

**AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
IM. BRONISŁAWA CZECHA
W KRAKOWIE**

Dorota Laskowska

**REAKCJA UKŁADU KRAŻENIA
NA KRÓTKĄ PRÓBĘ VALSALVY
W SPOCZYNKU I PODCZAS
ĆWICZEŃ SIŁOWYCH**

Praca doktorska wykonana w Zakładzie Fizjologii Stosowanej
Instytutu Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej
im. *M. Mossakowskiego* Polskiej Akademii Nauk

Promotor
Dr hab. Andrzej Ziemba prof. ndz. IMDiK

Warszawa 2011

MOIM RODZICOM.....

Pragnę podziękować:

Promotorowi dr hab. Andrzejowi Ziembie prof. IMDiK PAN
za opiekę naukową cierpliwość i wyrozumiałość

P. dr Wiktorowi Niewiadomskiemu
za mądrość, długie dyskusje, wsparcie i wiarę w moją osobę

P. dr Ani Gąsiorowskiej
za nieocenioną wszelką pomoc

P. dr hab.inż Gerard Cybulski
za życzliwość i wyrozumiałość

Wyniki badań przedstawione w tej pracy ukazały dotąd się w następujących publikacjach:

Niewiadomski W, Laskowska D, Gąsiorowska A, Cybulski G, Strasz A, Langfort J. Determination and Prediction of One Repetition Maximum (1RM): Safety Considerations. *Journal of Human Kinetics* volume 2008, 19:109-120

Niewiadomski W, Pilis A, Kwiatkowska K, Gąsiorowska A, Cybulski G, Strasz A, Chrzanowski J, Langfort J. Hemodynamic Effects of Strength Exercises *Journal of Human Kinetics* volume 2007, 18:45-62

WYKAZ SKRÓTÓW

RM - ang. repetition maximum, maksymalna liczba powtórzeń

OVERSHOOT - nadstrzał

VALSALVA MANEUVRE - warunki Valsalvy, próba Valsalvy.

MVC - maximal voluntary contraction, maksymalna siła skurczu

CIŚNIENIE TRANSMURALNE - jest to różnica pomiędzy ciśnieniem wewnątrz naczyń, a ciśnieniem zewnątrz naczyń, jest miarą efektywnej siły rozciągającej naczynie

VALSALVA MACULOPATHY - zwyrodnienia plamki ocznej

TMP - target mouth pressure - wartości ciśnienia śródpiersiowego

K - oddychanie kontrolowane

V - oznacza krótką próbę Valsalvy

V1 - oznacza krótką próbę Valsalvy, której ciśnienie w ustach wynosiło 50% TMP (mmHg)

V2 - oznacza krótką próbę Valsalvy, której ciśnienie w ustach wynosiło 100% TMP (mmHg)

V3 - oznacza krótką próbę Valsalvy, której ciśnienie w ustach wynosiło 150% TMP (mmHg)

S - oznacza spoczynek

P - oznacza prostowanie kończyn dolnych

Z - oznacza zginanie kończyn dolnych

V1(2,3)+S - oznacza wykonanie krótkiej próby Valsalvy z ciśnieniem w ustach utrzymywanym na poziomie 50,100,150% TMP w spoczynku

V1(2,3)+Z - oznacza zsynchronizowanie krótkiej próby Valsalvy z ciśnieniem w ustach utrzymywanym na poziomie 50,100,150% TMP w połączeniu ze zginaniem kończyn dolnych

V1(2,3)+P - oznacza zsynchronizowanie krótkiej próby Valsalvy z ciśnieniem w ustach utrzymywanym na poziomie 50,100,150% TMP ze prostowaniem kończyn dolnych

K+P - badany podczas wykonywania 2,5 sekundowego wdechu prostował kończyny dolne

K+Z - badany podczas wykonywania 2,5 sekundowego wdechu zgiął kończyny dolne

K+S - badany podczas wykonywania 2,5 sekundowego wdechu nie wykonywał ruchu nogami

RRI (RR interval) (w milisekundach) - pomiar interwału pomiędzy dwoma załamkami R, z którego przeliczono na częstość rytmu serca HR (*heart rate*) (w skurczach na minutę) zgodnie ze wzorem $HR = 60\ 000/RRI$

K+S - kontrolowane oddychanie w spoczynku

SBP (systolic blood pressure) - skurczowe ciśnienie tętnicze w mmHg

DBP (diastolic blood pressure) - rozkurczowe ciśnienie tętnicze w mmHg

HR - heart rate, rytm serca (ud/min)

maxHR - maksymalna wartość rytmu serca ud/min

minHR - minimalna wartość rytmu serca ud/min

maxSBP - maksymalna wartość skurczowego ciśnienia tętniczego (mmHg)

minSBP - minimalna wartość skurczowego ciśnienia tętniczego (mmHg)

maxDBP - maksymalna wartość rozkurczowego ciśnienia tętniczego (mmHg)

minDBP - minimalna wartość rozkurczowego ciśnienia tętniczego (mmHg)

V1+S - manewr Valsalvy z 50% TMP w spoczynku

V2+S - manewr Valsalvy z 100% TMP w spoczynku

V3+S - manewr Valsalvy z 150% TMP w spoczynku

TPD (Transmular Pressures Difference) – Różnica Ciśnień Transmuralnych dla ciśnienia skurczowego obliczana ze wzoru:

$$TPD = (\max SBP_K - ITP_K) - (\max SBP_V - ITP_V)$$

maxSBP_K - maxSBP podczas oddychania kontrolowanego

ITP_K - ciśnienie powietrza w klatce piersiowej podczas oddychania kontrolowanego

maxSBP_V - maxSBP podczas krótkiej próby Valsalvy

ITP_V - ciśnienie powietrza w klatce piersiowej podczas krótkiej próby Valsalvy.

MP (Mouth Pressure) - wartości ciśnienia powietrza w ustach zmierzonej podczas odpowiedniej krótkiej próby Valsalvy

MP_{V1(2,3)+S} - ciśnienie w ustach zbliżone do 50% (100%, 150%) TMP podczas krótkiej próby Valsalvy, wykonywanej w spoczynku

MP_{V1(2,3)+Z} - ciśnienie w ustach zbliżone do 50% (100%, 150%) TMP podczas krótkiej próby Valsalvy, wykonywanej podczas zginania podudzi

MP_{v1(2,3)+P} - ciśnienie w ustach zbliżone do 50% (100%, 150%) TMP podczas krótkiej próby Valsalvy, wykonywanej podczas prostowania podudzi

TPD_{v1(2,3)+S} - różnica ciśnień transmuralnych dla ciśnienia skurczowego dla $V_{1(v2,v3)}$ podczas spoczynku

TPD_{v1(2,3)+Z} - różnica ciśnień transmuralnych dla ciśnienia skurczowego dla $V_{1(v2,v3)}$ podczas zginania podudzi

TPD_{v1(2,3)+P} - różnica ciśnień transmuralnych dla ciśnienia skurczowego dla $V_{1(v2,v3)}$ podczas prostowania podudzi

SPIS TREŚCI

1. Wstęp.....	9
1.1. Trening siłowy – podstawowe pojęcia.....	9
1.2. Rola treningu siłowego w zapobieganiu zmniejszania się siły i masy mięśni	10
1.3. Przeciwwskazania do uprawiania treningu siłowego.....	11
1.4. Reakcja układu krążenia na ćwiczenia siłowe oraz rola warunków Valsalwy w kształtowaniu tej reakcji	12
1.4.1. Reakcja układu krążenia na ćwiczenia siłowe	12
1.4.2. Rola warunków Valsalwy w kształtowaniu reakcji układu krążenia na ćwiczenia siłowe	16
1.4.2.1. Reakcji układu krążenia na klasyczną próbę Valsalwy	16
1.4.2.2. Występowanie warunków Valsalwa podczas ćwiczeń siłowych.....	18
1.4.2.3. Reakcja układu krążenia na krótkotrwałe warunki Valsalwy.....	19
1.4.2.4. Niejednoznaczna ocena skutków występowania warunków Valsalwy w czasie ćwiczeń siłowych.....	21
2. Cel badań.....	24
3. Badani i metody	25
3.1. Badani	25
3.2. Pomiary i ich rejestracja.....	25
3.3. Schemat doświadczenia	26
3.2.1. Rozgrzewka oraz wyznaczenie obciążenia	27
3.2.2. Dobór wielkości ciśnienia w jamie ustnej stosowanego podczas krótkiej próby Valsalwy	28
3.2.3. Schemat ćwiczeń.....	30
3.2.4. Analiza danych.....	32
3.2.5. Analiza statystyczna	33
4. Wyniki.....	34
4.1. Fazowe zmiany wskaźników hemodynamicznych	34
4.2. Wpływ ćwiczeń siłowych i krótkich prób Valsalwy na ciśnienie tętnicze krwi	35
4.3. Oszacowanie wpływu ciśnienia w ustach na maxSBP	39
4.4. Wpływ ćwiczenia siłowego i krótkiej próby Valsalwy na częstość skurczów serca.....	46
5. Dyskusja.....	49
5.1. Czy krótka próba Valsalwy zmniejsza ciśnienie transmuralne oddziałujące na naczynia tętnicze zlokalizowane w klatce piersiowej?	49
5.2. Brak istotnych różnic między odpowiedzią presyjną na krótką próbą Valsalwy wykonywaną w czasie prostowania kończyn dolnych a odpowiedzią presyjną na tę próbą wykonywaną w czasie ich zginania	52
5.3. Możliwe działanie ochronne krótkiej próby Valsalwy na naczynia tętnicze śródczaszkowe i serce	52
5.4. Możliwość wystąpienia niekorzystnych skutków warunków Valsalwy.....	54
5.5. Ograniczenia	54
6. Wnioski	56
7. Piśmiennictwo	57

1. Wstęp

1.1. Trening siłowy – podstawowe pojęcia

Ćwiczenie siłowe - składa się z dwóch faz; koncentrycznej i ekscentrycznej. Podczas fazy koncentrycznej skurcz mięśni następuje przy przeciwstawiającej się mu sile zewnętrznej. Natomiast podczas fazy ekscentrycznej mięśnie wydłużają się pod wpływem działania siły zewnętrznej, przy czym rozkurcz ten jest aktywnie hamowany przez wydłużające się mięśnie (Fleck i Kraemer 1997).

Powtórzenie - podstawowa jednostka treningu siłowego. Składa się na nie jeden cykl ruchów, kończący się powrotem do pozycji wyjściowej. Zazwyczaj składa się z fazy koncentrycznej i ekscentrycznej (Fleck i Kraemer 1997).

Seria - określona liczba powtórzeń, wykonywanych bez przerwy. Ilość powtórzeń w serii zawiera się typowo w zakresie od 1-15 (Fleck i Kraemer 1997).

Obciążenie wysiłkowe - siła zewnętrzna, która przeciwstawia się skurczowi mięśni podczas fazy koncentrycznej lub pod wpływem, której mięśnie wydłużają się w fazie ekscentrycznej (Fleck i Kraemer 1997).

Maksymalna liczba powtórzeń (*ang. repetition maximum RM*) - największa liczba powtórzeń, jaką można wykonać bez przerwy przy danym obciążeniu. Na przykład 1-RM oznacza obciążenie, przy którym możliwe jest wykonanie tylko jednego powtórzenia, a 3-RM jest obciążeniem, przy którym ćwiczący może wykonać maksymalnie 3 powtórzenia. Obciążenie może być też określone podaniem wielkości zastosowanego procentu 1-RM. Im dane obciążenie stanowi mniejszy procent 1-RM, tym więcej powtórzeń może być wykonanych. Stosując obciążenie 85% 1-RM można zazwyczaj wykonać 3 powtórzenia, a więc 85% 1-RM to równocześnie 3-RM. Stosowanie obciążenia 80% 1-RM może pozwolić na wykonanie 10 powtórzeń, a więc 80% 1-RM to 10-RM. Wyrażanie obciążenia w treningu siłowym przez maksymalną liczbę powtórzeń określa obciążenia możliwe aktualnie do wykonania przez ćwiczącego; dla różnych osób obciążenie wyrażone maksymalną liczbą powtórzeń będzie oznaczało konieczność zastosowania innej absolutnej wartości

obciążenia. Jego wartość będzie rosła dla tej samej osoby w miarę zwiększania się siły mięśni w wyniku treningu siłowego (Fleck i Kraemer 1997).

Trening siłowy - ćwiczenia siłowe różnych grup mięśniowych, nazywany również **treningiem oporowym**; określenie to wynika z tego, że ćwiczenia siłowe polegają na wykonywaniu ruchów pokonujących zewnętrzny opór. Odmianą treningu siłowego jest wysiłek izometryczny, w którym mięśnie wytwarzają siłę bez wykonywania ruchu (Fleck i Kraemer 1997).

Sesja treningowa - wszystkie ćwiczenia stanowiące pojedynczą jednostkę treningową wykonywaną w określonym czasie (Fleck i Kraemer 1997).

1.2. Rola treningu siłowego w zapobieganiu zmniejszania się siły i masy mięśni

Celem treningu siłowego jest zwiększanie siły i masy mięśni. Trening siłowy jest konieczną składową treningu w wielu dyscyplinach sportowych, jak również może stanowić formę rekreacji. Jest rekomendowany jako forma aktywności fizycznej przez American College of Sports Medicine (ACSM 1998, ACSM 2002, ACSM 2004).

Z medycznego punktu widzenia może być traktowany jako forma terapii. Wykazano w licznych pracach, że trening siłowy skutecznie przywraca utraconą (przynajmniej w części) siłę mięśni szkieletowych oraz ich masę obniżoną na skutek unieruchomienia z przyczyn chorobowych, ograniczenia aktywności fizycznej (Niewiadomski i wsp. 2005, ACSM 2002). Zdolność treningu siłowego do przywracania siły i masy mięśni szkieletowych jest szczególnie cenna u ludzi w podeszłym wieku, bowiem postępujący w procesie starzenia się ubytek siły i masy mięśniowej może prowadzić do utraty samodzielności i zwiększenia podatności na urazy układu kostnego. Dotyczy to również osób w dziesiątej dekadzie życia (Fiatarone i wsp. 1990).

Przyrost siły następuje już przy stosowaniu obciążenia 50% 1-RM, podczas gdy dla uzyskania przyrostu gęstości kości może być niezbędne obciążenie 80% 1-RM (Treuth i wsp. 1995).

Skuteczność treningu siłowego zwiększa się wraz ze wzrostem obciążenia. Obciążenia od 1-RM do 6-RM najbardziej efektywnie zwiększają siłę mięśni (Atha 1981); dla uzyskania istotnej poprawy siły mięśniowej zaleca się stosowanie 3-9

powtórzeń z obciążeniem 80-90% 1-RM (Kelley i Kelley 2000, Wallace 2004). Trening siłowy, w którym stosowana jest duża liczba powtórzeń (12-20) z małym obciążeniem (co odpowiada 60-80% 1-RM), charakteryzuje się małą skutecznością w zwiększaniu siły mięśniowej. Obciążenia powyżej 25-RM mają niewielki lub żaden wpływ na jej zwiększanie (Atha 1981).

