pomiędzy protokołami ( $p > 0.005$ ), jednak najwyższy poziom kortyzolu zauważono w protokole, w którym zastosowano 5 serii z 75% 1-RM (Uchida i wsp., 2009). Headley i wsp. (2011) analizowali wpływ tempa powtórzenia 2/0/2/0 oraz 4/0/2/0 na reakcje metaboliczne i hormonalne w wyciskaniu sztangi leżąc wśród mężczyzn

zaawansowanych w treningu oporowym. Autorzy wykazali wzrost w powysiłkowym poziomie IGF-1 (tempo powtórzenia 2/0/2/0 przed treningiem:  $277.4 \pm 21.8$ , po treningu:  $308.1 \pm 22.9$ ; tempo powtórzenia 4/0/2/0 przed treningiem:  $277.2 \pm 17.6$ , po treningu:  $284.8 \pm 21.2$  ng/ml), natomiast nie zauważono różnic w powysiłkowym poziomie mleczanu, testosteronu, GH oraz kortyzolu między protokołami badawczymi. w przeciwieństwie do tego Goto i wsp. (2008) wykazali wyższe zmiany stężenia testosteronu, hormonu wzrostu oraz kortyzolu po zastosowaniu treningu oporowego z dłuższym czasem trwania powtórzenia (3/0/3/0), w przeciwieństwie do krótkiego czasu trwania powtórzenia (1/0/1/0). Wilk i wsp. (2018a) wykazali wyższy powysiłkowy poziom mleczanu, kinazy kreatynowej oraz testosteronu po protokole, w którym badani wykonali pięć serii z maksymalną liczbą powtórzeń wyciskania sztangi leżąc z obciążeniem 70% 1-RM w tempie 6/0/2/0, w przeciwieństwie do tempa powtórzenia 2/0/2/0. Badanie to sugeruje, że celowe wydłużenie czasu trwania fazy ekscentrycznej w ćwiczeniu oporowym zmniejsza liczbę powtórzeń możliwą do wykonania, ale może wywołać zwiększoną powysiłkową odpowiedź hormonalną. Co więcej Wilk i wsp. (2021) udowodnili, że dłuższy czas trwania powtórzenia (6/0/2/0 vs. 2/0/2/0) podczas przysiadu ze sztangą powodował wzrost powysiłkowego poziomu mleczanu, kinazy kreatynowej oraz testosteronu. Autorzy sugerują, że wolniejsze tempo powtórzenia (6/0/2/0) może zmniejszyć liczbę powtórzeń możliwą do wykonania, ale poprzez wydłużenie całkowitej wartości TUT zwiększa powysiłkowe reakcje hormonalne w treningu oporowym (Wilk i wsp., 2021). Podobnie Goto i wsp. (2009) wykazali wyższy poziom testosteronu oraz GH, kiedy czas trwania powtórzenia został wydłużony (1/0/1/0 vs. 3/0/3/0 vs. 1/0/5/0 vs. 5/0/1/0). Ponadto autorzy dowiedli, że ćwiczenia o niskiej intensywności z dłuższym czasem trwania ekscentrycznej fazy ruchu (5s) powodowały mniejsze zmiany stężenia mleczanu oraz kortyzolu, w porównaniu z ćwiczeniami o niskiej intensywności z dłuższym czasem trwania fazy koncentrycznej (5s) (Goto i wsp., 2009). Potwierdził to Calixto i wsp. (2014), którzy wykazali wyższe powysiłkowe stężenie mleczanu oraz GH w grupie, która wykonywała dłuższą fazę ekscentryczną (3s vs. 0.5s). Natomiast Durand i wsp. (2003) porównali poziom powysiłkowych wartości hormonalnych między koncentryczną, a ekscentryczną pracą mięśni przy stałym obciążeniu zewnętrznym (80% 1-RM). Autorzy wykazali, że koncentryczne działanie mięśni zwiększa stężenie hormonu wzrostu w znacznie większym stopniu, niż ćwiczenia w pracy ekscentrycznej, natomiast wyższy poziom GH wynikał raczej z intensywności wysiłku, a nie z pracy mięśnia (Durand i wsp., 2003).

Tempo powtórzenia jako zmienna treningowa, stosowane jest najczęściej w niekontrolowany sposób. Brakuje badań analizujących objętość wysiłku w treningu oporowym wykorzystując celowy, świadomy czas trwania powtórzenia w każdej fazie ruchu. Ponadto zmiana czasu trwania powtórzenia w treningu oporowym może wpłynąć na wartość generowanej mocy mięśniowej, siłę maksymalną czy powysiłkową odpowiedź metaboliczną i hormonalną. W przedstawionym cyklu prac głównym problemem badawczym jest ocena wpływu i wykorzystania różnych wartości czasu trwania powtórzenia na bezpośredni efekt treningowy. Dokonano analizy i oceny wpływu zmiennego czasu trwania powtórzenia na wartości objętości wysiłku, maksymalnej siły mięśniowej, generowanej mocy mięśniowej oraz powysiłkowych reakcji hormonalnych i metabolicznych. Prace te zostały przedstawione pod wspólnym tematem:

**„Wpływ czasu trwania powtórzenia w ćwiczeniach oporowych na bezpośredni efekt treningowy”**. Celem przedstawionego cyklu czterech prac jest analiza następujących zagadnień:

- 1 – porównanie różnej długości kontrolowanego czasu trwania powtórzenia w wyciskaniu sztangi leżąc na objętość wysiłku ocenianej na podstawie wartości TUT i liczby powtórzeń między osobami początkującymi, a zaawansowanymi,
- 2 – analiza i ocena wpływu zmiany czasu trwania fazy ekscentrycznej ruchu przy zastosowaniu różnych szerokości chwytu sztangi w wyciskaniu leżąc na poziom mocy mięśniowej i prędkości sztangi w fazie koncentrycznej,
- 3 – analiza i ocena wpływu czasu trwania fazy ekscentrycznej ruchu na wynik testu siły maksymalnej podczas wyciskania sztangi leżąc,
- 4 – analiza i ocena wpływu czasu trwania powtórzenia na poziom powysiłkowych reakcji endokrynych.

## 2 PRZEDMIOT ROZPRAWY

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest zbiór publikacji przedstawiony jako jednotematyczny cykl czterech prac, opublikowanych w czasopismach, z których trzy posiadają wskaźnik Impact Factor, zgłębiających wpływ czasu trwania powtórzenia w ćwiczeniu oporowym na wartość objętości treningowej. Łączna wartość punktowa opublikowanych prac wynosi: **IF = 7,196; MNSiW = 260 pkt KBN.**

Prace zostały przedstawione pod wspólnym tematem: „Wpływ czasu trwania powtórzenia w ćwiczeniach oporowych na bezpośredni efekt treningowy”

Wykaz prac opublikowanych:

1. Adam Maszczyk, Michał Wilk, Michał Krzysztofik, **Mariola Gepfert**, Adam Zajac, Miroslav Petr, Petr Stastny. *The effects of resistance training experience on movement characteristics in the bench press exercise.* Biology of Sport Vol. 37, nr 1 (2020), s. 79-83.  
**[IF = 2.00; MNiSW = 70]**
2. **Mariola Gepfert**, Aleksandra Filip, Maciej Kostrzewa, Paulina Królikowska, Grzegorz Hajduk, Robert Trybulski, Michał Krzysztofik. *Analysis of power output and bar velocity during various techniques of the bench press among women.* Journal of Human Sport and Exercise Vol. 16, nr 1 (2021), s. 1-9.  
**[MNiSW = 20]**
3. Michał Wilk, **Mariola Gepfert**, Michał Krzysztofik, Aleksandra Mostowik, Aleksandra Filip, Grzegorz Hajduk, Adam Zajac. *Impact of duration of eccentric movement in the one-repetition maximum test result in the bench press among women.* Journal of Sports Science and Medicine Vol. 19 (2020), s. 317-322.  
**[IF = 1.806; MNiSW = 100]**
4. **Mariola Gepfert**, Robert Trybulski, Petr Stastny, Michał Wilk. *Fast eccentric movement tempo elicits higher physiological responses than medium eccentric tempo in ice-hockey players.* International Journal of Environmental Research and Public Health Vol. 18 (2021), s. 1-14.  
**[IF = 3.390; MNiSW = 70]**



## PRACA NR 1

### **„The effects of resistance training experience on movement characteristics in the bench press exercise”**

Pierwszym badaniem dotyczącym oceny wpływu tempa powtórzenia na objętość wysiłku w treningu oporowym była praca: „*The effects of resistance training experience on movement characteristics in the bench press exercise*” opublikowana w czasopiśmie „*Biology of Sport*”. Głównym celem badania było ustalenie czy poziom doświadczenia w treningu oporowym ma istotny wpływ na różnice w objętości wysiłku określanej na podstawie liczby powtórzeń oraz wartości TUT stosując określony, kontrolowany czas trwania powtórzenia. w badaniu uczestniczyło 68 mężczyzn, których podzielono na grupę początkującą i zaawansowaną. Grupa początkująca składała się z 32 osób (18-32 lat; masa ciała:  $69.9 \pm 5.7$  kg; 1-RM:  $67.3 \pm 6.9$  kg), została przeszkolona w zakresie techniki wyciskania sztangi leżąc oraz wykonała trzy jednostki treningowe w ciągu dwóch tygodni, przed jednostką eksperymentalną. do grupy zaawansowanej zakwalifikowano 36 osób (20-38 lat; masa ciała:  $81.2 \pm 6.7$  kg; 1-RM:  $112.3 \pm 12.5$  kg), z co najmniej dwuletnim doświadczeniem w treningu oporowym ( $3.7 \pm 0.92$ ). Sesja eksperymentalna zakładała wykonanie 5 serii wyciskania sztangi leżąc, stosując 70% 1-RM wartości obciążenia zewnętrznego oraz 3-minutowe przerwy wypoczynkowe między seriami. Procedura badawcza zakładała porównanie kontrolowanego, zmiennego czasu trwania powtórzenia w fazie ekscentrycznej i koncentrycznej ruchu: 2/0/2/0, 5/0/3/0 oraz 6/0/4/0. Hipoteza badawcza zakładała, że zarówno czas trwania powtórzenia, jak i doświadczenie w treningu oporowym znacząco wpływa na maksymalną liczbę powtórzeń oraz wartość TUT. Do oceny objętości wysiłku zastosowano sumę liczby powtórzeń oraz TUT zarówno w serii, jak i w całej jednostce eksperymentalnej.

Wyniki badania wykazały, że występują różnice istotne statystycznie w maksymalnej wartości TUT w wyciskaniu sztangi leżąc pomiędzy grupą początkującą, a zaawansowaną stosując różne tempo powtórzenia. Istotne różnice pomiędzy grupą początkującą i zaawansowaną wykazano podczas długiego czasu trwania powtórzenia (6/0/4/0) w pierwszej ( $p = 0.01$ ) i w drugiej serii ( $p = 0.04$ ) oraz podczas krótkiego czasu trwania powtórzenia (2/0/2/0) w piątej serii ( $p = 0.01$ ). Ponadto potwierdzono znaczące

różnice dla sumy TUT między grupą początkującą, a zaawansowaną w procedurze zawierającej długi czas trwania powtórzenia 6/0/4/0 ( $p = 0.04$ ). Co więcej badania wykazały istotne różnice również w liczbie REP między grupami dla długiego czasu trwania powtórzenia (6/0/4/0) w czwartej ( $p = 0.04$ ) i piątej serii ( $p = 0.04$ ) oraz dla krótkiego czasu trwania powtórzenia (2/0/2/0) w piątej serii ćwiczenia ( $p = 0.01$ ).

Badania dowiodły, że zarówno poziom doświadczenia w treningu oporowym, ale przede wszystkim czas trwania powtórzenia, ma znaczący wpływ na objętość wysiłku zarówno pod względem wartości TUT, jak i liczby powtórzeń. Należy zauważyć, że istotne różnice między grupami w sumie TUT w 5 seriach, zauważono jedynie przy długim czasie trwania powtórzenia (6/0/4/0). W niniejszym badaniu czas trwania wolnego powtórzenia (6/0/4/0) wynosił aż 10s, natomiast odmowa mięśniowa mogła wystąpić w dowolnym momencie ćwiczenia np. przez brak umiejętności wykonania pełnego zakresu ruchu, utrzymania prawidłowego tempa ruchu lub prawidłowej techniki, co można było odnotować jedynie na podstawie wartości TUT, a nie liczby powtórzeń. Dodatkowo badania wykazały istotne różnice w wartości sumy TUT między grupą początkującą, a zaawansowaną w treningu oporowym. Co ciekawe, grupa zaawansowana uzyskała niższą wartość sumy TUT w 5 seriach ( $178 \text{ s} \pm 33 \text{ s}$ ), w porównaniu z grupą początkującą ( $203.8 \text{ s} \pm 33.9 \text{ s}$ ). W przeciwieństwie do wartości TUT, nie wykazano istotnej różnicy w wartości całkowitej liczby powtórzeń w pięciu seriach między grupami. Zatem objętość wysiłku może być uwarunkowana przez czas trwania powtórzenia w ćwiczeniu oporowym. Wyniki przeprowadzonych badań są zgodne z wytycznymi Wilka i wsp. (2018b), potwierdzając tym samym przydatność określania objętości wysiłku za pomocą wartości TUT, a nie tylko liczby powtórzeń. Czas trwania jednego powtórzenia zależy od czasu poszczególnych faz ruchu. W przeciwieństwie do wartości liczby powtórzeń, TUT precyzyjniej określa czas wykonanej pracy szczególnie wtedy, gdy stosowany jest dłuższy czas trwania powtórzenia. W przypadku analizy objętości wysiłku na podstawie sumy powtórzeń, brak wykonania pełnego cyklu ruchowego stosując dłuższe tempo powtórzenia (6/0/4/0), nawet jeśli osoba badana wykonała 8-9s pracy, skutkowało brakiem odnotowanego powtórzenia, co ogranicza wiarygodność takich pomiarów. Zasadność oceny objętości wysiłku na podstawie wartości TUT w serii i w całym ćwiczeniu dotyczy dowolnej długości trwania powtórzenia. Co ważniejsze, w badaniu nie stwierdzono istotnych różnic w wartości TUT w krótkim (2/0/2/0) oraz w średnim (5/0/3/0) czasie trwania powtórzenia, co może

sugerować, że tylko ćwiczenie z wykorzystaniem ekstremalnie długiego czasu trwania powtórzenia różnicuje objętość wysiłku, w zależności od poziomu doświadczenia w treningu oporowym. Ponadto wartość liczby powtórzeń nie wykazała żadnych istotnych różnic zarówno w pojedynczej serii, jak i w całym ćwiczeniu, niezależnie od analizowanego czasu trwania powtórzenia. Wyniki badań wartości TUT, są zgodne z wcześniejszymi doniesieniami, które wskazywały, że tempo powtórzenia w ćwiczeniu oporowym wpływa na objętość wysiłku (Hatfield i wsp., 2006; Hutchins, 1993; Westcott i wsp, 2001; Wilk i wsp., 2018a, 2018b; 2019b). Co więcej, wyniki wykazują zgodność z badaniami Wilka i wsp. (2018b, 2019b), którzy wskazali, że wartość TUT jest dokładniejszym wyznacznikiem objętości wysiłku, w porównaniu z wartością liczby powtórzeń. Jednak, aby lepiej zrozumieć wpływ czasu trwania powtórzenia w ćwiczeniu oporowym należy rozszerzyć procedurę badań o dodatkowe wartości ze szczególnym uwzględnieniem generowanej mocy mięśniowej.