1.3. Przeciwwskazania do uprawiania treningu siłowego

Jak wspomniano trening siłowy jest skuteczną formą przeciwdziałania zmniejszaniu masy i siły mięśniowej postępujących w wyniku starzenia się i/lub zmniejszonej aktywności fizycznej, jednak jego stosowanie podlega pewnym ograniczeniom. Bjarnson-Wehrens i wsp. (2004) wskazują na grupy ryzyka, dla których trening nie jest zalecany lub zalecany w ograniczonej formie. Należą do nich osoby cierpiące na niestabilną dławicę, trudno kontrolowane ciśnienie tętnicze (ciśnienie skurczowe większe niż 160 mmHg, rozkurczowe większe niż 100 mm Hg), niekontrolowane arytmie, niewydolność serca, zwężenie zastawek serca i ich niedomykalność oraz kardiomiopatie przerostowe.

Podobne przeciwwskazania do wykonywania ćwiczeń siłowych wymieniają Col i Yadov (2007). Autorzy ci jako schorzenia stanowiące przeciwwskazania do wykonywania ćwiczeń siłowych wymieniają nadciśnienie (ciśnienie rozkurczowe powyżej 100 mmHg, skurczowe powyżej 200 mmHg w spoczynku), spadki spoczynkowego ciśnienia skurczowego o co najmniej 20 mmHg poniżej wartości przeciętnej, zwężenie aorty, ostre choroby układu, gorączkę, niekontrolowaną tachykardię powyżej 100 skurczów na minutę, zastoinową niewydolność serca, blok serca trzeciego stopnia bez rozrusznika, zapalenie osierdzia, zapalenie mięśnia sercowego, niedawne zakrzepy, zakrzepowe zapalenie żył, spoczynkowe przemieszczenie odcinka ST większe niż 3 mm, niekontrolowaną cukrzycę, problemy ortopedyczne. Ponadto przeciwwskazaniami objęte są osoby z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc, osoby cierpiące na chroniczny ból szyi i pleców, a także osoby z artretyzmem (Taylor 2005). Jak wspomniano niektórzy autorzy (Col i Yadov 2007, Bjarnson-Wehrens i wsp. 2004) uważają, że nadciśnienie tętnicze jest przeciwwskazaniem do wykonywania treningu siłowego. Jednak nie wszyscy podzielają ten pogląd i nie uważają nadciśnienia tętniczego za przeciwwskazanie do wykonywania treningów siłowych (Kelley i wsp. 2000, Wallace 2004).

Pollock i wsp. (2000) nie zalecają treningu siłowego chorym kardiologicznym o średnim i wysokim zagrożeniu.

W piśmiennictwie pojawiły się również doniesienia wskazujące na możliwość wystąpienia niekorzystnych zmian w układzie krążenia spowodowanych intensywnym treningiem siłowym u ludzi zdrowych. U młodych zdrowych mężczyzn uprawiających trening siłowy stwierdzono większą sztywność tętnic w porównaniu z osobami prowadzącymi siedzący tryb życia (Bertovic i wsp. 1999, Dart i Kingwell 2001, Braight i Steward 2006). Miyachi i wsp. (2003) stwierdzili, że związany z wiekiem wzrost sztywności tętnic szyjnych jest większy w grupie mężczyzn trenujących siłowo, nie stwierdzono natomiast takich zmian w tętnicach udowych. W pracy tej stwierdzono ponadto, że zwiększenie sztywności tętnic skojarzone jest z przerostem lewej komory.

W piśmiennictwie wspomina się o nielicznych przypadkach śmierci, która mogła być następstwem treningu siłowego. Hamill (1994) opisał przypadki 2 zgonów młodych ludzi spowodowane ćwiczeniami siłowymi. Aghasadeghi i Aslani (2007) opisali przypadek 23 letniego zdrowego kulturysty, u którego po wysiłku siłowym wystąpił nagły, silny ból zamostkowy. Sportowiec ten zmarł na skutek zawału serca a sekcja wykazała rozwarstwienie prawej tętnicy wieńcowej.

Traktując trening siłowy jako formę terapii należy rozważyć korzyści i zagrożenia, jakie są z nim związane. Przede wszystkim należy wykluczyć z treningu siłowego osoby z oczywistymi przeciwwskazaniami. W odniesieniu do osób mogących trenować należy, w umiejętny sposób, określić wielkość obciążenia, kierując się z jednej strony wymogami skuteczności treningu siłowego, z drugiej strony pamiętając o potencjalnych zagrożeniach związanych zwłaszcza z obciążeniem układu krążenia.

1.4. Reakcja układu krążenia na ćwiczenia siłowe oraz rola warunków Valsalwy w kształtowaniu tej reakcji

1.4.1. Reakcja układu krążenia na ćwiczenia siłowe

Określenie rzeczywistego obciążenia układu krążenia ćwiczeniami siłowymi wymaga ciągłego pomiaru ciśnienia tętniczego. Wynika to z faktu, że cykliczne zmiany ciśnienia skurczowego i rozkurczowego zachodzą w rytmie faz ćwiczenia

siłowego. Zaobserwowanie takich zmian stało się możliwe dzięki pionierskim badaniom MacDougall i wsp. (1985), w których zastosowano inwazyjny pomiar ciśnienia tętniczego. W pracy tej opisano podstawowe cechy reakcji ciśnieniowej na ćwiczenia siłowe, mierząc ciśnienie tętnicze u 5 kulturystów wykonujących różne ćwiczenia siłowe z obciążeniami 80, 85, 95, 100% 1-RM. Cykliczne zmiany ciśnienia charakteryzowały się dużą amplitudą i były zależne od faz ćwiczenia siłowego - wzrost ciśnienia następował podczas fazy koncentrycznej, spadek podczas fazy ekscentrycznej. Najwyższe szczytowe wartości ciśnienia tętniczego były obserwowane podczas wypychania ciężaru na suwnicy dwiema nogami, ciśnienie wzrastało wówczas przeciętnie do 320/250 mmHg. Niższe ciśnienie obserwowano podczas zginania jednego przedramienia ze sztangą, a najniższe podczas wypychania ciężaru jedną nogą na suwnicy (255/190 mmHg). Ciśnienie tętnicze powracało do wartości przedwysiłkowej z chwilą zakończenia ćwiczenia.

Podobne wyniki, jak przy zastosowaniu metody inwazyjnej, otrzymano również wykonując ciągły nieinwazyjny pomiar ciśnienia (urządzeniem Finapres) podczas 3 serii ćwiczeń siłowych po 10 powtórzeń wypchnięcia ciężaru dwoma nogami na suwnicy (Gotshall i wsp. 1999). Ciśnienie tętnicze zmieniało się cyklicznie - szczytowe wzrosty ciśnienia tętniczego zwiększały się z serii na serię wraz kolejnymi powtórzeniami. Ciśnienie tętnicze pozostawało podwyższone w przerwach między seriami.

Zależność pomiędzy fazami ćwiczenia siłowego, a wzrostem lub obniżeniem ciśnienia tętniczego nie jest oczywista. Według MacDougall i wsp. (1985) wzrost ciśnienia przypadał na fazę koncentryczną – prostowania nóg, obniżenie natomiast następowało w fazie ekscentrycznej, ich uginania. Podobne obserwacje opisali Falkel i wsp. (1992). Z kolei Sale i wsp. (1993) stwierdzili, że podczas wypychania ciężaru dwoma nogami na suwnicy (prostowanie nóg – faza koncentryczna) ciśnienie tętnicze maleje natomiast wzrasta podczas uginania nóg (faza ekscentryczna). Również Gotshall i wsp. (1999) zaobserwowali zależność pomiędzy zmianami ciśnienia tętniczego a fazami ćwiczenia siłowego - spadki ciśnienia tętniczego podczas fazy koncentrycznej, a wzrosty podczas fazy ekscentrycznej. Taki sam przebieg zmian ciśnienia tętniczego opisują MacDougall i wsp. (1992). Jednak wiążą oni zmiany ciśnienia tętniczego nie tyle z fazą ruchu co z kątem ugięcia nóg w czasie wykonywania ćwiczenia siłowego na suwnicy; największe ciśnienie

obserwowane było dla kąta ugięcia stawów kolanowych wynoszącego 90°, a najmniejsze dla kąta 180°.

Na podstawie przedstawionych przez Sale i wsp. (1993) zmian ciśnienia tętniczego i ciśnienia śródpiersiowego nie można wykluczyć, że zmiany ciśnienia tętniczego powodowane były głównie przez zmiany ciśnienia śródpiersiowego obserwowane podczas wykonywania wysiłku siłowego. Zatem odpowiedź na pytanie o zależność pomiędzy fazami ćwiczenia siłowego a kierunkiem zmiany ciśnienia tętniczego może być udzielona po wyeliminowaniu wpływu ciśnienia śródpiersiowego, czyli pod warunkiem niewykonywania próby Valsalvy.

Przypuszcza się, że wielkość reakcji układu krążenia przez którą rozumie się najczęściej jako zmiany ciśnienia skurczowego i rozkurczowego oraz rytmu serca, nie zależy od bezwzględnej wartości intensywności wysiłku (wielkość rozwijanej siły wyrażana w newtonach (N) lub kilogramach (kg)), ale przede wszystkim od wartości względnej (np. wyrażanej jako % 1-RM lub %MVC).

Należy podkreślić, że w piśmiennictwie opisano wzrost częstości skurczów serca i ciśnienia tętniczego krwi tym większy, im większe zastosowano obciążenie i im większa była masa mięśni zaangażowanych w wykonywanie ćwiczenia (Stone i wsp. 1991). Panuje zgodność co do tego, że kolejne powtórzenia danego ćwiczenia powodują narastanie częstości skurczów serca i ciśnienia tętniczego (McCartney i wsp. 1993, Sale i wsp. 1994). W czasie trwania ostatnich powtórzeń ćwiczenia z obciążeniem 70% - 85% 1-RM obserwuje się większy wzrost częstości skurczów serca i ciśnienia tętniczego niż w czasie wykonywania jednego ćwiczenia z obciążeniem 100% 1-RM (Fleck i Dean 1987, MacDougall i wsp. 1985, Sale i wsp. 1994). McCartney i wsp. (1993) potwierdzili opisany wpływ względnego obciążenia na wielkość odpowiedzi presyjnej w czasie wykonywania ćwiczeń siłowych. Autorzy Ci zaobserwowali większy wzrost ciśnienia podczas wysiłków z obciążeniem 80% 1-RM, niż z obciążeniem 60% 1-RM. Co więcej, wykazali oni, że po 12 tygodniach treningu siłowego, który spowodował wzrost siły mięśni, to samo obciążenie absolutne powodowało mniejszy wzrost ciśnienia aniżeli przed treningiem, natomiast jeżeli wyrażano to samo obciążenie w wartościach względnych wzrost ciśnienia był taki sam.

Fleck i wsp. (1987) wykazali, że reakcja hemodynamiczna na ćwiczenia siłowe zależna jest od stopnia wytrenowania. Stwierdzili oni, iż przy tym samym obciążeniu względnym wzrost ciśnienia był podobny w grupie osób prowadzących

siedzący tryb życia i rozpoczynających trening siłowy, lecz znacznie niższy u doświadczonych kulturystów. Oznaczać to może, że stopień wytrenowania jest ważnym czynnikiem kształtującym wielkość reakcji presyjnej na ćwiczenia siłowe. Autorzy ci zaobserwowali ponadto, że wzrost ciśnienia był podobny przy różnych obciążeniach względnych (90, 80, 70, 50% 1-RM), co wydaje się zaprzeczać wspomnianej zależności pomiędzy wartością obciążenia względnego a wielkością reakcji presyjnej. Być może wynika to z różnej ilości powtórzeń, jakie wykonywali badani przy różnych obciążeniach względnych. Jeśli seria ćwiczeń wykonywanych przy mniejszym obciążeniu była dłuższa od serii ćwiczeń wykonywanych przy większym obciążeniu to poziom zmęczenia pod koniec każdej z tych serii mógł być podobny. Jeśli przyjąć, że reakcja presyjna zależy w znacznym stopniu od układu współczulnego a stopień pobudzenia tego układu zależy od stopnia zmęczenia mięśni to jest możliwe, że przy podobnym stopniu zmęczenia pobudzenie układu współczulnego będzie podobne. Innymi słowy, niezależnie od tego czy dany poziom zmęczenia mięśni zostanie osiągnięty przez wykonanie większej liczby powtórzeń z mniejszym obciążeniem, czy też małą liczbą powtórzeń z większym obciążeniem, stopień pobudzenia układu współczulnego, a zatem wielkość reakcji presyjnej będzie podobna.

Przedstawione tłumaczenie wydaje się być potwierdzone badaniami Lamotte i wsp. (2005), którzy zaobserwowali mniejszy wzrost wartości częstości skurczów serca i ciśnienia skurczowego podczas treningu siłowego wykonywanego z obciążeniem 70% 1-RM w czasie 20 sek. (10 powtórzeń) w porównaniu z wysiłkiem z obciążeniem 40% 1-RM w czasie 34 sek. (17 powtórzeń).

Mechanizm reakcji układu krążenia na ćwiczenia treningu siłowego jest złożony. Wzrost ciśnienia tętniczego może być efektem wzrostu pojemności minutowej i/lub wzrostu oporu obwodowego. Brany jest też pod uwagę wpływ mechaniczny kurczących się mięśni na naczynia układu tętniczego. Wzrost pojemności minutowej może być spowodowany wzrostem częstości skurczów serca i/lub wzrostem objętości wyrzutowej.

Miles i wsp. (1987) stosując metodę reografii impedancyjnej, stwierdzili, że podczas prostowania i zginania obciążonej kończyny dolnej objętość wyrzutowa była zmniejszona w obu fazach (koncentrycznej i ekscentrycznej) wysiłku. Przyspieszony w czasie wykonywania ćwiczeń rytm serca powodował jednak, że pojemność minutowa w fazie koncentrycznej nie malała, zaś w fazie ekscentrycznej wzrastała.

Badacze ci nie zaobserwowali różnic w rytmie serca pomiędzy fazą ekscentryczną i koncentryczną ćwiczenia; wzrost pojemności minutowej w fazie ekscentrycznej wiązał się z faktem, że objętość wyrzutowa w tej fazie malała w mniejszym stopniu niż w fazie koncentrycznej. W czasie wykonywania ćwiczeń wzrastał opór obwodowy. Należy dodać, że uzyskane przez tych autorów wyniki należy traktować z ostrożnością z uwagi na brak kontroli czynności oddechowej. Choć badanym zalecano wstrzymywania oddechów, nie monitorowano czynności oddechowej. Z tego względu nie można wykluczyć, że w badaniach tych mogło dochodzić do spontanicznego wytwarzania warunków Valsalvy, co z kolei mogło wpłynąć na obraz reakcji hemodynamicznej.