## PRACA NR 2

### **„Analysis of power output and bar velocity during various techniques of the bench press among women”**

W drugim badaniu analizie poddano wpływ wyciskania sztangi leżąc z szerokim (Wide Grip Bench Press – WGBP) i wąskim chwytem sztangi (Close Grip Bench Press – CGBP) na poziom mocy mięśniowej i prędkości sztangi w ruchu koncentrycznym przy zmiennym czasie trwania fazy ekscentrycznej (6/0/X/0 vs. 2/0/X/0). Ocena wpływu zmiany czasu trwania fazy ekscentrycznej oraz rodzaj chwytu sztangi stanowiły główny problem badawczy pracy „*Analysis of power output and bar velocity during various techniques of the bench press among women*” opublikowanej w czasopiśmie „*Journal of Human Sport and Exercise*”. W badaniu wzięło udział 20 kobiet w wieku  $26.6 \pm 2.6$  lat, masie ciała  $54.4 \pm 7.5$  kg, doświadczeniem w treningu oporowym  $2.5 \pm 0.94$  lat, 1-RM CGBP:  $55.2 \pm 7.5$  kg, 1-RM WGBP:  $52.9 \pm 6.5$  kg. Procedura badawcza obejmowała cztery protokoły testowe (WGBP 2/0/X/0, WGBP 6/0/X/0, CGBP 2/0/X/0, CGBP 6/0/X/0). WGBP obejmował dystans między dłońmi 81cm, który stanowił ponad 200% odległości najbardziej wysuniętych na zewnątrz punktów „acromion” - wyrostków szczytu barkowego (Biacromial Distance - BAD) dla każdej uczestniczki badania, natomiast CGBP charakteryzował odległość 95% BAD. Uczestniczki badania wykonywały jedną serię (trzy powtórzenia) wyciskania sztangi leżąc, stosując obciążenie zewnętrzne o wartości 70% 1-RM. Czas trwania fazy ekscentrycznej wynosił 2s lub 6s, natomiast fazę koncentryczną wykonywano z maksymalną prędkością („X”). Szczegółowa analiza dotyczyła zmian prędkości sztangi oraz mocy mięśniowej w ruchu koncentrycznym, przy zastosowaniu zmiennego czasu trwania fazy ekscentrycznej i zmiennej szerokości chwytu sztangi. Do oceny prędkości sztangi oraz generowanej mocy mięśniowej wykorzystano system „Tendo Power Analyzer” (Tendo Sport Machines, Trencin, Slovakia). Hipoteza badawcza zakładała, że zarówno zmiana czasu trwania fazy ekscentrycznej, jak i zmiana szerokości chwytu sztangi znacząco wpływa na poziom generowanej mocy mięśniowej i prędkość sztangi.

Wyniki badań wykazały, że zmiana czasu trwania fazy ekscentrycznej ruchu istotnie wpływa na prędkość sztangi i moc mięśniową podczas wyciskania sztangi leżąc.

Poziom generowanej mocy mięśniowej i prędkość sztangi były istotnie wyższe przy zastosowaniu krótszego czasu trwania fazy ekscentrycznej (2/0/X/0), w porównaniu z dłuższym (6/0/X/0) czasem trwania tej fazy. Zaobserwowane istotne różnice między analizowanymi zmiennymi dotyczyły średnich wartości prędkości sztangi pomiędzy WGBP 6/0/X/0 i WGBP 2/0/X/0 ( $p < 0.01$ ) i szczytowej prędkości sztangi ( $p < 0.01$ ), pomiędzy WGBP 6/0/X/0 i CGBP 2/0/X/0 dla szczytowej mocy mięśniowej ( $p < 0.05$ ), średniej prędkości sztangi ( $p < 0.01$ ) i szczytowej prędkości sztangi ( $p < 0.05$ ) oraz między CGBP 6/0/X/0 i CGBP 2/0/X/0 dla średniej prędkości sztangi ( $p < 0.05$ ). Ponadto nie stwierdzono istotnych różnic między szerokim, a wąskim chwytem sztangi w wartości mocy mięśniowej i prędkości sztangi podczas wyciskania sztangi leżąc wykorzystując stały, kontrolowany czas trwania fazy ekscentrycznej ruchu.

Wyniki niniejszego badania są zgodne z ustaleniami Wilka i wsp. (2019a), którzy analizowali wpływ czasu trwania fazy ekscentrycznej na poziom generowanej mocy mięśniowej w fazie koncentrycznej w grupie mężczyzn. Autorzy wykazali, że 6-cio sekundowy czas trwania fazy ekscentrycznej miał niekorzystny wpływ na wartość mocy mięśniowej oraz prędkość sztangi w fazie koncentrycznej zarówno w wartościach średnich, jak i maksymalnych, w przeciwieństwie do 2s fazy ekscentrycznej. Wyniki przeprowadzonych badań oraz Wilka i wsp. (2019a) wskazują, że podczas treningu oporowego, którego celem jest kształtowanie mocy mięśniowej, należy zwrócić szczególną uwagę nie tylko na pracę wykonywaną podczas fazy koncentrycznej, ale także na czas trwania ekscentrycznej fazy ruchu. Z przeprowadzonych badań wynika, że rodzaj chwytu sztangi nie był czynnikiem istotnie wpływającym na poziom generowanej mocy mięśniowej i prędkości sztangi w grupie kobiet, co jest sprzeczne ze wcześniejszymi doniesieniami (Lockie i wsp., 2017; Saeterbakken i wsp., 2017). Lockie i wsp. (2017) wykazali, że wykorzystanie CGBP (95% BAD) skutkowało niższą wartością maksymalnego obciążenia zewnętrznego w teście 1-RM, w porównaniu do tradycyjnego chwytu sztangi (TBP = 165-200% BAD), a preferowany chwyt sztangi wśród osób badanych wynosił ok. 175% BAD. Jednak szczytowy poziom generowanej mocy mięśniowej oraz prędkości sztangi odnotowano podczas CGBP, w przeciwieństwie do TBP (Lockie i wsp., 2018). Należy zaznaczyć, że prezentowany projekt badawczy dotyczy wyłącznie grupy kobiet, w przeciwieństwie do badań Lockiego i wsp. (2017), w których uwzględniono grupę mieszaną (21 mężczyzn i 6 kobiet), co mogło mieć znaczący wpływ na wyniki badań.