Mark i wsp. (1985) postawili hipotezę, że w przypadku wysiłków izometrycznych, wzrost częstości skurczów spowodowany jest głównie zahamowaniem aktywności układu przywspółczulnego. Hamowanie to jest skutkiem pobudzenia płynącego z okolic ruchowych kory mózgowej do podkorowych ośrodków regulujących czynność serca. Pobudzenie to może nie tylko hamować układ przywspółczulny, ale także pobudzać układ współczulny, pod warunkiem, że skurcz wykonywany jest z dużą siłą – 75% maksymalnej siły rozwijanej podczas skurczu dowolnego (Victor i wsp. 1985). Drugim źródłem sygnałów do ośrodków sercowo-naczyniowych są chemoreceptory zlokalizowane w mięśniach szkieletowych; przyjmuje się, że ich pobudzenie metabolitami wysiłkowymi zwiększa aktywność układu współczulnego (Rowell i O'Leary 1990). Nie wiadomo, w jakim stopniu opisane wyżej mechanizmy kształtują odpowiedź układu krążenia na dynamiczne wysiłki siłowe.

1.4.2. Rola warunków Valsalvy w kształtowaniu reakcji układu krążenia na ćwiczenia siłowe

1.4.2.1. Reakcji układu krążenia na klasyczną próbę Valsalvy

Próba Valsalvy została opisana w 1700 roku przez włoskiego uczonego, Antonia Marię Valsalwę; próba ta polega na usiłowaniu wykonania wydechu przy zamkniętej głośni (Yale 2005). W czasie klasycznej próby Valsalvy badany dmucha do ustnika połączonego z manometrem, starając się utrzymać ciśnienie w jamie ustnej na poziomie 40 mm Hg przez 15 sekund. Istnieją różne modyfikacje protokołu tego badania (Malik 1998). Podczas próby Valsalvy wzrasta ciśnienie śródpiersiowe.

Można, za Hamiltonem i wsp. (1936) przyjąć, że odpowiedź układu krążenia na tą próbę może być podzielona na 4 fazy.

Zaraz po rozpoczęciu próby, w fazie I trwającej ok. 2 sek, następuje krótkotrwały wzrost ciśnienia tętniczego, zarówno skurczowego i rozkurczowego oraz zwolnienie rytmu serca. Przypuszcza się, że wzrost ciśnienia tętniczego spowodowany jest przez mechaniczne przeniesienie wzrostu ciśnienia śródpiersiowego do łożyska tętniczego, a to z kolei na drodze odruchowej prowadzi do zwolnienia rytmu serca.

W pierwszej części fazy II następuje stopniowe obniżanie ciśnienia skurczowego i rozkurczowego oraz ciśnienia tętna, czemu towarzyszy wzrost częstości skurczów serca. Jak się przypuszcza ten wzrost częstości skurczów serca może wynikać z odbarczenia baroreceptorów tętniczych; obniżenie ciśnienia tętniczego może też powodować na drodze odruchowej wzrost aktywności układu współczulnego, a w konsekwencji skurcz naczyń krwionośnych.

W drugiej części fazy II rytm serca przyspiesza w niewielkim stopniu. Obserwuje się wyraźny, choć niewielki wzrost ciśnienia skurczowego i rozkurczowego, przy czym ciśnienie tętna staje się coraz mniejsze. Obserwuje się obniżenie aktywności współczulnej.

Fazą III nazywamy reakcję układu krążenia obserwowaną w ciągu kilku pierwszych skurczów serca występujących po otwarciu głośni i powrocie ciśnienia w płucach do wartości spoczynkowej. W czasie tej fazy następuje ponowne obniżenie ciśnienia tętniczego skurczowego i rozkurczowego, przy czym ciśnienie tętna staje się bardzo małe.

W IV fazie, gdy badany oddycha już normalnie następuje stopniowy wzrost ciśnienia skurczowego i rozkurczowego, wzrost ciśnienia pulsu i wydłużenie interwału RR.

Często opisując reakcje układu krążenia na próbę Valsalvy, stosuje się termin „nadstrzał” (*overshoot*). Pojęcie to opisuje wzrost ciśnienia tętniczego powyżej wartości spoczynkowej. Sądzi się, że nadstrzał jest wynikiem powrotu pojemności minutowej serca do wartości sprzed próby Valsalvy, przy czym krew pompowana jest do naczyń krwionośnych pozostających jeszcze w stanie zwiększonego skurczu. Odpowiedzią na nadstrzał jest bradykardia pojawiająca się w IV fazie próby Valsalvy.

1.4.2.2. Występowanie warunków Valsalva podczas ćwiczeń siłowych

Występowanie wysokiego ciśnienia śródpiersiowego w czasie wykonywania ćwiczeń siłowych jest zjawiskiem typowym. W przypadku wysiłków siłowych właściwsze byłoby mówienie o warunkach Valsalvy, z tej racji, iż określenie próba Valsalvy, co implikuje czynność zamierzoną i świadomą. Tymczasem osoba podczas ćwiczenia siłowego często nieświadomie, wytwarza warunki Valsalvy. Bardziej istotne od kwestii świadomego, czy nieświadomego wykonywania próby Valsalvy jest to, że podczas wysiłków siłowych warunki te często trwają 2-3 sekundy. Jak wyżej wspomniano reakcja układu krążenia na próbę Valsalvy jest złożonym procesem składającym się z kilku faz. Z tego właśnie względu czas trwania próby Valsalvy ma zasadnicze znaczenie dla charakteru reakcji układu krążenia.

W piśmiennictwie anglojęzycznym używa się wyłącznie terminu „*Valsalva manoeuvre*”. Termin ten odnosi się zarówno do warunków Valsalvy jak i do próby Valsalvy. Określenie „*Valsalva manoeuvre*” nie precyzuje czasu utrzymywania podwyższonego ciśnienia śródpiersiowego. Nie jest zatem jasne czy stwierdzenie, że podczas serii ćwiczeń siłowych wystąpiły warunki Valsalvy oznacza, że przez kilkanaście sekund utrzymywało się podwyższone ciśnienie śródpiersiowe i w tym czasie badany wykonuje jedno lub kilka pełnych ćwiczeń siłowych, czy też chodzi o sytuację, w której badany utrzymuje wysokie ciśnienie śródpiersiowe przez 2 - 3 sekundy wykonując w tym czasie jedną z faz ćwiczenia siłowego. W obecnej pracy używane jest wyrażenie „krótka próba Valsalvy” dla określenia świadomie przez badanego wytwarzanego wzrostu ciśnienia śródpiersiowego przez 2 - 3 sekundy.

Należy też zwrócić uwagę na to, iż w niektórych pracach analizujących reakcję hemodynamiczną na ćwiczenia siłowe nie wspomina się nawet czy u badanego wystąpiły warunki Valsalvy (Featherstone i wsp. 1993, Crozier i wsp. 1989, Narloch i wsp. 1995). Inni autorzy stwierdzają jedynie, że podczas badań starano się takich warunków uniknąć. Jest jednak wątpliwe czy rzeczywiście jest możliwe uniknięcie warunków Valsalvy w czasie ćwiczeń siłowych wykonywanych z dużym obciążeniem. MacDougall i wsp. (1992) podają, że ćwiczący podczas ćwiczeń z bardzo dużymi obciążeniami uważają za konieczne wytworzenie warunków Valsalvy, co ich zdaniem pomaga w stabilizacji tułowia. Tylko w niewielu badaniach podczas wykonywania ćwiczeń monitorowano ciśnienie śródpiersiowe lub ciśnienie w ustach mogące istotnie wpływać na ciśnienie śródpiersiowe.

MacDougall i wsp. (1985) mierzyli ciśnienie powietrza w jamie ustnej podczas wykonywania ćwiczeń siłowych i stwierdzili, że warunki Valsalvy w sposób wyraźny występowały podczas ćwiczenia z obciążeniem 1-RM oraz przy mniejszych obciążeniach w czasie ostatnich powtórzeń. Ciśnienie w jamie ustnej mieściło się w zakresie 30 - 50 mmHg, nigdy nie przekraczając 70 mmHg. W kolejnej pracy MacDougall i wsp. (1992) stwierdzili, że warunki Valsalvy pojawiały się sporadycznie podczas wykonywania ćwiczeń z obciążeniem mniejszym niż 80% 1-RM i zawsze towarzyszyły ćwiczeniom wykonywanym z obciążeniem powyżej 80% 1-RM.

1.4.2.3. Reakcja układu krążenia na krótkotrwałe warunki Valsalvy

Występowanie warunków Valsalvy w czasie ćwiczeń siłowych stanowi czynnik, który istotnie modyfikuje reakcję układu krążenia. Istnieje zgodność co do tego, że warunki Valsalvy wytwarzane podczas ćwiczeń siłowych podnoszą ciśnienie tętnicze krwi. MacDougall i wsp. (1985) w celu określenia wpływu warunków Valsalvy na ciśnienie tętnicze polecali wykonywanie przez badanych maksymalnego wydechu. Badani dmuchali do ustnika manometru i utrzymywali podwyższone ciśnienie w ustach przez 5 sekund. Badania te wykonywane były w spoczynku. Średnie ciśnienie w ustach u przebadanych 5 kulturystów wyniosło 130 mmHg i utrzymywane było przez 5 sekund. Zwiększenie ciśnienia powietrza w ustach do 130 mmHg powodowało natychmiastowy wzrost ciśnienia skurczowego i rozkurczowego z 135/90 do 190/170 mmHg. Podwyższone ciśnienie tętnicze utrzymywało się przez cały czas trwania warunków Valsalvy. Dane przedstawione przez autorów w tej pracy nie pozwalają stwierdzić, w jakim stopniu warunki Valsalvy w czasie wykonywania ćwiczenia siłowego zwiększają ciśnienie tętnicze. W kolejnej pracy MacDougall i wsp. (1992) poszerzyli protokół badania wpływu warunków Valsalvy na ciśnienie tętnicze, badając przyrosty ciśnienia tętniczego przy różnym ciśnieniu śródpiersiowym mierzonym w przełyku (wartości ciśnienia śródpiersiowego wynosiły 20, 40, 60, 80 i 100% maksymalnego ciśnienia powietrza, jakie badany mógł wytworzyć i utrzymać w ustach przez 5 sekund). Badania te, podobnie jak w uprzednio opisywanej pracy, wykonywane były w spoczynku. Wzrost ciśnienia śródpiersiowego powodował prawie liniowy wzrost ciśnienia skurczowego i rozkurczowego w zakresie 20 - 100% maksymalnego ciśnienia śródpiersiowego. Na uwagę zasługują opisane w tej pracy przebiegi zmian ciśnienia

tętniczego i ciśnienia śródpiersiowego w czasie wykonywania ćwiczeń siłowych – wypychania ciężaru nogami na suwnicy. Dla przykładu: w czasie wykonywania do odmowy serii 27 powtórzeń widoczne jest narastanie amplitudy fazowych zmian ciśnienia śródpiersiowego do około 100 mmHg i odpowiedni wzrost amplitudy fazowych zmian tętniczego ciśnienia skurczowego do około 360 mmHg. Autorzy tej pracy przedstawili również dane o wzroście ciśnienia tętniczego i śródpiersiowego dla różnych obciążeń i form ćwiczeń siłowych (wysiłek koncentryczny, izometryczny i ekscentryczny). Dla formy koncentrycznej wysiłku (badany wykonywał fazę koncentryczną ćwiczenia samodzielnie, w fazie ekscentrycznej był odciążany przez pomocników) z obciążeniem równym 50% maksymalnej siły jaką badany był w stanie wygenerować w takim ćwiczeniu (50% MVC, MVC – *maximal voluntary contraction*), ciśnienie śródpiersiowe, skurczowe i rozkurczowe wynosiło odpowiednio 17, 200, 105 mmHg, dla 70 % MVC – 49, 241, 136 mm Hg i dla 87,5 % MVC – 51, 263, 142 mmHg. Dane te ukazują, że wzrostowi obciążenia towarzyszy wzrost ciśnienia śródpiersiowego i tętniczego. Nie pozwalają jednak stwierdzić w jakim stopniu przyrost ciśnienia tętniczego wynika ze wzrostu obciążenia, a w jakim jakim jest konsekwencją wzrostu ciśnienia śródpiersiowego.

Należy podkreślić, że ciśnienie tętnicze może wzrosnąć gwałtownie, w ciągu ułamka sekundy. MacDougall i wsp. (1985, 1992) potwierdzili, że ciśnienia śródpiersiowe jest natychmiast przenoszone do pnia tętniczego, co powoduje skokowy wzrost ciśnienia skurczowego i rozkurczowego. Autorzy stwierdzają, że w pierwszej fazie wzrostu ciśnienia tętniczego spowodowanego warunkami Valsalvy wzrost ciśnienia śródpiersiowego o 1 mmHg wywołuje wzrost ciśnienia skurczowego i rozkurczowego również o 1 mmHg. Jeśli jednak warunki Valsalvy trwają dłużej niż 3 sekundy rozpoczyna się szybki spadek ciśnienia skurczowego, rozkurczowego i ciśnienia pulsu spowodowany prawdopodobnie zmniejszaniem się wypełniania komór serca.

Krótkotrwałe warunki Valslavy, trwające 2-3 sekundy, występujące w czasie ćwiczeń siłowych odpowiadają pierwszej fazie standardowej próby Valsalvy. Reakcja układu krążenia na te warunki może być również bardzo podobna do reakcji na pojedyncze kasznięcie. W obydwu przypadkach dochodzi do krótkotrwałego wzrostu ciśnienia śródpiersiowego. Hamilton i wsp. (1936) opisali zmiany ciśnienia tętniczego mierzonego metodą inwazyjną i ciśnienia w jamie ustnej w czasie symulowanych kasznięć. Stwierdzili oni, że kasznięciom towarzyszy krótkotrwały

wzrost ciśnienia tętniczego; wielkość tego wzrostu była taka sama jak wzrost ciśnienia śródpiersiowego. Autorzy wnioskują, że przyczyną wzrostu ciśnienia tętniczego w czasie kaszlnięć jest mechaniczne przeniesienie wzrostu ciśnienia śródpiersiowego na ciśnienia tętnicze. Ten wzrost ciśnienia tętniczego najprawdopodobniej nie był związany z chwilowym wzrostem pojemności minutowej serca czy oporu obwodowego. Przeciwno roli pojemności minutowej (ml/m^2) serca przemawia brak przyspieszenia rytmu serca i brak wzrostu objętości wyrzutowej. O braku wzrostu tej objętości może świadczyć brak wzrostu ciśnienia pulsu; wielkość ciśnienia pulsu jest pośrednią miarą objętości wyrzutowej. Wiadomo też, że mięśnie gładkie naczyń krwionośnych kurczą się powoli i okres 2 sekund jest zbyt krótki aby doszło do istotnego skurczu tych mięśni, a zatem wzrostu oporu obwodowego.

1.4.2.4. Niejednoznaczna ocena skutków występowania warunków Valsalvy w czasie ćwiczeń siłowych

Pomimo korzystnego wpływu ćwiczeń siłowych na mięśnie szkieletowe, trening siłowy do końca lat 80 XX wieku nie był zalecany a szczególnymi przeciwwskazaniami do jego wykonywania były choroby serca (Lamotte 2005). Przyczyną tego był znaczny wzrost ciśnienia tętniczego obserwowany podczas wysiłków siłowych, przy czym chodziło tu głównie o ćwiczenia izometryczne, trwające od kilkadziesiąt sekund do kilku minut. Jak wspomniano wyżej MacDougall i wsp. (1985) zaobserwowali, podczas ćwiczeń siłowych wykonywanych przez kulturystów, bardzo duże wzrosty ciśnienia tętniczego; u jednego z badanych dochodziły one do wartości 480/350 mmHg.