Głównym czynnikiem wpływającym na różnice prędkości sztangi i generowanej mocy mięśniowej był czas trwania fazy ekscentrycznej ruchu. Wcześniejsze badania wykazały obniżenie wartości generowanej mocy mięśniowej i prędkości sztangi w ruchu koncentrycznym (Wilk i wsp., 2019a), gdy wykorzystywano wolniejszą fazę ekscentryczną (6/0/X/0), co jest zgodne z prezentowanymi badaniami. Podczas wolnego tempa powtórzenia długość fazy ekscentrycznej trwała trzykrotnie dłużej, w przeciwieństwie do krótkiego czasu trwania powtórzenia (6s vs. 2s). Dłuższy czas trwania wysiłku może prowadzić do większego zmęczenia mięśniowego, a w konsekwencji do osiągania gorszych wyników mocy mięśniowej i prędkości sztangi. Trzykrotnie dłuższy czas trwania powtórzenia, w porównaniu z krótkim czasem trwania powtórzenia wskazuje na wyższą wartość TUT (Wilk i wsp. 2018b, 2019a), a tym samym na wyższą objętość wysiłku. Pomimo tej samej liczby powtórzeń, czas trwania jednego powtórzenia, czyli tempo powtórzenia znacząco się różnił. Fakt, że długość trwania fazy ekscentrycznej wpływa na wartość TUT, REP, moc mięśniową oraz prędkość sztangi sugeruje, że czas trwania powtórzenia w treningu oporowym jest zmienną, którą należy brać pod uwagę podczas programowania i realizowania ćwiczeń siłowych. Wyniki badań były podstawą do realizacji kolejnych projektów badawczych, w których ocenie poddano wpływ czasu trwania powtórzenia na wartość wyniku uzyskanego w teście 1-RM.

## PRACA NR 3

### **„Impact of Duration of Eccentric Movement in the One-Repetition Maximum Test Result in the Bench Press among Women”**

Kolejne badanie dotyczyło oceny wpływu czasu trwania ekscentrycznej fazy ruchu na wynik testu 1-RM podczas wyciskania sztangi leżąc zawarte w pracy: „*Impact of Duration of Eccentric Movement in the One-Repetition Maximum Test Result in the Bench Press among Women*” opublikowane w czasopiśmie „*Journal of Sports Science and Medicine*”. Głównym celem badania było ustalenie czy długość trwania ekscentrycznej fazy ruchu wpływa na wynik testu 1-RM podczas wyciskania sztangi leżąc. w badaniu wzięło udział 21 kobiet ( $23.4 \pm 2.2$  lat; masa ciała:  $52.3 \pm 6.7$  kg), z minimalnym rocznym doświadczeniem w treningu oporowym ( $2.3 \pm 1.47$  lat). Procedura badawcza została podzielona na trzy protokoły, w której uczestniczki wykonywały test 1-RM podczas wyciskania sztangi leżąc z określonym czasem trwania fazy ekscentrycznej ruchu (2/0/X/0; 4/0/X/0; 6/0/X/0), natomiast fazę koncentryczną wykonywano z maksymalną prędkością („X”). Przerwa między seriami wynosiła 5 minut, natomiast wszystkie wartości 1-RM uzyskano w czterech próbach. Hipoteza badawcza zakładała, że czas trwania ekscentrycznej fazy ruchu wpływa na wynik testu 1-RM w wyciskaniu sztangi leżąc wśród kobiet.

Głównym wnioskiem przeprowadzonych badań był fakt, że dłuższy czas trwania ekscentrycznej fazy ruchu skutkowało obniżeniem wartości maksymalnego obciążenia zewnętrznego w teście 1-RM, co potwierdziło hipotezę badawczą. Wyniki testu 1-RM, w którym zastosowano długą fazę ekscentryczną (6/0/X/0) był istotnie niższy, w porównaniu ze średnią (4/0/X/0;  $p < 0.01$ ) i krótką (2/0/X/0;  $p < 0.01$ ) długością trwania fazy ekscentrycznej ruchu. Ponadto wyniki testu 1-RM w tempie 4/0/X/0 były również istotnie niższe, w porównaniu do tempa 2/0/X/0 ( $p < 0.01$ ).

Wyniki przeprowadzonych badań są zgodne z badaniami Headley i wsp. (2011), w których uczestnicy osiągnęli o 3.7% wyższe wyniki podczas testu 1-RM stosując czas trwania powtórzenia 2/0/2/0, w porównaniu z tempem powtórzenia 4/0/2/0. Można więc założyć, że dodatkowe wydłużenie fazy ekscentrycznej, np. do 10s, jak w badaniu Hatfielda i wsp. (2006) spowodowałyby dodatkowy spadek wartości wyników testu 1-

RM. Schoenfeld i wsp. (2015) zasugerowali, że dłuższy czas trwania wysiłku, szczególnie w fazie ekscentrycznej ruchu, może prowadzić do większego zmęczenia mięśniowego, a w konsekwencji do spadku maksymalnego obciążenia zewnętrznego w teście 1-RM. W przeciwieństwie do krótkiego czasu trwania fazy ekscentrycznej ruchu (2/0/X/0), podczas wykonania powtórzenia trwającego 6s w fazie ekscentrycznej ruchu wskazuje na dłuższy TUT, które znacząco zmniejsza wartość obciążenia zewnętrznego osiągniętego w teście 1-RM (Suchomel i wsp., 2019a, 2019b). Zatem wyższy wynik testu 1-RM podczas krótkiej fazy ekscentrycznej ruchu (2/0/X/0), w porównaniu do długiej fazy ekscentrycznej ruchu, jest bezpośrednio związany z wartością TUT. Pomimo znaczących różnic w wynikach testu 1-RM między czasem ruchu fazy ekscentrycznej: 2/0/X/0, 4/0/X/0, 6/0/X/0, rzeczywista różnica (kg) była raczej niewielka i sięgała od 0 do 2.5 kg między 4/0/X/0, a 6/0/X/0 oraz od 2.5 do 5 kg między 2/0/X/0 i 6/0/X/0. O ile taką różnicę w wynikach testu 1-RM można uznać za niewielką w warunkach rzeczywistych, może mieć ona ogromne znaczenie w treningu oporowym oraz w rywalizacji sportowej dyscyplin, w których sukces zależy od siły maksymalnej (Kraemer i Ratamess, 2004; Suchomel i wsp., 2016). Nawet jeśli dłuższy czas trwania fazy ekscentrycznej ruchu powoduje nieznaczny spadek wyników testu 1-RM, korzyści wynikające ze zwiększonego TUT mogą oddziaływać na bezpośrednie i długofalowe reakcje adaptacyjne w treningu oporowym. Bird i wsp. (2005) oraz Burd i wsp. (2012) zasugerowali, że dłuższy TUT może być korzystny w rozwoju hipertrofii mięśniowej, zwłaszcza przy wolniejszej ekscentrycznej fazie ruchu (Schoenfeld, 2010). Ponadto wyższa wartość TUT może prowadzić do większego uszkodzenia mięśniowego (Schoenfeld, 2010) stymulując rozwój hipertrofii mięśniowej (Burd i wsp., 2012).