Pogląd o niekorzystnym wpływie treningu siłowego na układ krążenia znalazł swoje naukowe uzasadnienie w pracach, głównie z lat siedemdziesiątych (Atkins i wsp. 1976, Fardy 1981, Mitchell i Wildenthal 1974, Nutter i wsp. 1972, Quinones i wsp. 1974). Meyer i Foster (2004) podtrzymują opinie, że ćwiczenia siłowe mogą być bardzo niebezpieczne dla organizmu.

W późniejszych pracach zwraca się już uwagę na względne bezpieczeństwo treningu siłowego (Keleman i wsp. 1986, Sheldahl i wsp. 1983, Sheldahl i wsp. 1985, Sparling i Cantwell 1989, Bander i wsp. 1986). Evans (1999) stwierdza dobitnie, że przy zastosowaniu właściwej techniki oddychania obciążenie układu krążenia ćwiczeniami siłowymi jest minimalne. Należy dodać, że wzrost obciążenia

układu krążenia obserwowany w czasie treningu siłowego może być podobny do stwierdzanego podczas treningu wytrzymałościowego (Vinson i wsp. 1994, Green i wsp. 2001).

Na ogół zaleca się unikanie warunków Valsalvy w czasie wykonywania ćwiczeń siłowych z uwagi na dodatkowy wzrost ciśnienia jakie one wywołują. Jednak już MacDougall i wsp. (1992) poddali w wątpliwość zalecenie unikania warunków Valsalvy przez ćwiczących i twierdzili, że warunki te poprzez zwiększenie ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego prowadzą do zmniejszenia ciśnienia transmuralnego, będącego miarą efektywnej siły rozciągającej naczyńia mózgowe. Autorzy Ci powołali się na pracę Hamilton i wsp. (1943), w której szczegółowo rozważano mechanizm przenoszenia ciśnienia w klatce piersiowej na płyn mózgowo-rdzeniowy - do wzrostu ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego wystarczy niewielkie przemieszczenie ścian otaczających przestrzeń wypełnioną przez ten płyn. Ściany te charakteryzują się dużą sztywnością, co powoduje, że nawet niewielkie ich przemieszczenie, spowodowane wzrostem ciśnienia śródpiersiowego prowadzić może do dużego wzrostu ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego.

Haykowsky i wsp. (2003) analizowali możliwość ochronnego wpływu warunków Valsalvy na tętnicze naczynia mózgowe. Badacze ci zmierzili metodą bezpośrednią ciśnienie śródczaszkowe, a pośrednio ciśnienie tętnicze podczas ćwiczenia siłowego polegającego na zginaniu przedramienia z obciążeniem (*biceps curl*). Ćwiczenie to wykonywane było w taki sposób, aby nie występowały warunki Valsalvy. Stwierdzili oni, że różnica pomiędzy ciśnieniem tętniczym skurczowym a ciśnieniem śródczaszkowym, czyli ciśnienie transmuralne było większe podczas wysiłku siłowego niż w spoczynku. Ponadto badani wykonywali próbę Valsalvy w spoczynku bez wysiłku siłowego. W czasie wykonywania tej próby wspomniane ciśnienie transmuralne było niższe niż w spoczynku pomimo tego, że ciśnienie tętnicze było w tym czasie wyższe od spoczynkowego. Było to wynikiem tego, że spowodowany próbą Valsalvy przyrost ciśnienia śródczaszkowego był większy od spowodowanego nią przyrostu ciśnienia tętniczego. Wyniki tych obserwacji skłoniły autorów do postawienia tezy, iż wykonywanie próby Valsalvy w czasie wykonywania ćwiczeń siłowych może zmniejszyć ciśnienie transmuralne pomimo dodatkowego zwiększenia ciśnienia tętniczego.

Haykowsky i wsp. (2002) wskazali również na możliwość korzystnego dla serca działania warunków Valsalvy. Autorzy ci stwierdzają, że bardzo duży wzrost ciśnienia tętniczego podczas ćwiczeń siłowych, który powinien wywołać koncentryczny przerost mięśnia sercowego polegający na wzroście grubości ścian lewej komory przy minimalnych zmianach jej objętości, nie prowadzi zawsze do takiej zmiany. U 40% sportowców wykonujących trening siłowy nie stwierdzono koncentrycznego przerostu mięśnia sercowego, co mogło być skutkiem ochronnego działania podwyższonego w warunkach Valsalvy ciśnienia śródpiersiowego. Badacze Ci (Haykowsky i wsp. 2001) stwierdzili, że różnica pomiędzy ciśnieniem końcowoskurczowym w lewej komorze a ciśnieniem śródpiersiowym wzrasta w niewielkim stopniu w czasie ćwiczenia siłowego wykonywanego z dużym obciążeniem, jeśli ćwiczenie to wykonywane jest w warunkach Valsalvy. Dzieje się tak pomimo bardzo znacznego wzrostu ciśnienia tętniczego. Również wskaźniki końcowo skurczowego napięcia ścian lewej komory i funkcji skurczowej lewej komory nie uległy istotnej zmianie w czasie wykonywania ćwiczeń siłowych połączonych z wykonywaniem próby Valsalvy. Wzrost działającego na ścianę lewej komory ciśnienia transmuralnego w czasie wykonywania ćwiczenia siłowego połączonego z wykonywaniem próby Valsalvy, jest - w porównaniu z jego wartością w spoczynku - niewielki. Jest to efekt wzrostu ciśnienia śródpiersiowego, który przewyższa przyrost ciśnienia tętniczego spowodowanego wykonywaniem tej próby.

Należy jednak zaznaczyć, że badacze ci nie przeprowadzili badań polegających na wykonaniu identycznych ćwiczeń bez warunków Valsalvy. Uniemożliwiło to stwierdzenie czy brak próby Valsalvy podczas wykonywania tych ćwiczeń rzeczywiście powodowałyby znaczniejszy wzrost ciśnienia transmuralnego serca.

Choć warunki Valsalvy wydają się zapobiegać przerostowi koncentrycznemu serca i zmniejszać ryzyko uszkodzenia naczyń mózgowych, ich oddziaływanie na naczynia krwionośne gałki ocznej może być niekorzystne. W czasie warunków Valsalvy wzrost ciśnienia śródpiersiowego prowadzi do wzrostu ciśnienia śródgałkowego (Lam i Lam, 2004). Zwiększenie ciśnienia żylnego śródgałkowego może skutkować pękaniem naczyń włosowatych siatkówki. Mechanizm ten być może wyjaśnia przyczynę zwyrodnienia plamki ocznej w wyniku występowania warunków Valsalvy (ang. *Valsalva maculopathy*) (Chapman i wsp. 2002). Stwierdzono znaczny wzrost ciśnienia wewnątrzgałkowego podczas wyciskania

ciężaru na ławeczce wykonywanego z obciążeniem 80% 1-RM w warunkach Valsalvy (Vieira i Oliveira 2006). Opisywane są przypadki małych wylewów naczyń włosowatych w gałce ocznej wywołanych warunkami Valsalvy towarzyszących ciężkim wysiłkom fizycznym. Pitta i wsp. (1980) opisują 9 przypadków takich wylewów, w tym 2 przypadki dotyczyły wysiłków siłowych a jeden wysiłku wytrzymałościowego.

2. Cel badań

Jak wynika z przedstawionego piśmiennictwa ocena skutków występowania krótkotrwałych warunków Valsalvy nie jest jednoznaczna. Z jednej strony zaleca się unikanie wytwarzania warunków Valsalvy przez ćwiczących ze względu na dodatkowy - poza wywołany samym wysiłkiem - wzrost ciśnienia tętniczego (Evans 1999, ACSM 2002). Z drugiej strony, zgodnie z hipotezą przedstawioną przez Haykowskiego i wsp. (2001, 2002, 2003), wzrost ciśnienia śródpiersiowego, spowodowany warunkami Valsalvy występującymi podczas ćwiczeń siłowych, może pełnić rolę ochronną wobec naczyń krwionośnych w klatce piersiowej. Wzrost ten powoduje bowiem zmniejszenie ciśnienia transmuralnego działającego na te naczynia pomimo tego, że prowadzi on również do wzrostu ciśnienia tętniczego. Ponadto wzrost ciśnienia śródpiersiowego może chronić mięsień sercowy przed przerostem koncentrycznym i - co bardzo ważne - powodując równoczesny wzrost ciśnienia płynu mózgowo - rdzeniowego, powodować w konsekwencji zmniejszenie ciśnienia transmuralnego działającego na naczynia tętnicze w czaszce.

Warunkiem wystąpienia ochronnego efektu warunków Valsalvy wynikającego ze zmniejszenia ciśnienia transmuralnego jest to, aby wzrost ciśnienia śródpiersiowego był większy od wywołanego warunkami Valsalvy przyrostu ciśnienia tętniczego.

Celem tej pracy było zbadanie czy krótka próba Valsalvy wykonywana w czasie wysiłku siłowego może pełnić funkcję ochronną wobec naczyń tętniczych klatki piersiowej.

Aby odpowiedzieć na to pytanie, postanowiono porównać wzrost ciśnienia tętniczego wywołany wykonywaniem ćwiczeń siłowych podczas regularnego oddychania 15 razy na minutę ze wzrostem ciśnienia tętniczego podczas wykonywania takich samych ćwiczeń, gdy w wybranej fazie ćwiczenia siłowego

badany wykonywał krótkotrwałą próbę Valsalvy. Przyjęto, że zgodnie z tym, co zostało wyżej wyjaśnione, krótkotrwała próba Valsalvy pełni rolę ochronną wtedy, gdy różnica pomiędzy ciśnieniem tętniczym obserwowanym w czasie wykonywania ćwiczeń siłowych połączonych z krótką próbą Valsalvy, a ciśnieniem tętniczym zmierzonym podczas wykonywania takich samych ćwiczeń podczas regularnego oddychania jest mniejsza od ciśnienia w jamie ustnej wytworzonego przez badanego w czasie próby Valsalvy.

3. Badani i metody

3.1. Badani

Badania przeprowadzono w grupie 12 zdrowych ochotników, mężczyzn po zapoznaniu się przez nich z procedurami badawczymi i podpisaniu formularza zgody. Średni wiek badanych wynosił $23,9 \pm 4,2$ lat, masa ciała $83,9 \pm 16,6$ kg, wzrost $179,8 \pm 6,4$ cm, BMI $25,8 \pm 4,1$ kg m⁻² (średnia \pm SD). Dane badanych wraz z indywidualnym obciążeniem przedstawiono w Tabeli I. Na przeprowadzenie badań uzyskano zgodę lokalnej Komisji etycznej.

Tabela I. Charakterystyka badanych oraz indywidualne wartości obciążenia.

Osoba	Wiek w latach	Wzrost w cm	Masa ciała w kg	Obciążenie w kg
1	23	171	66	35
2	27	190	125	55
3	21	182	72	25
4	28	180	87	50
5	21	180	94	50
6	20	186	72	50
7	29	176	87	55
8	21	185	94	45
9	20	183	82	35
10	32	170	63	30
11	20	183	78	65
12	25	172	86	40

3.2. Pomiary i ich rejestracja

Czynność oddechową rejestrowano przy pomocy pneumatowolumetru (MEDIKRO, Finlandia) a ciśnienie w jamie ustnej podczas próby Valsalvy przy pomocy elektronicznego czujnika ciśnienia systemu pomiarowego WinCPRS (Absolute Aliens, Finlandia).

Ciśnienie tętnicze krwi mierzono metodą ciągłą, nieinwazyjną przy pomocy aparatu Portapres (FMT, Holandia). Mankiet pomiarowy założony był na palcu unieruchomionej ręki.

Kąt obrotu ramienia dźwigni przenoszącej ruch podudzia na ruch obciążników był rejestrowany jako napięcie zależne od oporu elektrycznego rezystora obrotowego.

System rejestracji danych składał się z komputera, przetwornika analogowo-cyfrowego (WinAcq, Absolute Alians, Finland) i oprogramowania WinCPRS (Absolute Aliens, Finlandia). Sygnały analogowe były przetwarzane na sygnał cyfrowy z częstością próbkowania wynoszącą 200 Hz. System pozwalał na współbieżną rejestrację wszystkich wymienionych wyżej sygnałów, ich korektę, edycję i analizę.

Krzywa przepływu powietrza oddechowego była przekształcana w krzywą objętości oddechowej przy pomocy programu WinCPRS.

Na podstawie ciągłego zapisu ciśnienia tętniczego, ciśnienie skurczowe i rozkurczowe było wyznaczane *off-line* dla każdego cyklu serca przy pomocy programu WinCPRS.

3.3. Schemat doświadczenia

Badani proszeni byli o niewykonywanie ciężkich wysiłków fizycznych przez 2 doby poprzedzające pomiary i prowadzenie możliwie regularnego trybu życia w tym czasie. Przed rozpoczęciem badania, uczestniczące w nim osoby zapoznawane były z procedurą i schematem doświadczenia.

W czasie całego badania badani pozostawali w pozycji siedzącej na przyrządzie do ćwiczeń mięśni czworogłowych uda (OLIMP & OLYMP, Polska) (Ryc. nr 1)



Ryc. 1. Przyrząd do mięśni czworogłowych uda

Badanie składało się z następujących etapów:

1. rozgrzewka,
2. wyznaczenie wielkości obciążenia,
3. wykonywanie zestawu ćwiczeń.

3.2.1. Rozgrzewka oraz wyznaczenie obciążenia

Ćwiczenia siłowe

Badani w pozycji siedzącej wykonywali prostowania i zginania nóg w stawie kolanowym mając obciążone podudzia.

Oddychanie kontrolowane

Podczas wysiłku badani wykonywali wdechy i wydechy trwające po 2,5 sekundy, patrząc na wskazówkę urządzenia podającego odpowiednie tempo oddechów.

Rozgrzewka

Po 10 minutowym spoczynku badany był instruowany o technice wykonania ćwiczenia - prostowania i zginania nóg w stawie kolanowym w czasie 2,5 sekundy na każdą fazę ruchu oraz sposobie oddychania w tym tempie. Następnie badani

wykonywali ćwiczenia rozgrzewające, które polegały na wykonaniu 3 serii 6 podniesień w wyżej wymienionym tempie przy zachowaniu zadanego tempa oddychania. Pierwsza seria wykonywana była bez obciążenia a następne dwie z minimalnym obciążeniem – 5kg.

Wyznaczanie obciążenia

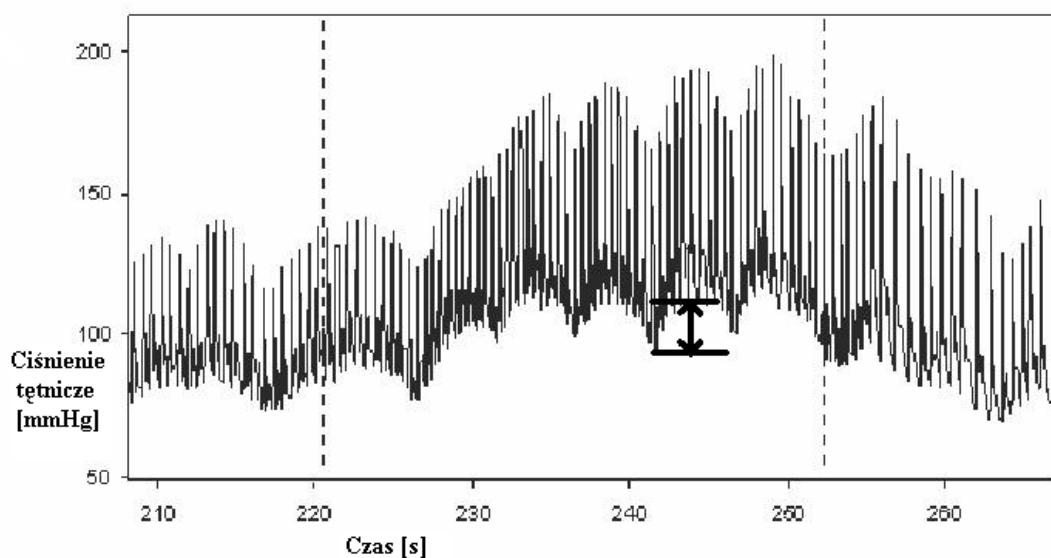
Celem procedury wyznaczania obciążenia było znalezienie obciążenia możliwie bliskiego obciążeniu 15 RM. Obciążenie to zostało ustalone na takim poziomie, aby umożliwić badanym wykonanie wszystkich zaplanowanych 9 serii, przy czym każda seria składała się z 6 powtórzeń. Wyznaczanie obciążenia rozpoczynano od obciążenia 10 kg. Jeśli badany był w stanie wykonać ponad 15 powtórzeń z danym obciążeniem, to zwiększano obciążenie o kolejne 5 kg, to jest o wartość ciężaru pojedynczego odważnika. Wykonywanie ćwiczeń było przerywane jeśli badany stwierdzał w trakcie wykonywania powtórzeń, że nie może kontynuować wysiłku, pojawiały się warunki Valsalvy, zaburzone było wyznaczone tempo oddychania lub unoszenia ciężaru. Na podstawie ilości wykonanych ćwiczeń i zastosowanego w trakcie obciążenie wyznaczano obciążenie odpowiadające 15 RM korzystając z tabeli zamieszczonej w *NSCA's Essentials of Personal Training* (Earle i Baechle 2004 str. 373).

3.2.2. Dobór wielkości ciśnienia w jamie ustnej stosowanego podczas krótkiej próby Valsalvy

Przed rozpoczęciem tej części badania, w której badany miał wykonywać kontrolowane, krótkie próby Valsalvy, wyznaczano indywidualną wielkość ciśnienia w jamie ustnej, jaką powinien wytworzyć w tej próbie. W tym celu u każdego badanego szacowano przyrost ciśnienia tętniczego spowodowanego występowaniem warunków Valsalvy podczas wykonywania ćwiczeń siłowych. Proszono ćwiczącego, aby w czasie fazy koncentrycznej ćwiczenia siłowego wykonywanego z obciążeniem 15-RM wstrzymywał oddech. Wstrzymanie oddechu było kontrolowane poprzez obserwację sygnału oddechowego.

W czasie kolejnych powtórzeń ćwiczeń siłowych ciśnienie tętnicze stopniowo wzrastało (ryc. 2). Równocześnie zaobserwowano krótkotrwałe wzrosty ciśnienia tętniczego, odpowiadające okresom bezdechu. Przyjęto, że właśnie te krótkotrwałe zmiany ciśnienia tętniczego - jeden taki wzrost oznaczony jest strzałką na rysunku -

spowodowane są wzrostem ciśnienia śródpiersiowego, do którego dochodzi w okresach bezdechu. Przyjęto dalej, że amplituda krótkotrwałej zmiany ciśnienia zależna jest od wielkości ciśnienia śródpiersiowego. Założono, że zmiana ciśnienia tętniczego odpowiada w stosunku 1:1 wzrostowi ciśnienia śródpiersiowego. Ostatnie z wymienionych założeń miało charakter roboczy i było przedmiotem późniejszej weryfikacji.



Ryc. 2. Wyznaczenie docelowego ciśnienia Valsalvy na podstawie krótkotrwałych zmian ciśnienia rozkurczowego podczas podnoszenia ciężaru w bezdechu

Uzyskane w ten sposób oszacowane wartości ciśnienia śródpiersiowego zostały użyte do wyznaczania docelowego ciśnienia Valsalvy (TMP – *target mouth pressure*) wytwarzanego przez badanych w czasie krótkiej próby Valsalvy. Zastosowano trzy poziomy 50%, 100% oraz 150% docelowego ciśnienia Valsalvy wyznaczonego w opisany wyżej sposób. Powodem przyjęcia procedury indywidualnego wyznaczania docelowego ciśnienia Valsalvy była chęć uniknięcia zmuszania badanych do generowania ciśnienia Valsalvy znacznie wyższego niż to, które wytwarzali oni spontanicznie. Z kolei dążenie do ograniczenia nadmiernych wartości ciśnienia Valsalvy spowodowane było opiniami badaczy zalecających unikanie warunków Valsalvy podczas ćwiczeń siłowych.

3.2.3. Schemat ćwiczeń

Założenia

Wpływ ciśnienia śródpiersiowego generowanego w czasie krótkiej próby Valsalvy na ciśnienie tętnicze oceniano poprzez porównanie ciśnienia tętniczego w sytuacji współistnienia fazy koncentrycznej (lub ekscentrycznej) ćwiczenia siłowego z krótką próbą Valsalvy z ciśnieniem tętniczym w sytuacji, gdy faza ta wykonywana była podczas kontrolowanego wdechu. Wpływ krótkiej próby Valsalvy na ciśnienie tętnicze w czasie wykonywania ćwiczeń siłowych porównano z wpływem takiej próby na ciśnienie tętnicze w spoczynku.

Schematy ćwiczeń w kolejności wykonania

- 1/ Badany w spoczynku wykonywał 2,5 sekundowe wdechy i 2,5 sekundowe wydechy.
- 2/ Badany wykonywał 2,5 sekundowe wdechy i 2,5 sekundowe wydechy. W czasie wdechu badany unosił ciężar, w czasie wydechu opuszczał.
- 3/ Badany wykonywał 2,5 sekundowe wdechy i 2,5 sekundowe wydechy. W czasie wdechu badany opuszczał ciężar, w czasie wydechu podnosił.
- 4/ Badany wykonywał szybki wdech, a następnie zatrzymywał oddychanie, co trwało łącznie 2,5 sekundy. Wydech wykonywany był przez następne 2,5 sekundy. W ciągu pierwszych 2,5 sekund (szybki wdech i zatrzymanie) badany unosił ciężar, w ciągu następnych 2,5 sekund badany ciężar opuszczał. To ćwiczenie służyło do wyznaczenia TMP.
- 5/ Badany, w spoczynku, wykonywał wdech w czasie około 2,5 sekund, a następnie przez następne 2,5 sekundy wykonywał krótką próbę Valsalvy, wytwarzając ciśnienie w ustach na poziomie 50% TMP.
- 6 i 7/ Ćwiczenia identyczne jak w punkcie 5, ale wykonywane przy zwiększonym ciśnieniu w ustach: w ćwiczeniu 6 badany wytwarzał 100% TMP, w ćwiczeniu 7 150% TMP.
- 8/ Badany wykonywał krótką próbę Valsalvy w czasie około 2,5 sekund, równocześnie podnosząc ciężar. Przez następne 2,5 sekundy wykonywał wdech wraz z opuszczeniem ciężaru.
- 9 i 10/ Ćwiczenia identyczne jak w punkcie 8, ale wykonywane przy zwiększonym ciśnieniu w ustach: w ćwiczeniu 9 badany wytwarzał 100% TMP, w ćwiczeniu 10 150% TMP.

11/ Badany wykonywał krótką próbę Valsalvy w czasie około 2,5 sekund, równocześnie opuszczając ciężar. Przez następne 2,5 sekundy wykonywał wdech wraz z podniesieniem ciężaru.

12 i 13/ Ćwiczenia identyczne jak w punkcie 11, ale wykonywane przy zwiększonym ciśnieniu w ustach: w ćwiczeniu 12 badany wytwarzał 100% TMP, w ćwiczeniu 13 150% TMP.

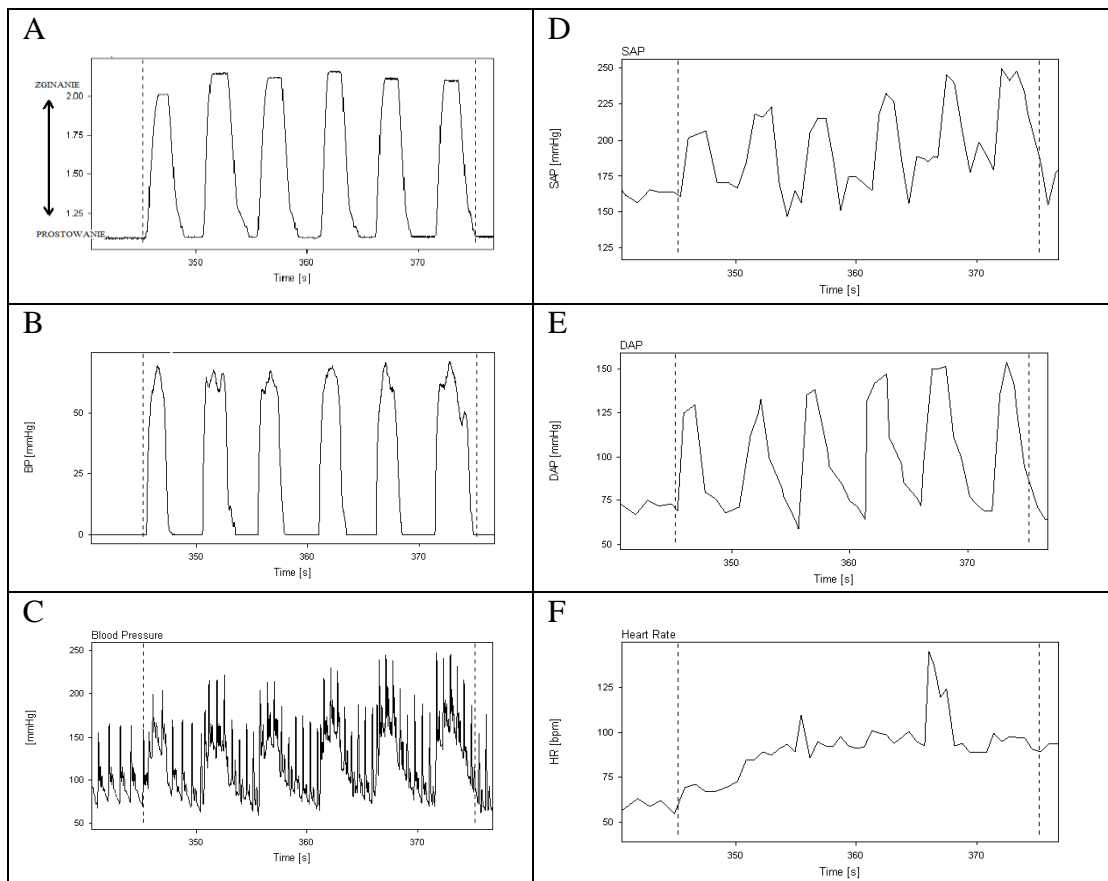
Każdy z badanych wykonał 13 serii opisanych wyżej ćwiczeń, po jednej serii dla każdego ćwiczenia. W każdej serii wykonywał 6 w miarę możliwości identycznych powtórzeń danego ćwiczenia, w szczególności – gdy częścią ćwiczenia była krótkotrwała próba Valsalvy - zwracano uwagę na to, aby badany utrzymywał za każdym razem takie samo ciśnienie powietrza w ustach. Kolejne serie przedzielone były 5 minutowymi przerwami.

W opisie wyników przyjęto system oznaczeń, uwzględniający to, że poszczególne ćwiczenia były kombinacją manewru oddechowego z ćwiczeniem siłowym (lub jego brakiem). Manewry oddechowe to oddychanie kontrolowane i trzy krótkie próby Valsalvy z utrzymywaniem ciśnienia w jamie ustnej na poziomie 50%, 100% i 150% TMP. Pierwszym członem oznaczenia jest litera K oznaczająca oddychanie kontrolowane, lub litera V i cyfry 1, 2, 3. I tak V1 oznacza krótką próbę Valsalvy, w której ciśnienie w ustach wynosiło 50% TMP, V2 i V3 oznaczają odpowiednio krótkie próby Valsalvy ciśnieniem w ustach na poziomie 100% TMP i 150% TMP. Drugim członem oznaczenia jest litera S, P lub Z. Litera S oznacza spoczynek, P – prostowanie kończyn dolnych, Z – zginanie kończyn dolnych. Człony połączone są znakiem „+”. W tej konwencji na przykład ćwiczenie 12 polegające na wykonaniu krótkiej próby Valsalvy z ciśnieniem w ustach utrzymywanym na poziomie 100% TMP zsynchronizowanej ze zginaniem kończyn dolnych jest oznaczone jako V2+Z.

W przypadku ćwiczeń wykonywanych podczas oddychania kontrolowanego prostowanie lub zginanie kończyn dolnych zawsze odnoszono do wdechu. Stąd ćwiczenie 2, w którym badany wykonywał 2,5 sekundowe wdechy i prostował kończyny dolne, oznaczone jest jako K+P. Ćwiczenie 3, w którym badany zgiął kończyny dolne w czasie wdechu oznaczone jest jako K+Z.

3.2.4. Analiza danych

Każda pojedyncza seria składała się z 6 powtórzeń ćwiczenia siłowego połączonych z wybranym manewrem oddechowym. Gdy rejestrowano odpowiedź układu krążenia na manewry oddechowe w spoczynku badany wykonywał 6 powtórzeń danego manewru oddechowego. Do obliczeń użyto dane otrzymane z 3 ostatnich powtórzeń w serii. Powodem wzięcia pod uwagę tylko 3 ostatnich powtórzeń było to, że dopiero po trzech powtórzeniach odpowiedź układu krążenia stabilizowała się, to znaczy przebiegi zmian ciśnienia tętniczego w czasie kolejnych powtórzeń ćwiczenia stawały się podobne (Ryc. 3). W każdym z tych trzech powtórzeń analizowano każdy cykl pracy serca. Dla każdego cyklu pracy serca określano czas jego trwania poprzez pomiar interwału pomiędzy dwoma załamkami R. Interwał ten jest oznaczany jako RRI (*RR interval*). Interwał RR (w milisekundach) przeliczano na częstość rytmu serca HR (*heart rate*) (w skurczach na minutę) zgodnie ze wzorem $HR = 60\,000/RRI$. Dla każdego cyklu pracy serca mierzono występujące w nim ciśnienia skurczowe SBP (*systolic blood pressure*) i rozkurczowe DBP (*diastolic blood pressure*). Dane te posłużyły do wyznaczenia, osobno dla każdego z trzech ostatnich powtórzeń ćwiczenia, wartości maksymalnej i minimalnej poszczególnych parametrów. W efekcie dla każdej serii 6 powtórzeń danego ćwiczenia uzyskano dla HR, SBP i DBP trzy wartości maksymalne i trzy minimalne. Z tych trzech wartości obliczano średnie, które stanowiły ostateczny wynik opisujący czynność układu krążenia w danej serii. Były to: maxHR i minHR, maxSBP i minSBP, maxDBP i minDBP.