Wyniki uzyskane w badaniu mają istotne znaczenie w ocenie poziomu siły mięśniowej. Test 1-RM ma szerokie zastosowanie w ocenie siły mięśniowej w warunkach nielaboratoryjnych (Levinger i wsp., 2009). Metoda wyznaczania 1-RM polega na zastosowaniu maksymalnego obciążenia zewnętrznego pojedynczego skurczu mięśnia (ekscentrycznego i koncentrycznego) (Fry, 2004). Dotychczasowe badania naukowe nie uwzględniały w procedurze testowania czasu trwania fazy ekscentrycznej ruchu, co skutkowało niewiarygodnym pomiarem. Doniesienia naukowe opisujące wpływ tempa powtórzenia na bezpośrednie i długofalowe zmiany adaptacyjne w treningu oporowym wykorzystują określone wartości % 1-RM (campos i wsp., 2002; Mike i wsp., 2017; Wilk i wsp., 2018b), zatem wyniki niniejszego badania mają



znaczenie nie tylko ze względu na wynik testu 1-RM, ale także na procedurę badań naukowych. Jeśli wartości % 1-RM zostaną obliczone na podstawie testu 1-RM z wolicjonalnym czasem ruchu, wartości te nie będą wiarygodne podczas treningu ze zmiennym, a szczególnie z wolnym czasem trwania powtórzenia. Dlatego procedura testu 1-RM powinna zawierać informacje o czasie trwania poszczególnej fazy ruchu wykorzystanej podczas próby. Ponadto, gdy w protokołach testowych wykorzystywane są różne długości faz ruchu, test 1-RM powinien być wykonywany niezależnie dla każdego tempa powtórzenia.

Wyniki badań skłoniły do realizacji kolejnego protokołu badawczego, w którym ocenie poddano wpływ czasu trwania powtórzenia w ćwiczeniach oporowych na powysiłkowy poziom reakcji endokrynych.

## PRACA NR 4

### **„Fast Eccentric Movement Tempo Elicits Higher Physiological Responses than Medium Eccentric Tempo in Ice-Hockey Players”**

W ostatnim badaniu analizie poddano wpływ zmiany czasu trwania powtórzenia na powysiłkowe reakcje hormonalne wśród profesjonalnych zawodników hokeja na lodzie. Ocena powysiłkowych zmian stężenia wybranych hormonów w odniesieniu do zmiennego tempa powtórzenia stanowiła główny problem badawczy artykułu „*Fast Eccentric Movement Tempo Elicits Higher Physiological Responses than Medium Eccentric Tempo in Ice-Hockey Players*” opublikowanego w czasopiśmie „*International Journal of Environmental Research and Public Health*”. W badaniu wzięło udział 14 zawodników hokeja w wieku  $26.2 \pm 4.2$  lat, o masie ciała  $86.4 \pm 10.2$  kg, doświadczeniem w treningu oporowym  $8.2 \pm 4.2$  lat, poziomem siły mięśniowej w przysiadzie ze sztangą  $130.5 \pm 18.5$  oraz w wyciskaniu sztangi leżąc na płaskiej ławce  $100.6 \pm 13$  kg. W sesji eksperymentalnej procedura badawcza obejmowała wykonanie 5 serii przysiadu ze sztangą oraz wyciskania sztangi leżąc o maksymalnej liczbie powtórzeń, stosując obciążenie zewnętrzne o wartości 80% 1-RM oraz 3-minutową przerwę wypoczynkową między seriami. Procedura badawcza zakładała zastosowanie tempa powtórzenia o wartości 2/0/2/0 lub 6/0/2/0. W trakcie trwania sesji eksperymentalnej rejestrowano liczbę wykonanych powtórzeń (REP) oraz czas trwania napięcia mięśniowego (TUT), poziom generowanej mocy mięśniowej kończyn górnych i dolnych oraz spoczynkowe i powysiłkowe zmiany stężenia hormonów: testosteron, hormon wzrostu, kortyzol oraz insulinopodobny czynnik wzrostu IGF-1. Analiza stężenia wybranych hormonów przeprowadzona została w spoczynku, w 3 minucie po zakończeniu ostatniej serii przysiadów ze sztangą, w 3 minucie po zakończeniu ostatniej serii wyciskania sztangi leżąc oraz po 30 minutach odpoczynku. Co szczególnie ważne zgodnie z wiedzą autora były to pierwsze badania, w których udział brali zawodnicy dotychczas regularnie stosujący zmienne tempo powtórzenia w treningu oporowym. Wcześniejsze badania oceniające wpływ zmiennego czasu trwania powtórzenia realizowane były wśród grup badawczych, które nie stosowały wcześniej zmiennego tempa powtórzenia, co może mieć istotne znaczenie w ocenie wpływu tej zmiennej na bezpośrednie i długofalowe zmiany

adaptacyjne. Ponadto ponownie zgodnie z wiedzą autora badania te były pierwsze na świecie, w ramach których procedura testu 1-RM została niezależnie przeprowadzona dla każdego badanego tempa powtórzenia.

Hipoteza badawcza zakładała, że zmiana czasu trwania fazy ekscentrycznej ruchu (2s vs. 6s) znacząco wpływa na wartość liczby powtórzeń, czas trwania napięcia mięśniowego oraz na powysiłkowe zmiany stężenia badanych hormonów (kortyzol, testosteron, GH oraz IGF-1). Do oceny objętości wysiłku zastosowano sumę liczby powtórzeń oraz sumę TUT zarówno w serii, jak i w całym ćwiczeniu.

Wyniki badań wykazały, że czas trwania ekscentrycznej fazy ruchu wpływa na wartość wykonanej liczby powtórzeń oraz czas trwania napięcia mięśniowego w serii oraz w całym ćwiczeniu zarówno w podczas wyciskania sztangi leżąc, jak i przysiadzie ze sztangą, co jest zgodne z wcześniejszymi wynikami badań przedstawionych w pracach. Zgodnie ze wcześniejszymi wynikami badań, potwierdzono także zależność, że wraz z wydłużeniem czasu trwania fazy ekscentrycznej (6s) zwiększa się wartość TUT, ale jednocześnie zmniejsza maksymalna liczba wykonanych powtórzeń. Odwrotna sytuacja miała miejsce, gdy skrócono czas trwania fazy ekscentrycznej do 2s, w efekcie czego zwiększała się maksymalna wartość liczby powtórzeń w serii, ćwiczeniu i całej jednostce treningowej, lecz jednocześnie spadła maksymalna wartość TUT. Wykazane zależności pomiędzy czasem trwania fazy ekscentrycznej ruchu, a maksymalną liczbą powtórzeń oraz wartości TUT dotyczą zarówno przysiadów ze sztangą, jak i wyciskania sztangi leżąc, co potwierdza założoną hipotezę badawczą.

Ponadto badania wykazały, że powysiłkowe zmiany stężenia IGF-1, GH oraz kortyzolu były wyższe podczas protokołu, w którym wykorzystano krótki czas trwania fazy ekscentrycznej (2s), w porównaniu z długim czasem trwania fazy ekscentrycznej (6s), co jest sprzeczne z wcześniejszymi badaniami w tym zakresie (Calixto i wsp., 2014; Goto i wsp., 2008; Goto i wsp., 2009). Wyniki badań nie wykazały istotnych powysiłkowych różnic w stężeniu testosteronu po treningu oporowym z wykorzystaniem zmiennego czasu trwania fazy ekscentrycznej ruchu. Wyniki dotyczące powysiłkowych zmian stężenia hormonów są sprzeczne z wcześniejszymi badaniami, w których autorzy nie wykazują różnic odpowiedzi hormonalnych między różnym czasem trwania powtórzenia (Headley i wsp., 2011; Smilios i wsp., 2014; Wilk i wsp., 2021), a także z badaniami, które wskazują, że zastosowanie dłuższego czasu trwania powtórzenia zwiększa odpowiedź hormonalną (Goto i wsp., 2008, 2009; Wilk i wsp., 2018a).