Ryc. 3. Indywidualne przebiegi kąta obrotu w stawie kolanowym (A), ciśnienia mierzonego w ustach (B), ciśnienia tętniczego (C), skurczowego ciśnienia tętniczego (D), rozkurczowego ciśnienia tętniczego (E), rytmu serca (F).

3.2.5. Analiza statystyczna

Otrzymane wyniki poddano dwuczynnikowej analizie wariancji. Oceniano istotność następujących czynników: rodzaj ćwiczenia oraz sposób oddychania. Jako próg istotności statystycznej przyjęto wartość $p < 0,05$. W przypadku, gdy efekt główny czynnika lub interakcja między zmiennymi była istotna wykonywano analizę *post-hoc* Newmana – Keulsa.

4. Wyniki

4.1. Fazowe zmiany wskaźników hemodynamicznych

Jak o tym wspomniano w punkcie 3.4. dla każdego z trzech odcinków czasu, odpowiadających trwaniu trzech ostatnich powtórzeń ćwiczenia, wyznaczono wartości maksymalne i minimalne mierzonych parametrów. Wartości maksymalne tych parametrów pojawiały się w różnych momentach trwania ćwiczenia. Podobnie rzecz się miała z wartościami minimalnymi. Co więcej, jak to zostało opisane poniżej, wykonywanie różnych ćwiczeń zmieniało punkty czasowe występowania wartości maksymalnych i minimalnych, co więcej zmiany te były odmienne u różnych badanych. Z tej racji zrezygnowano z próby analizowania związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy zmianami poszczególnych parametrów i ograniczono się do określenia wartości maksymalnych i minimalnych analizowanych parametrów hemodynamicznych.

Kontrolowane oddychanie w spoczynku (K+S) powodowało rytmiczne zmiany ciśnienia skurczowego, rozkurczowego i częstości skurczów serca. U większości badanych (u 11 z 12 osób) zaobserwowano wyraźny przebieg tych zmian: ciśnienia skurczowe podczas wdechu przyjmowały wartości minimalne, podczas wydechu wartości maksymalne. U większości badanych również ciśnienie rozkurczowe przyjmowało niskie wartości podczas wdechu, jednakże u 3 osób z 11 wartość DBP osiągało najniższe wartości podczas wydechu. Częstość skurczów serca była najwyższa podczas wdechu, najniższa zaś w fazie wydechu.

Podczas wykonywania manewru Valsalvy w spoczynku (V1+S, V2+S, V3+S) najwyższe wartości SBP i DPB występowały podczas wykonywania krótkiej próby Valsalvy, natomiast najniższe wartości SBP i DBP występowały pomiędzy tymi próbami. Podczas krótkich prób Valsalvy wartość HR przyjmowała najniższą wartość, zaś między nimi rytm serca przyspieszał.

Wysiłek siłowy modyfikował reakcję hemodynamiczną. U 5 badanych fazowe zmiany ciśnienia tętniczego krwi w reakcji na wdech połączony z prostowaniem kończyn dolnych (K+P) były podobne do tych, gdy wdech wykonywany był w spoczynku (K+S). U pozostałych 7 badanych przebiegi zmian parametrów hemodynamicznych przybrały indywidualnie zróżnicowany charakter.

Rytm serca wzrastał podczas wdechu połączony z prostowaniem kończyn podudzi, malał w drugiej fazie ruchu. W przypadku, gdy wdech był

zsynchronizowany ze zgięciem kończyn dolnych (a więc wydech z ich prostowaniem), nie występował wyraźny wzorzec zmiany rytmu serca.

Jak to zostało wcześniej wspomniane, w wariantach, w których manewr Valsalvy został zsynchronizowany z prostowaniem (P) lub zginaniem kończyn dolnych (Z) obraz fazowych zmian wskaźników hemodynamicznych ustalał się na ogół w trzecim-czwartym powtórzeniu, natomiast ciśnienie tętnicze było podwyższone w czasie trzech ostatnich powtórzeń. Z tych powodów do analizy wybrano wartości wskaźników z 3 ostatnich powtórzeń.

Podczas manewru Valsalvy połączonego z prostowaniem podudzi (V1+P, V2+P, V3+P) lub ze zginaniem podudzi (V1+Z, V2+Z, V3+Z) zarówno skurczowe jak i rozkurczowe ciśnienie tętnicze krwi rosło gwałtownie wraz ze wzrostem ciśnienia w jamie ustnej oraz gwałtownie obniżało się wraz ze spadkiem ciśnienia w jamie ustnej.

Przebieg zmian rytmu serca wywoływany krótką próbą Valsalvy w czasie wykonywania ćwiczeń siłowych był podobny do zmian obserwowanych podczas identycznej próby w spoczynku. Podczas wysiłku amplituda zmian rytmu serca zmniejszała się. Stopień zmniejszenia był różny u poszczególnych osób.

4.2. Wpływ ćwiczeń siłowych i krótkich prób Valsalvy na ciśnienie tętnicze krwi

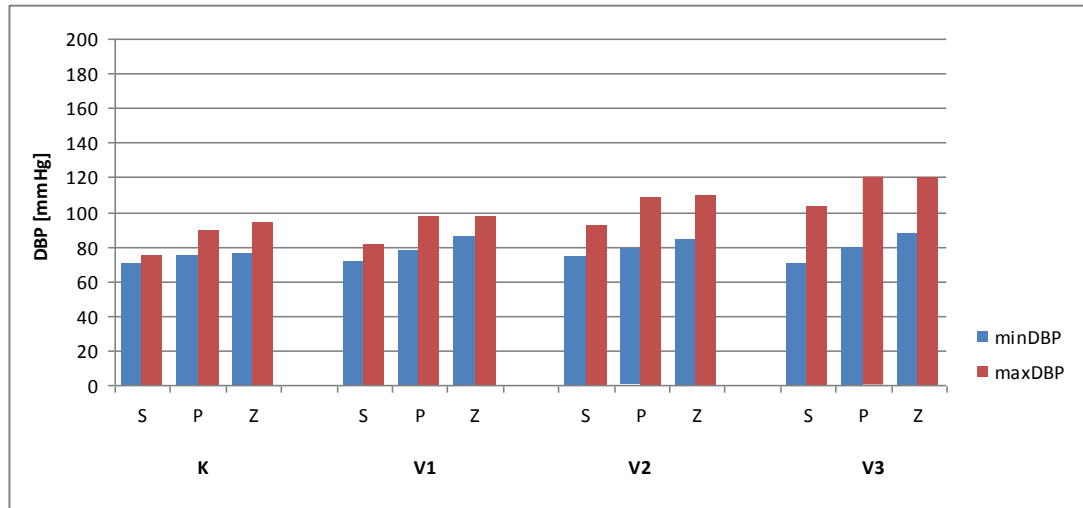
W Tabeli 2. zawarto wartości maksymalnego i minimalnego ciśnienia skurczowego (maxSBP i minSBP) oraz wartości maksymalnego i minimalnego ciśnienia rozkurczowego w czasie wykonywania wysiłku siłowego polegającego na prostowaniu i zginaniu obciążonych kończyn dolnych. Te same informacje są pokazane w formie graficznej na Ryc. 3. W przypadku oddychania kontrolowanego zsynchronizowane z wdechem było albo prostowanie (K+P), albo zginanie (K+Z) kończyn dolnych. Podobnie, w przypadku wykonywania krótkiej próby Valsalvy, próba ta była zsynchronizowana albo z prostowaniem (V(1,2,3)+P), albo ze zginaniem (V(1,2,3)+Z) kończyn dolnych. Ponadto w tabeli zawarte są dane otrzymane w spoczynku. Odpowiednikiem ćwiczenia jest w przypadku oddychania kontrolowanego w spoczynku (K+S) jeden cykl oddechowy trwający również 5 sekund. W przypadku, gdy badany wykonywał w spoczynku krótką próbę Valsalvy (V(1,2,3)+S) odpowiednikiem powtórzenia ćwiczenia jest cykl składający się z

krótkiej próby Valsalvy poprzedzonej krótkim wdechem, po której następował wydech – łączny czas tego cyklu to również 5 sekund.

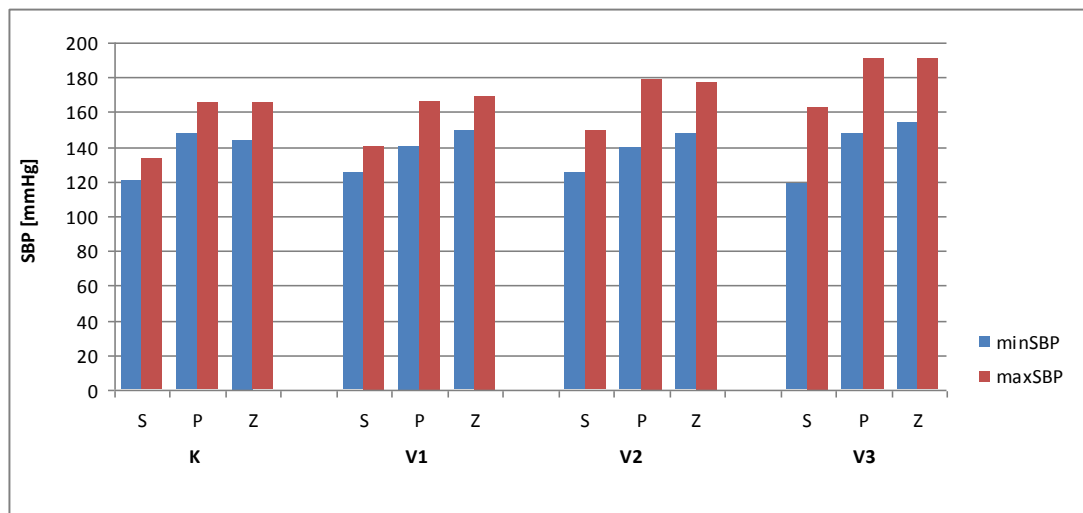
Tabela 2. Wpływ ćwiczeń siłowych oraz krótkiej próby Valsalvy na ciśnienie tętnicze krwi; wartości maxSBP i minSBP podane są w kolumnach oznaczonych odpowiednio Max i Min (górną część tabeli), wartości ciśnienia rozkurczowego (DBP) maksymalnego i minimalnego (Max i Min) (dolną część tabeli). W kolumnach S znajdują się dane odnoszące się do spoczynku, w kolumnach P dane uzyskane w sytuacjach, gdy wdech lub krótka próba Valsalvy zsynchronizowane były z prostowaniem kończyn dolnych, w kolumnach Z dane uzyskane w sytuacjach, gdy wdech lub krótka próba Valsalvy zsynchronizowane były ze zginaniem kończyn dolnych. W wierszu K znajdują się dane otrzymane podczas oddychania kontrolowanego, we wierszach V1, V2, V3 umieszczono dane oznaczające wyniki prób Valsalvy, gdy ciśnienie w jamie ustnej miało wartość odpowiednio - 50%, 100%, 150% TMP. Podano wartości w mmHg; wartość średnia \pm SD.

SBP						
	S		P		Z	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
K	133,0 \pm 18,3	121,1 \pm 8,4	165,9 \pm 19,4	147,5 \pm 21,7	165,7 \pm 21,0	144,5 \pm 21,0
V1	140,2 \pm 18,9	124,9 \pm 18,1	166,5 \pm 17,1	140,4 \pm 20,8	169,5 \pm 17,8	149,1 \pm 20,5
V2	149,1 \pm 25,0	125,2 \pm 25,4	179,1 \pm 22,2	140,0 \pm 17,0	177,4 \pm 27,8	147,6 \pm 28,5
V3	163,4 \pm 30,2	119,3 \pm 20,1	190,9 \pm 24,6	148,1 \pm 20,3	191,2 \pm 24,9	153,9 \pm 29,0
DBP						
	S		P		Z	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
K	75,4 \pm 14,7	70,3 \pm 14,8	90,0 \pm 15,6	75,4 \pm 14,4	93,7 \pm 12,3	76,2 \pm 11,8
V1	81,4 \pm 8,6	71,3 \pm 9,5	98,0 \pm 8,2	78,2 \pm 11,4	98,1 \pm 8,3	85,7 \pm 10,1
V2	92,2 \pm 15,3	74,4 \pm 13,4	108,5 \pm 7,2	78,5 \pm 8,8	109,4 \pm 13,2	84,0 \pm 15,3
V3	103,2 \pm 18,8	70,3 \pm 17,4	120,6 \pm 15,1	79,3 \pm 13,7	120,4 \pm 16,9	87,4 \pm 14,1

a)



b)



Ryc. 4. Wpływ ćwiczenia siłowego i manewru Valsalwy na wielkość ciśnienia tętniczego: a) maksymalne i minimalne wartości ciśnienia skurczowego (maxSBP, minSBP), b) maksymalne i minimalne wartości ciśnienia rozkurczowego (maxDBP, min DBP). Oznaczenia: K – oddychanie kontrolowane, V1, V2, V3 odpowiada 50%, 100%, i 150% TMP wykonywanej w spoczynku (S), podczas prostowania (P) i zginania podudzi (Z).

a/ maxSBP i maxDBP

Jak wynika z Ryc. 3a. wykonywanie ćwiczeń siłowych i krótkiej próby Valsalwy zwiększało maksymalne ciśnienie skurczowe. Dwuczynnikowa analiza ANOVA dla powtarzanych pomiarów ujawniła efekt główny poziomu czynnika *Ćwiczenie siłowe* (trzy poziomy tego czynnika: S - spoczynek, P - prostowanie

kończyn dolnych w czasie wdechu lub krótkiej próby Valsalvy, Z - zginanie kończyn dolnych w czasie wdechu lub krótkiej próby Valsalvy); $F(2, 22) = 22,56, p < 0,00001$. Analiza *post hoc* Newman-Keulsa wykazała znaczące różnice pomiędzy S a P i Z (S vs. P, $p < 0,0005$; S vs. Z, $p < 0,0005$) i brak różnicy pomiędzy P a Z. ANOVA wykazała również istnienie efektu głównego poziomu czynnika *Sposób oddychania* (czterema poziomami tego czynnika są: K – oddychanie kontrolowane, V1, V2, V3 – krótka próba Valsalvy wykonywana na poziomie 50%, 100% i 150% TMP); $F(3,33) = 21,26, p < 0,00001$. Zwiększanie ciśnienia w jamie ustnej podczas krótkiej próby Valsalvy podwyższało maxSBP. Analiza *post hoc* Newman-Keulsa nie wykazała znaczącej różnicy pomiędzy K a V1 i istotne różnice pomiędzy K a V2 i V3 (K vs. V2, $p < 0,005$; K vs. V3, $p < 0,0005$). Nie było istotnej różnicy pomiędzy V1 a V2 (V1 vs. V2, $p = 0,012$), różnica pomiędzy V1 a V3 była istotna (V1 vs. V3, $p < 0,0005$). Pomiedzy V2 i V3 różnica był także istotna (V2 vs. V3, $p < 0,0005$).