Wcześniejsze doniesienia naukowe wykazują, że wydłużenie czasu trwania powtórzenia, szczególnie w fazie ekscentrycznej wpływa na wzrost powysiłkowego stężenia testosteronu oraz hormonu wzrostu (Goto i wsp., 2008, 2009; Calixto i wsp., 2014; Wilk i wsp., 2018a). Różnice między wcześniejszymi doniesieniami, a wynikami prezentowanego badania mogą być związane z doświadczeniem w treningu oporowym ze zmiennym tempem powtórzenia oraz ze specyfiką uprawianej dyscypliny sportowej. Należy szczególnie zwrócić uwagę na fakt, że opisywane badania są pierwszymi na świecie, które dokonały oceny wpływu zmiennego czasu trwania fazy ekscentrycznej na poziom bezpośrednich powysiłkowych reakcji hormonalnych, ale w grupie zawodników regularnie stosującej trening z kontrolowanym czasem trwania fazy powtórzenia. Wydaje się, że właśnie doświadczenie w treningu oporowym ze zmiennym tempem ruchu może być kluczowym aspektem w ocenie wpływu zmiennego czasu trwania powtórzenia zarówno na poziom bezpośrednich, jak i długofalowych zmian adaptacyjnych, co jest istotnym wnioskiem z opisywanego badania.

Protokół badania, w którym zastosowano krótszy czas trwania fazy ekscentrycznej wywołał większe zmęczenie mięśniowe analizowane na podstawie spadku wartości generowanej mocy mięśniowej, co może mieć związek z wykonaną liczbą powtórzeń. Grupa, w której wykorzystano tempo powtórzenia 2/0/2/0 wykonała istotnie wyższą liczbę powtórzeń w serii jak i ćwiczeniu, w porównaniu do grupy stosującej tempo powtórzenia 6/0/2/0. Tym samym w tempie powtórzenia 2/0/2/0 całkowita praca w fazie koncentrycznej ruchu także była istotnie większa, co może częściowo tłumaczyć wyższy spadek mocy mięśniowej mierzonej w fazie koncentrycznej ruchu. Dodatkowo wyniki badań wskazują, że wydłużenie czasu trwania wysiłku (TUT), jakie zaobserwowano podczas procedury z zastosowaniem tempa powtórzenia 6/0/2/0 nie zapewnia wyższego poziomu powysiłkowych odpowiedzi hormonalnych w grupie hokeistów. Wynik ten sugeruje, że przyzwyczajenie do treningu ze zmiennym tempem powtórzenia może istotnym czynnikiem mającym wpływ na poziom powysiłkowych metabolicznych i hormonalnych zmian, czego żadne wcześniejsze badania naukowe nie brały pod uwagę. z tego punktu widzenia artykuł ten można stanowić przełomowe znaczenie w zrozumieniu roli zmiennego tempa powtórzenia w procesie adaptacji mięśniowej.

Chociaż powysiłkowe stężenie kortyzolu (hormonu katabolicznego) wzrosło w obu protokołach, to jednak należy zwrócić uwagę na fakt, że wyższe zmiany

zaobserwowano w protokole z wykorzystaniem tempa 2/0/2/0, w porównaniu do tempa 6/0/2/0, co jest sprzeczne z dotychczasowymi sugestiami wskazującymi, że wolniejsze tempo powtórzenia powoduje wyższe powysiłkowe reakcje metaboliczne i hormonalne, w porównaniu do tempa szybkiego. Co więcej wyniki badań wskazały, że dłuższy czas trwania powtórzenia (6/0/2/0) powoduje niższe powysiłkowe odpowiedzi hormonalne, w porównaniu z krótkim czasem trwania powtórzenia (2/0/2/0).

Wyniki przeprowadzonego badania wskazują, że czas trwania fazy ekscentrycznej ruchu znacząco wpływa na wartość liczby powtórzeń, wartość TUT oraz odpowiedzi hormonalnych podczas oraz po wysiłku z zastosowaniem ćwiczeń oporowych. Jednakże należy zwrócić szczególną uwagę, że przeprowadzone badania są pierwszymi dostępnymi w literaturze światowej w ramach którego wykorzystano profesjonalnych sportowców oraz fakt, że uczestnicy badania byli zaadoptowani do treningu oporowego z wykorzystaniem zmiennego tempa powtórzenia. Dotychczasowe badania z zakresu wpływu zmiennego tempa powtórzenia na poziom powysiłkowych zmian metabolicznych i hormonalnych dotyczyły grup osób rekreacyjnie trenujących, lub zawodników nie mających doświadczenia w treningu ze zmiennym tempem powtórzenia, co może mieć istotny wpływ na uzyskiwane wyniki. Co więcej, powysiłkowe metaboliczne i hormonalne w wyniki zastosowania wolnego tempa powtórzenia obserwowane we wcześniejszych badaniach (Calixto i wsp., 2014; Goto i wsp., 2008, 2009; Wilk i wsp., 2018a, 2021) mogą wynikać z faktu, że wprowadzenie zmiany tempa powtórzenia samo w sobie jest nowym bodźcem wysiłkowym i stąd następuje istotny wzrost w powysiłkowych reakcjach układu hormonalnego. Wyniki uzyskane w badaniu mogą potwierdzać taką hipotezę, ponieważ zawodnicy biorący udział w opisywanym badaniu byli zaadoptowani do treningu ze zmiennym tempem powtórzenia, co może mieć kluczowe znaczenie w dalszej ocenie i analizie bezpośrednich i długofalowych zmian adaptacyjnych. Wyniki badań uzasadniają stosowanie w grupach zawodowych sportowców krótkiego czasu trwania fazy ekscentrycznej podczas planowania i programowania treningu oporowego w celu wywołania większego powysiłkowego wzrostu odpowiedzi hormonalnych, ponieważ może być ważnym czynnikiem wpływającym na zmiany adaptacyjne w kształtowaniu siły i hipertrofii mięśniowej. Jednakże protokół ćwiczeń z krótkim czasem trwania fazy ekscentrycznej wywoływał większe zmęczenie mięśniowe, co należy wziąć pod uwagę

przy planowaniu okresów regeneracyjnych podczas poszczególnych mikrocykli treningowych.

Tym samym badanie wykazało, że liczba powtórzeń oraz wartość TUT są zależne od zastosowanego czasu trwania powtórzenia w ćwiczeniu oporowym. Dodatkowo wartość czasu trwania powtórzenia ma bezpośredni wpływ na poziom powysiłkowych reakcji hormonalnych. Jednakże biorąc pod uwagę całościowy stan dotychczasowej naukowej wiedzy w tym zakresie nie można jednoznacznie stwierdzić, czy wolne bądź szybkie tempo powtórzenia są korzystniejsze w dążeniu do wywołania powysiłkowych zmian hormonalnych. Wyniki badań sugerują konieczność określania czasu trwania fazy ekscentrycznej ruchu w zależności od oczekiwanej odpowiedzi hormonalnej, jednocześnie co jest najważniejszą implikacją przedstawionych badań, należy brać pod uwagę poziom doświadczenia w treningu ze zmiennym tempem powtórzenia. Biorąc pod uwagę częstość występowania ćwiczeń przysiadu ze sztangą oraz wyciskania sztangi leżąc w programach treningowych, przedstawione wyniki oraz implikacje praktyczne można odnieść do innych dyscyplin sportowych.

## PODSUMOWANIE

Analiza i ocena wpływu czasu trwania powtórzenia determinowana przez wartość TUT wykazała istotny wpływ na całkowitą liczbę powtórzeń w serii oraz w całym ćwiczeniu, poziom generowanej mocy i prędkość sztangi, a także na poziom reakcji metabolicznych i hormonalnych.