Wpływ wykonywania ćwiczeń siłowych i krótkiej próby Valsalvy na maksymalne ciśnienie rozkurczowe był podobny to tego, jaki stwierdzono w przypadku maksymalnego ciśnienia skurczowego. Analiza ANOVA wykazała istotność efektu głównego poziomów czynnika *Ćwiczenie siłowe*: $F(2, 22) = 32,90, p < 0,00001$, oraz istotność efektu głównego poziomów czynnika *Sposób oddychania*: $F(3, 33) = 21,26, p < 0,00001$. Analiza *post – hoc* wykazała istotną różnicę pomiędzy S a P i Z (S vs. P, $p < 0,0005$; S vs. Z, $p < 0,0005$), natomiast nie wykazała istotniejszej różnicy pomiędzy P i Z. W odniesieniu do czynnika *Sposób oddychania* stwierdzono brak różnicy pomiędzy K a V1 (K vs. V1, $p = 0,074$) i istnienie istotnych różnic pomiędzy wpływem pozostałych poziomów: K vs. V2, $p < 0,005$; K vs. V3, $p < 0,0005$; V1 vs. V2, $p < 0,05$; V1 vs. V3, $p < 0,0005$; V2 vs. V3, $p < 0,0005$.

b/ minSBP i minDBP

Wykonywanie wysiłków siłowych zwiększało minSBP i minDBP (Ryc.3b). Krótkie próby Valsalvy, zarówno wykonywane w spoczynku jak i w czasie ćwiczeń siłowych nie wpływały na te ciśnienia. Potwierdza to ANOVA, która wykazała istotny wpływ czynnika *Ćwiczenie siłowe* na minSBP ($F(2, 22) = 22,62, p < 0,00001$) i minDBP ($F(2,22) = 9,09, p < 0,005$). Analiza *post – hoc* wykazała istotność różnicy pomiędzy S a P i Z. Wartości minSBP i minDBP w spoczynku różniły się istotnie od wartości tych ciśnień podczas wysiłków siłowych (S vs. P, $p < 0,0005$, S vs. Z, $p < 0,0005$). Nie było istotnej różnicy pomiędzy P a Z, co oznacza, że faza wysiłku – prostowanie albo zginanie – nie różnicowała ani wartości minSBP ani minDBP.

ANOVA nie wykazała wpływu czynnika *Sposób oddychania* na wartości minSBP i minDBP.

Podsumowanie: zmian ciśnienia tętniczego podczas ćwiczenia siłowego

Wartości maxSBP i minSBP, podobnie jak wartości maxDBP i minDBP zwiększają się podczas wysiłku siłowego.

Krótką próbą Valsalvy prowadzi tylko do zwiększenia wartości maxSBP i maxDBP, natomiast nie wpływa na wartości minSBP i minDBP.

Ponadto, analiza wariancji w odniesieniu do maxSBP i maxDBP nie wykazała istotności statystycznej interakcji pomiędzy czynnikami. Oznacza to, że wzrost maksymalnego ciśnienia skurczowego i rozkurczowego spowodowany wykonywaniem ćwiczeń siłowych jest niezależny od wzrostu tych ciśnień spowodowanych wykonywaniem krótkiej próby Valsalvy. Łączny wpływ tych dwóch czynników na maksymalne ciśnienie skurczowe i rozkurczowe jest zatem addytywny.

4.3. Oszacowanie wpływu ciśnienia w ustach na maxSBP

Krótką próbą Valsalvy zwiększa ciśnienie działające na zewnętrzną powierzchnię naczyń tętniczych znajdujących się w klatce piersiowej. Równocześnie próba ta wywołuje wzrost ciśnienia tętniczego. Jeśli przyrost ciśnienia działającego na zewnętrzną powierzchnię naczyń tętniczych jest większy od przyrostu ciśnienia działającego na wewnętrzną powierzchnię tego naczynia to ciśnienie transmuralne zmniejsza się, co zmniejsza ryzyko uszkodzenia naczynia. Aby sprawdzić czy tak się dzieje postanowiono obliczyć różnicę pomiędzy ciśnieniem transmuralnym podczas kontrolowanego oddychania a ciśnieniem transmuralnym podczas wykonywania krótkiej próby Valsalvy. Jeśli tak obliczona różnica jest dodatnia, oznacza to, że ciśnienie transmuralne jest zmniejszone w czasie wykonywania krótkiej próby Valsalvy. W Tabeli 3. Przedstawiono indywidualne wartości ciśnień w jamie ustnej podczas spoczynku, podczas prostowania i zginania podudzi.

Tabela 3. Indywidualne wartości ciśnienia w jamie ustnej (mm Hg) podczas krótkiej próby Valsalvy (V1, V2, V3 odpowiada 50%, 100%, i 150% TMP) wykonywanej w spoczynku (S), podczas prostowania (P) i zginania podudzi (Z). Podane wartości są średnimi z trzech ostatnich powtórzeń w serii 6 powtórzeń tego samego ćwiczenia.

Badany	V1			V2			V3		
	S	P	Z	S	P	Z	S	P	Z
1	21,3	21,1	24,8	39,9	40,7	41,9	58,5	60,3	60,3
2	36,8	28,9	40,3	59,6	56,3	65,0	75,8	77,9	82,6
3	17,3	20,8	20,1	32,2	35,2	34,9	48,2	47,5	50,8
4	30,5	30,7	30,7	55,8	57,1	50,0	77,9	61,1	62,5
5	13,1	11,8	15,1	22,4	22,0	22,6	33,1	33,6	32,1
6	19,6	18,0	21,2	34,9	38,3	37,7	49,1	49,0	52,0
7	25,7	26,0	29,7	43,0	45,6	44,4	67,1	74,3	72,3
8	18,9	17,9	19,5	32,6	34,4	34,7	50,3	50,9	50,9
9	15,8	13,8	13,9	23,9	23,9	23,6	34,8	33,4	33,2
10	13,2	15,9	13,9	22,0	24,5	22,2	33,0	32,4	32,5
11	30,3	29,0	29,1	49,4	49,8	47,4	67,1	66,7	67,0
12	23,6	23,6	24,8	41,1	41,9	43,2	59,7	61,5	61,5

W pracy ograniczono się do obliczenia różnicy między ciśnieniami transmuralnymi dla ciśnienia skurczowego. Decyzja ta wynika z faktu, że moment wystąpienia ciśnienia skurczowego jest momentem wystąpienia największego ciśnienia transmuralnego, a więc największego potencjalnego zagrożenia dla ścian naczyń tętniczych. Ponadto różnicę tą obliczano tylko dla maxSBP, gdyż - jak to wyżej przedstawiono - wykonywanie krótkiej próby Valsalvy nie wpływa istotnie na wartość minSBP.

Różnica ciśnień transmuralnych dla ciśnienia skurczowego oznaczona jako TPD (*Transmular Pressures Difference* – Różnica Ciśnień Transmuralnych) obliczana jest ze wzoru:

$$TPD = (\max SBP_K - ITP_K) - (\max SBP_V - ITP_V)$$

$\max SBP_K$ – maxSBP podczas oddychania kontrolowanego

ITP_K – ciśnienie powietrza w klatce piersiowej podczas oddychania kontrolowanego

$\text{maxSBP}_V - \text{maxSBP}$ podczas krótkiej próby Valsalvy

ITP_V – ciśnienie powietrza w klatce piersiowej podczas krótkiej próby Valsalvy.

Przyjmując, że ciśnienie powietrza w klatce piersiowej podczas oddychania kontrolowanego jest na tyle małe w porównaniu z ciśnieniem w jamie ustnej, że można je pominąć (tzn. $\text{ITP}_K = 0$), i że ITP_V jest równe ciśnieniu w jamie ustnej MP (*Mouth Pressure*) podczas krótkiej próby Valsalvy, wzór powyższy można przekształcić do postaci:

$$\text{TPD} = \text{MP} - (\text{maxSBP}_V - \text{max SBP}_K)$$

Wzór ten można opisać następująco: TPD jest różnicą pomiędzy ciśnieniem powietrza w klatce piersiowej podczas krótkiej próby Valsalvy a przyrostem maxSBP wywołanym krótką próbą Valsalvy w stosunku do maxSBP występującego podczas oddychania kontrolowanego. Zgodnie z tym, co powiedziano wyżej, wartość dodatnia TPD oznacza, że próba Valsalvy pełni rolę ochronną wobec naczyń tętnicznych klatki piersiowej.

Gdy TPD było obliczane dla spoczynku, to od maxSBP zmierzonego podczas krótkiej próby Valsalvy wykonywanej w spoczynku ($V1+S$, $V2+S$, $V3+S$) odejmowano maksymalne ciśnienie skurczowe zmierzone w spoczynku podczas oddychania kontrolowanego ($K+S$). Następnie tak otrzymaną wartość odejmowano od MP – wartości ciśnienia powietrza w ustach zmierzonej podczas odpowiedniej krótkiej próby Valsalvy. Odpowiednie wzory są następujące:

dla $V1+S$ - krótkiej próby Valsalvy wykonywanej w spoczynku, w której MP_{V1+S} ciśnienie w ustach było zbliżone do 50% TMP:

$$\text{TPD}_{V1+S} = \text{MP}_{V1+S} - (\text{maxSBP}_{V1+S} - \text{max SBP}_{K+S})$$

dla $V2+S$ - krótkiej próby Valsalvy wykonywanej w spoczynku, w której MP_{V2+S} – ciśnienie w ustach było zbliżone do 100% TMP:

$$\text{TPD}_{V2+S} = \text{MP}_{V2+S} - (\text{maxSBP}_{V2+S} - \text{max SBP}_{K+S})$$

dla $V3+S$ - krótkiej próby Valsalvy wykonywanej w spoczynku, w której MP_{V3+S} – ciśnienie w ustach było zbliżone do 150% TMP:

$$\text{TPD}_{V3+S} = \text{MP}_{V3+S} - (\text{maxSBP}_{V3+S} - \text{max SBP}_{K+S})$$

Gdy krótka próba Valsalvy była wykonywana podczas prostowania kończyn dolnych ($V1+P$, $V2+P$, $V3+P$) to od wartości maksymalnego ciśnienia skurczowego zmierzonej podczas wykonywania ćwiczenia odejmowano maksymalne ciśnienie

skurczowe zmierzone wtedy, gdy badany prostował kończyny dolne podczas wdechu (K+P) i tak otrzymane wartości odejmowano od odpowiednich wartości MP.

Odpowiednie wzory są następujące:

dla V1+P - krótkiej próby Valsalvy wykonywanej podczas prostowania kończyn dolnych, w której MP_{V1+P} – ciśnienie w ustach było zbliżone do 50% TMP:

$$TPD_{V1+P} = MP_{V1+P} - (\max SBP_{V1+P} - \max SBP_{K+P})$$

dla V2+S - krótkiej próby Valsalvy wykonywanej podczas prostowania kończyn dolnych, w której MP_{V2+S} – ciśnienie w ustach było zbliżone do 100% TMP:

$$TPD_{V2+P} = MP_{V2+P} - (\max SBP_{V2+P} - \max SBP_{K+P})$$

dla V3+S - krótkiej próby Valsalvy wykonywanej podczas prostowania kończyn dolnych, w której MP_{V3+S} – ciśnienie w ustach było zbliżone do 150% TMP:

$$TPD_{V3+P} = MP_{V3+P} - (\max SBP_{V3+P} - \max SBP_{K+P})$$

Gdy krótka próba Valsalvy była wykonywana podczas zginania kończyn dolnych (V1+Z, V2+Z, V3+Z) to od wartości maksymalnego ciśnienia skurczowego zmierzonej podczas wykonywania ćwiczenia odejmowano maksymalne ciśnienie skurczowe zmierzone wtedy, gdy badany zgiął kończyny dolne podczas wdechu (K+Z) i tak otrzymane wartości odejmowano od odpowiednich wartości MP.

Odpowiednie wzory są następujące:

dla V1+Z - krótkiej próby Valsalvy wykonywanej podczas zginania kończyn dolnych, w której MP_{V1+Z} – ciśnienie w ustach było zbliżone do 50% TMP:

$$TPD_{V1+Z} = MP_{V1+Z} - (\max SBP_{V1+Z} - \max SBP_{K+P})$$

dla V2+Z - krótkiej próby Valsalvy wykonywanej podczas zginania kończyn dolnych, w której MP_{V2+Z} – ciśnienie w ustach było zbliżone do 100% TMP:

$$TPD_{V2+Z} = MP_{V2+Z} - (\max SBP_{V2+Z} - \max SBP_{K+Z})$$

dla V3+S - krótkiej próby Valsalvy wykonywanej podczas zginania kończyn dolnych, w której MP_{V3+S} – ciśnienie w ustach było zbliżone do 150% TMP:

$$TPD_{V3+Z} = MP_{V3+Z} - (\max SBP_{V3+Z} - \max SBP_{K+Z})$$

Analizując tak obliczone wartości TPD (Tabela 4.) stwierdzono, że średnia wielkość TPD rosła wraz ze wzrostem ciśnienia w ustach i nie zależała od tego czy badany pozostawał w spoczynku czy wykonywał ćwiczenia.

Za pomocą dwuczynnikowej analizę wariancji dla powtórzonych pomiarów, szacowano wpływ dwóch czynników na TPD:

- *Ćwiczenie siłowe* (trzy poziomy tego czynnika: S - spoczynek, P - prostowanie kończyn dolnych w czasie wdechu lub krótkiej próby Valsalvy, Z – zginanie kończyn dolnych w czasie wdechu lub krótkiej próby Valsalvy)

- *Ciśnienie w ustach* (trzy poziomy tego czynnika: V1 - MP zbliżone do 50%, 100%, 150% TMP V1 - MP zbliżone do 50%, 100%, 150% TMP).

Nie stwierdzono efektu głównego czynnika *Ćwiczenie siłowe*, natomiast istotny był efekt główny czynnika *Ciśnienie w jamie ustnej* ($Z(2,22) = 6.2, p < 0,01$). Analiza *post-hoc* Newmana-Keulsa wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy wpływem poziomu czynnika *Ciśnienia w ustach*; istotne różnice stwierdzono między wpływem V1 i V2 ($p < 0,05$) i pomiędzy wpływem V1 i V3 ($p < 0,01$), pomiędzy wpływem V1 a V3 istotnej statystycznie różnicy nie było.

W Tabeli 4. przedstawiono średnie wartości różnic ciśnień transmuralnych dla V1, V2, V3 w połączeniu z wariantami S, P, Z.

Tabela 4. Różnica Ciśnień Transmuralnych (TPD); oznaczenia kolumn: S - spoczynek, P - prostowanie kończyn dolnych zsynchronizowane z wdechem (kontrolowane oddychanie) lub z krótką próbą Valsalvy, Z - zginania kończyn dolnych zsynchronizowane z wdechem (kontrolowane oddychanie) lub z krótką próbą Valsalvy; oznaczenia wierszy: V-K = maxSBP podczas krótkiej próby Valsalvy - maxSBP podczas oddychania kontrolowanego, MP - średnie ciśnienie w ustach podczas 3 ostatnich z 6 powtórzeń krótkich prób Valsalvy, TPD = MP – (V-K), Valsalva 1,2,3: wartości V-K, MP i TPD dla poziomu MP odpowiadającego 50% TMP, 100% TMP, 150% TMP; wszystkie wartości podane są w mm Hg, średnia ± SD.