Ponadto przedstawiony cykl badań wykazał, że w ocenie objętości wysiłku oprócz powszechnie stosowanej liczby wykonanych powtórzeń należy także określać czas trwania napięcia mięśniowego. Badania dowiodły, że dłuższy czas trwania ekscentrycznej fazy ruchu powoduje obniżenie wartości maksymalnej siły mięśniowej oraz poziomu generowanej mocy mięśniowej w fazie koncentrycznej. Ponadto dłuższy czas trwania fazy ekscentrycznej nieznacznie wpływa na powysiłkowe zmiany wartości GH i IGF-1, w przeciwieństwie do krótkiej fazy ekscentrycznej (6/0/2/0 vs. 2/0/2/0). Jednakże poziom powysiłkowych zamian metabolicznych i hormonalnych są zależne od faktu, czy uczestnik posiada doświadczenie w treningu oporowym z wykorzystaniem różnego tempa powtórzenia. Istotne wydłużenie maksymalnego czasu wysiłku podczas zastosowania dłuższego czasu trwania powtórzenia powoduje konieczność zastosowania niższej wartości obciążenia zewnętrznego, co może być korzystne w treningu osób młodych, starszych oraz osób kontuzjowanych, którzy z różnych względów nie mogą stosować wysokich wartości obciążeń zewnętrznych. Co więcej, dłuższy czas trwania powtórzenia podczas ćwiczeń oporowych pozwala na wykonywanie wysiłku o wyższej wartości TUT, co może mieć szczególne korzystne znaczenie w kształtowaniu wytrzymałości siłowej. Ponadto prowadzone badania nie wykazały istotnych różnic w zakresie TUT i liczby powtórzeń między szerokościami chwytu sztangi (WGBP vs. CGBP) podczas wyciskania leżąc.

Chociaż wpływ czasu trwania powtórzenia oraz wartości TUT w odniesieniu do adaptacji nerwowo-mięśniowych nie jest szeroko zbadany, wydaje się, że na podstawie wartości TUT można w precyzyjny sposób określić optymalny zakres wysiłku w rozwoju siły i hipertrofii mięśniowej. Chociaż istnieją badania naukowe, w których zastosowano kontrolowany czas trwania powtórzenia i jego wpływ na proces zmian adaptacyjnych (Bird i wsp., 2005; Neils i wsp., 2005; Westcott i wsp., 2001), to obecnie jedynie jedna naukowa praca wskazuje optymalne wartości TUT dla rozwoju

hipertrofii, siły maksymalnej, czy wytrzymałości mięśniowej (Wilk i wsp., 2021). Wyniki badania wydają się sprzeczne z wcześniejszymi doniesieniami naukowymi, w których wykazano, że wydłużenie czasu trwania fazy ekscentrycznej zwiększa odpowiedź hormonalną (Wilk i wsp., 2018, 2020) oraz z badaniami, w których nie wykazano różnic w odpowiedzi hormonalnej między protokołami z różnym czasem trwania powtórzenia (Headley i wsp., 2011; Smilios i wsp., 2014; Wilk i wsp., 2021). W badaniu krótki czas trwania fazy ekscentrycznej wywołał wyższy poziom odpowiedzi kortyzolu, IGF-1 oraz GH, w porównaniu do długiego czasu (2s vs. 6s). Wynik ten uzasadnia planowanie i stosowanie krótkiego czasu trwania fazy ekscentrycznej w celu wywołania wyższych powysiłkowych wartości hormonalnych, które mogą być ważnym czynnikiem wpływającym na kierunek zmian adaptacyjnych pod kątem hipertrofii i siły mięśniowej. Jednakże najnowsze wyniki badań (Villanueva i wsp., 2021) sugerują, że nie tylko same wartości czasu trwania wysiłku w poszczególnych fazach ruchu mogą mieć znaczenie, ale także stosunek czasu trwania pracy w fazie koncentrycznej do czasu trwania pracy w fazie ekscentrycznej. Dlatego też badania dotyczące zmiennego tempa powtórzenia nadal wymagają dalszej eksploracji.

Analiza i wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że czas trwania powtórzenia jest ważną składową w aspekcie procesu treningu oporowego mającą wpływ na wartość objętości wysiłku, poziom siły maksymalnej i mocy mięśniowej oraz powysiłkowych wartości endokrynnych. Ponadto wartość TUT wydaje się dokładniejszym wskaźnikiem sumarycznej pracy wykonanej podczas jednostki treningowej, w porównaniu z powszechnie stosowanymi metodami. Biorąc pod uwagę omówione wyniki badań, należy wskazać, że czas trwania powtórzenia, jako dodatkowa zmienna treningowa w ćwiczeniu oporowym, powinien być kontrolowany i zaplanowany w procesie programowania treningu. Ponadto wpływ zmiennego tempa powtórzenia na bezpośrednie i długofalowe zmiany adaptacyjne może być zależny od doświadczenia w stosowaniu zmiennego tempa powtórzenia, co jest przełomowym wnioskiem z przeprowadzonego cyklu badań.



## PIŚMIENNICTWO

1. Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med*, 2005;35:841–51.
2. Bottaro M, Martins B, Gentil P, Wagner D. Effects of rest duration between sets of resistance training on acute hormonal responses in trained women. *J Sci Med Sport*, 2009;12:73–8.
3. Buresh R, Berg K, French J. The effect of resistive exercise rest interval on hormonal response, strength, and hypertrophy with training. *J Strength Cond Res*, 2009;23:62–71.
4. Burd NA, Andrews RJ, West DW, Little JP, Cochran AJ, Hector AJ, Cashaback JG, Gibala MJ, Potvin JR, Baker SK, Phillips SM. Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *J Physiol*, 2012;590:351–62.
5. Calixto R, Verlengia R, Crisp A, Carvalho T, Crepaldi M, Pereira A, Yamada A, da Mota G, Lopes C. Acute effects of movement velocity on blood lactate and growth hormone responses after eccentric bench press exercise in resistance-trained men. *Biol Sport*, 2014;31:89–94.
6. Campos GE, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, Ragg KE, Ratamess NA, Kraemer WJ, Staron RS. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol*, 2002;88:50–60.
7. Durand RJ, Castracane VD, Hollander DB, Tryniecki JL, Bamman MM, O'Neal S, Hebert EP, Kraemer RR. Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions. *Med Sci Sports Exerc*, 2003;35:937–43.
8. Enoka RM. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol*, 1996;81:2339–46.
9. Figueiredo VC, de Salles BF, Trajano GS. Volume for muscle hypertrophy and health outcomes: the most effective variable in resistance training. *Sports Med*, 2018;48:499–505.
10. Fridén J, Sjöström M, Ekblom B. Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *Int J Sports Med*, 1983;4:170–6

11. Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*, 2004;34:663-79.
12. Goto K, Takahashi K, Yamamoto M, Takamatsu K. Hormone and recovery responses to resistance exercise with slow movement. *J Physiol Sci*, 2008;58:7–14
13. Goto K, Ishii N, Kizuka T, Kraemer RR, Honda Y, Takamatsu K. Hormonal and metabolic responses to slow movement resistance exercise with different durations of concentric and eccentric actions. *Eur J Appl Physiol*, 2009;106:731–9
14. Gotshalk LA, Loebel CC, Nindl BC, Putukian M, Sebastianelli WJ, Newton RU, Häkkinen K, Kraemer WJ. Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Can J Appl Physiol*, 1997;22:244–55
15. Gumucio JP, Sugg KB, Mendias CL. TGF- $\beta$  superfamily signaling in muscle and tendon adaptation to resistance exercise. *Exerc Sport Sci Rev*, 2015;43:93
16. Häkkinen K, Pakarinen A, Alen M, Komi PV. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *Eur J Appl Physiol*, 1985;53:287–293
17. Häkkinen K, Pakarinen A. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *Int J Sports Med*, 1995;16:507–13
18. Hatfield DL, Kraemer WJ, Spiering BA, Häkkinen K, Volek JS, Shimano T, Spreuwenberg LP, Silvestre R, Vingren JL, Fragala MS, Gómez AL, Fleck SJ, Newton RU, Maresh CM. The impact of velocity of movement on performance factors in resistance exercise. *J Strength Cond Res*, 2006;20:760–6
19. Headley SA, Henry K, Nindl BC, Thompson BA, Kraemer WJ, Jones MT. Effects of lifting tempo on one repetition maximum and hormonal responses to a bench press protocol. *J Strength Cond Res*, 2011;25:406–13.
20. Hutchins K. *Super slow: the ultimate exercise protocol*. 2nd. Casselberry, FL: Media Support; 1993
21. Keogh JW, Wilson GJ, Weatherby RP. A cross-sectional comparison of different resistance training techniques in the bench press. *J Strength Cond Res*, 1999;13:247–58
22. King I. *Get buffed: An King's guide to getting bigger, stronger and leaner*. King Sorts Publishing Australia. 2002:3.
23. Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R, Frykman P, McCurry D, Fleck SJ. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* (1985), 1990;69:1442–50

24. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 2004;36:674–88
25. Leite RD, Prestes J, Rosa C, De Salles BF, Maior A, Miranda H, Simão R. Acute effect of resistance training volume on hormonal responses in trained men. *J Sports Med Phys Fitness*, 2011;51:322–8
26. Levinger I, Goodman C, Hare DL, Jerums G, Toia D, Selig S. The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *J Sci Med Sport*, 2009;12:310–6.
27. Lockie RG, Callaghan SJ, Moreno MR, Risso FG, Liu TM, Stage AA, Birmingham-Babauta SA, Stokes JJ, Giuliano DV, Lazar A, Davis DL, Orjalo AJ. An investigation of the mechanics and sticking region of a one-repetition maximum close-grip bench press versus the traditional bench press. *Sports (Basel)*, 2017;5:46
28. Lockie RG, Callaghan SJ, Orjalo AJ, Moreno MR. Loading range for the development of peak power in the close-grip bench press versus the traditional bench press. *Sports (Basel)*, 2018;6:97
29. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Sport & exercise nutrition*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 1999
30. Mike JN, Cole N, Herrera C, VanDusseldorp T, Kravitz L, Kerksick CM. The Effects of Eccentric Contraction Duration on Muscle Strength, Power Production, Vertical Jump, and Soreness. *J Strength Cond Res*, 2017;31:773–86
31. Neils CM, Udermann BE, Brice GA, Winchester JB, McGuigan MR. Influence of contraction velocity in untrained individuals over the initial early phase of resistance training. *J Strength Cond Res*, 2005;19:883–87
32. Raastad T, Bjørø T, Hallén J. Hormonal responses to high- and moderate- intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol*, 2000;82:121–8
33. Rahimi R, Qaderi M, Faraji H, Boroujerdi SS. Effects of very short rest periods on hormonal responses to resistance exercise in men. *J Strength Cond Res*, 2010;24:1851–9.
34. Roig M, Macintyre DL, Eng JJ, Narici MV, Maganaris CN, Reid WD. Preservation of eccentric strength in older adults: Evidence, mechanisms and implications for training and rehabilitation. *Exp Gerontol*, 2010;45:400–9
35. Saeterbakken AH, Mo DA, Scott S, Andersen V. The effects of bench press variations in competitive athletes on muscle activity and performance. *J Hum Kinet*, 2017;57:61–71

36. Sakamoto A, Sinclair PJ. Effect of movement velocity on the relationship between training load and the number of repetitions of bench press. *J Strength Cond Res*, 2006;20:523–7.
37. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*, 2010;24:2857–72
38. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Krieger JW. Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 2015;45:577–85
39. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Effects of resistance training frequency on measures of muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 2016;46:1689–97.
40. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: a systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci*, 2017;35:1073–82.
41. Smilios I, Tsoukos P, Zafeiridis A, Spassis A, Tokmakidisa SP. Hormonal response after resistance exercise performed with maximum and submaximum movement velocities. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2014;39:351–7
42. Stauber WT, Clarkson PM, Fritz V, Evans WJ. Extracellular matrix disruption and pain after eccentric muscle action. *J Appl Physiol*, 1990;69:868–74
43. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Med*, 2016;46:1419–49
44. Suchomel TJ, Wagle JP, Douglas J, Taber CB, Harden M, Gregory H, Stone MH. Implementing eccentric resistance training—part 2: practical recommendations. *J Funct Morphol Kinesiol*, 2019;4:55
45. Suchomel TJ, Wagle JP, Douglas J, Taber CB, Harden M, Hall GG, Stone MH. Implementing eccentric resistance training - part 1: a brief review of existing methods. *J Funct Morphol Kines*, 2019;4:38
46. Tanimoto M, Ishii N. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol* (1985), 2006;100:1150–7
47. Uchida MC, Crewther BT, Ugrinowitsch C, Bacurau RF, Moriscot AS, Aoki MS. Hormonal responses to different resistance exercise schemes of similar total volume. *J Strength Cond Res*, 2009;23:2003–8.

48. Villanueva AM, Ortega JP, Rico-Gonzalez M. Effect of repetition duration – total and in different muscle actions – on the development of strength, power, and muscle hypertrophy: a systematic review. *Strength Cond J*, November 17, 2021 (w druku) doi: 10.1519/SSC.0000000000000695
49. Watanabe Y, Tanimoto M, Ohgane A, Sanada K, Miyachi M, Ishii N. Increased muscle size and strength from slow-movement, low-intensity resistance exercise and tonic force generation. *J Aging Phys Act*, 2013;21:71–84
50. Westcott WL, Winett RA, Anderson ES, Wojcik JR, Loud RL, Cleggett E, Glover S. Effects of regular and slow speed resistance training on muscle strength. *J Sports Med Phys Fitness*, 2001;41:154–8.
51. Wilk M, Stastny P, Golas A, Nawrocka M, Jelen K, Zajac A, Tufano JJ. Physiological responses to different neuromuscular movement task during eccentric bench press. *Neuro Endocrinol Lett*, 2018a;39:26–32.
52. Wilk M, Golas A, Stastny P, Nawrocka M, Krzysztofik M, Zajac A. Does tempo of resistance exercise impact training volume? *J Hum Kinet*, 2018b;62:241–50.
53. Wilk M, Golas A, Krzysztofik M, Nawrocka M, Zajac A. The effects of eccentric cadence on power and velocity of the bar during the concentric phase of the bench press movement. *J Sports Sci Med*, 2019a;18:191–7.
54. Wilk M, Gepfert M, Krzysztofik M, Golas A, Mostowik A, Maszczyk A, Zajac A. The influence of grip width on training volume during the bench press with different movement tempos. *J Hum Kinet*, 2019b;21:49–57.
55. Wilk M, Tufano JJ, Zajac A. The influence of movement tempo on acute neuromuscular, hormonal, and mechanical responses to resistance exercise- a mini review. *J Strength Cond Res*, 2020;34:2369–83.
56. Wilk M, Krzysztofik M, Petr M, Zajac A, Stastny P. The slow exercise tempo during conventional squat elicits higher glycolytic and muscle damage but not the endocrine response. *Neuro Endocrinol. Lett*, 2021;41:301–7.