		S	P	Z
Valsalva 1	V-K	7,2 ± 13,5	0,6 ± 22,1	3,8 ± 19,3
	MP	22,2 ± 7,4	21,5 ± 6,3	23,6 ± 7,9
	TPD	15,0 ± 14,3	20,9 ± 23,2	19,8 ± 21,0
Valsalva 2	V-K	16,1 ± 19,0	13,2 ± 27,5	11,7 ± 25,8
	MP	38,1 ± 12,5	39,1 ± 11,9	39,0 ± 12,6
	TPD	22,0 ± 20,0	26,0 ± 29,0	27,3 ± 30,3
Valsalva 3	V-K	30,4 ± 16,6	24,9 ± 32,1	25,5 ± 24,8
	MP	54,6 ± 15,8	54,1 ± 15,6	54,8 ± 16,2
	TPD	24,2 ± 17,0	29,1 ± 31,2	29,3 ± 29,7

Jeśli wartość TPD jest istotnie miarą wielkości ochronnego działania krótkiej próby Valsalvy, to bardzo duża osobnicza rozpiętość wartości TPD może świadczyć o bardzo zróżnicowanej osobniczej wielkości efektu ochronnego tej próby. Zróżnicowanie to ukazuje Tabela 5.

Tabela 5. Indywidualne wartości Różnicy Ciśnień Transmuralnych (TPD). Oznaczenie kolumn: S – spoczynek, P i Z – odpowiednio prostowanie i zginanie kończyn dolnych skojarzone z wdechem albo krótką próbą Valsalvy; V1, V2, V3 – krótka próba Valsalvy z ciśnieniem w jamie ustnej na poziomie 50%, 100% i 150% TMP. Wszystkie wartości podane w mm Hg.

Badany	V1+S	V2+S	V3+S	V1+P	V2+P	V3+P	V1+Z	V2+Z	V3+Z
1	24	29,3	36,1	8,5	28,1	49,6	6,2	24,9	35,9
2	43,8	70,7	44,1	54,6	65,6	59,2	46	65,7	69,8
3	3,3	7	7,9	1,1	-5	10,3	14,5	16,8	21,2
4	25,7	20,5	33,4	49	67,8	56,3	34,4	87,7	54,1
5	7,8	15,6	24,8	26,8	31,4	38,4	16,2	0,7	-14,2
6	4,3	32,1	45,6	-30,7	-39,7	-57,4	-29,9	-23,4	-21,5
7	13	19,3	38,8	18,6	34,3	35,8	38,9	42,4	58,9
8	-3,6	-9,5	1,6	24,6	26,4	39,6	42,8	46,5	54,5
9	22,5	20,5	26,9	16,9	19,9	27,6	7,3	6,7	1,5
10	31,3	35,6	-8,1	46,8	43,7	45,2	31,3	30,4	48,4
11	7	20,8	15,6	20,1	10,8	12,5	17,7	3,5	13,7
12	0,9	1,8	23,2	14,3	28,2	32,4	12,7	25,7	29,7

Badani różnią się nie tylko wartością TPD, ale i rodzajem zależności pomiędzy ciśnieniem w jamie ustnej i TPD. W przypadku niektórych badanych wartość TPD jest wysoka niezależnie od wysokości ciśnienia w ustach, w przypadku innych – niska. U niektórych badanych wzrost ciśnienia w ustach zwiększa TPD, u innych nie można dostrzec wyraźnego wzorca relacji pomiędzy ciśnieniem w ustach a TPD.

U badanego nr 6 (Tabela 5.) TPD w czasie ćwiczeń siłowych przyjmowało zawsze wartości ujemne, choć w spoczynku wartości te były dodatnie. U dwóch badanych (nr 3 i nr 5) wartości ujemne TPD pojawiły się jeden raz podczas ćwiczenia siłowego, a u jednej osoby (badany nr 8) dwa razy podczas spoczynku. Ujemny wynik może oznaczać, że krótka próba Valsalvy powoduje wzrost ciśnienia transmuralnego oddziałującego na tętnicze naczynia śródplucne. Jednakże, nie można wykluczyć, że wartość ujemna wynika z przeszacowania efektu próby Valsalvy. Mogłoby to wynikać ze słabszej niż zwykle reakcji presyjnej podczas kontrolowanego oddychania lub/i mocniejszej podczas krótkiej próby Valsalvy. We wszystkich innych, poza wymienionymi, przypadkach TPD była dodatnia, co sugeruje, że w przeważającej liczbie przypadków krótka próba Valsalvy pełni

funkcję ochronną wobec naczyń tętniczych klatki piersiowej. Przypadek badanego nr 6 każe jednak postawić pytanie: czy istnieje niewielka subpopulacja osób, które podczas wykonywania ćwiczeń siłowych winny unikać krótkiej próby Valsalvy?

4.4. Wpływ ćwiczenia siłowego i krótkiej próby Valsalvy na częstość skurczów serca

Choć przedmiotem tej pracy nie jest wpływ ćwiczeń siłowych i krótkiej próby Valsalvy na rytm serca, zdecydowano się na podanie wybranych wartości częstości skurczów serca. Sposób analizy danych - skupienie się na wartościach maksymalnych i minimalnych wybranych wskaźników hemodynamicznych z pominięciem ich wzajemnych relacji czasowych - wyklucza prawidłową analizę związku zmian ciśnienia tętniczego ze zmianami rytmu serca. Ograniczono się do przedstawienia wartości maksymalnej częstości rytmu - maxHR i minimalnej częstości rytmu serca - minHR (Tabela 6.). Wartości maxHR i minHR były obliczane w sposób następujący. Dla każdego z trzech ostatnich – z serii 6 - powtórzeń ćwiczenia lub jego odpowiednika wyszukiwano – najdłuższy i najkrótszy interwał RR. Interwały te były przeliczane na częstość rytmu serca (HR) według wzoru $HR = 60000/RRI$, gdzie RRI to interwał RR. Najkrótszy interwał RRI był równocześnie największą chwilową częstością rytmu serca, najdłuższy – najmniejszą. Maksymalna częstość skurczów serca - maxHR - to średnia z trzech największych wartości chwilowej częstości rytmu serca i – odpowiednio - minimalna częstość skurczów serca - minHR - to średnia z trzech najmniejszych wartości chwilowej częstości rytmu serca.

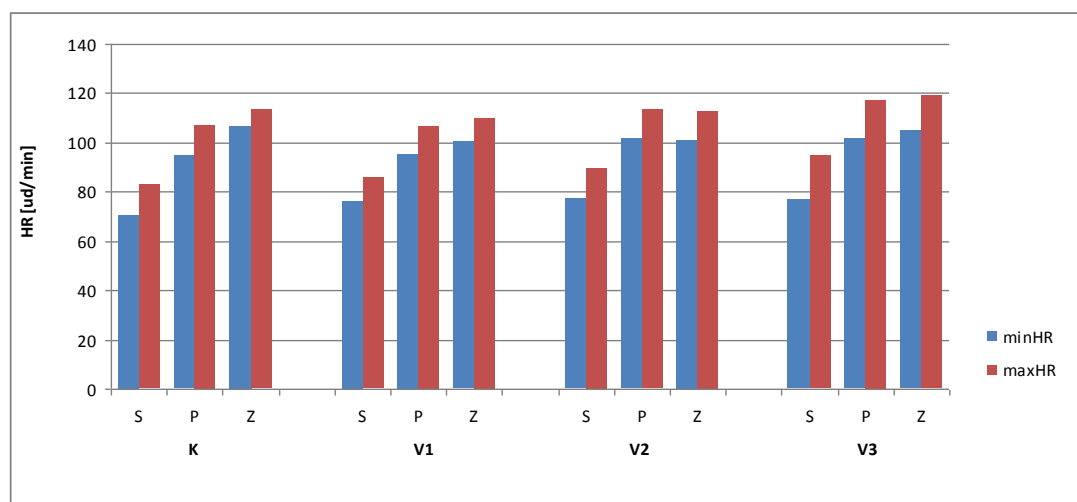
Wartość maxHR rosła na skutek wykonywania ćwiczenia siłowego oraz krótkiej próby Valsalvy. Dwuczynnikowa analiza ANOVA dla pomiarów powtarzanych wykazała istnienie efektu głównego czynnika *Ćwiczenie siłowe* ($Z(2, 22) = 88,89, p < 0,0005$). Analiza *post-hoc* Newman-Keulsa wykazała wpływ poziomu tego czynnika. Stwierdzona istotną różnicę pomiędzy wartościami uzyskanymi w spoczynku a wartościami uzyskanymi podczas wysiłków siłowych, w których badany synchronizował wdech bądź krótką próbę Valsalvy z prostowaniem kończyn dolnych (S vs. P, $p < 0,0005$). Podobnie, stwierdzono istotną różnicę pomiędzy wartościami uzyskanymi w spoczynku a wartościami uzyskanymi podczas wysiłków siłowych, w których badany synchronizował wdech bądź krótką próbę Valsalvy ze zginaniem kończyn dolnych (S vs. Z, $p < 0,0005$). Nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy poziomem P i poziomem S.

Wykazano przy pomocy ANOVA istnienie efektu głównego czynnika *Sposób oddychania* ($F(3, 33) = 23,83, p < 0,00001$). Jak to wynika z Tabeli 6., wzrost ciśnienia w jamie ustnej wiąże się ze wzrostem maxHR. Analiza *post-hoc* Newman-Keulsa wykazała, że porównywane parami wartości odpowiadające różnym poziomom czynnika *Sposób oddychania* różnią się między sobą istotnie, z wyjątkiem pary K i V1.

Wykonywanie ćwiczeń siłowych zwiększało minHR, podobnie jak wykonywanie krótkich prób Valsalvy, choć wpływ prób Valsalvy na wartość minHR był słabiej zaznaczony (Ryc. 5). Zastosowanie dwuczynnikowej analizy ANOVA wykazało efekty główne czynników *Ćwiczenie siłowe* ($F(2, 22) = 91,90, p < 0,000001$) i *Sposób oddychania* ($F(3, 33) = 4,30, p < 0,05$). Analiza *post-hoc* Newman-Keulsa wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy poziomami S, P i Z oraz między poziomami K vs. V3 i V1 vs. V3. Ponadto analiza ANOVA wykazała istnienie interakcji pomiędzy tymi czynnikami ($F(6, 66) = 4,39, p < 0,001$). Interakcja ta mogła być spowodowana odmiennym wpływem prostowania kończyn dolnych zsynchronizowanego z wdechem lub krótką próbą Valsalvy na minimalną częstość skurczów serca w porównaniu z wpływem na ten parametr zginania kończyn dolnych zsynchronizowanego z wdechem lub krótką próbą Valsalvy: minimalna częstość uderzeń serca była wyższa w wariancie K+Z w porównaniu z wariantem K+P ($p < 0,0005$), podobnie była ona wyższa w wariancie V1+Z aniżeli w wariancie V1+P ($p < 0,05$).

Tabela 6. Wpływ ćwiczenia siłowego i krótkiej próby Valsalvy na maksymalną częstość skurczów serca (maxHR) i minimalną częstość skurczów serca(minHR). Oznaczenie kolumn: S – spoczynek, P i Z – odpowiednio prostowanie i zginanie kończyn dolnych skojarzone z wdechem albo krótką próbą Valsalvy; oznaczenie wierszy: K - oddychanie kontrolowane, V1, V2, V3 - krótka próba Valsalvy z ciśnieniem w jamie ustnej na poziomie 50%,100% i 150% TMP; podano wartości średnie \pm SD, wszystkie dane w sk/min.

HR						
	S		P		Z	
	maxHR	minHR	maxHR	minHR	maxHR	minHR
K	82,8 \pm 12,2	70,7 \pm 9,6	107,0 \pm 14,8	94,9 \pm 15,1	113,7 \pm 15,9	106,7 \pm 15,3
V1	85,9 \pm 13,5	76,1 \pm 14,0	106,8 \pm 12,5	95,6 \pm 12,7	110,1 \pm 17,5	100,7 \pm 16,4
V2	89,6 \pm 12,4	77,4 \pm 12,7	113,7 \pm 15,8	101,4 \pm 16,2	113,1 \pm 17,5	101,1 \pm 16,3
V3	95,1 \pm 14,4	76,5 \pm 12,9	117,7 \pm 16,3	101,9 \pm 15,8	119,4 \pm 18,2	105,2 \pm 16,9



Ryc. 5. Wpływ ćwiczenia siłowego i manewru Valsalvy na wielkość maksymalnych i minimalnych wartości rytmu serca (maxHR, min HR) a. Oznaczenia: K - oddychanie kontrolowane, V1, V2, V3 odpowiada 50%, 100%, i 150% TMP) wykonywanej w spoczynku (S), podczas prostowania (P) i zginania podudzi (Z).

5. Dyskusja

5.1. Czy krótka próba Valsalvy zmniejsza ciśnienie transmuralne oddziałujące na naczynia tętnicze zlokalizowane w klatce piersiowej?

Głównym pytaniem tej pracy jest: czy wzrost ciśnienia śródpiersiowego - utożsamianego z ciśnieniem z ustach - podczas krótkiej, trwającej 2 sekundy, próby Valsalvy, może pełnić funkcję ochronną wobec naczyń tętniczych zlokalizowanych w klatce piersiowej, poprzez zmniejszenie ciśnienia transmuralnego oddziałującego na te naczynia?

Badano odpowiedź presyjną na tą próbę wykonywaną w spoczynku i w czasie ćwiczenia siłowego, a także na ćwiczenie siłowe wykonywane bez krótkiej próby Valsalvy. Badani proszeni byli o wykonanie danego ćwiczenia siłowego w serii sześciu powtórzeń. W czasie trwania pojedynczego ćwiczenia wyznaczano po jednej wartości maksymalnej i minimalnej wybranych parametrów hemodynamicznych.

Reakcja presyjna na ćwiczenia siłowe była odmienna od reakcji presyjnej na krótką próbę Valsalvy. Wykonywanie ćwiczeń siłowych prowadziło do wzrostu zarówno maksymalnego jak i minimalnego ciśnienia skurczowego i rozkurczowego, przy czym odpowiedź presyjna stabilizowała się po okresie przejściowym, trwającym z reguły przez okres trwania trzech pierwszych ćwiczeń siłowych. Natomiast w odpowiedzi na krótką próbę Valsalvy następował wzrost maksymalnego ciśnienia skurczowego i rozkurczowego, minimalne ciśnienie skurczowe i rozkurczowe nie zmieniało się znacząco. Analiza statystyczna nie wykazała istnienia w odpowiedzi presyjnej interakcji pomiędzy ćwiczeniem siłowym a krótką próbą Valsalvy.

Wyjaśnienie odmiennego wpływu krótkiej próby Valsalvy na ciśnienia maksymalne i na ciśnienia minimalne może być następujące. Wzrost ciśnienia tętniczego w czasie krótkiej próby Valsalvy wynika prawdopodobnie z mechanicznego przeniesienia podwyższonego ciśnienia powietrza w płucach na ciśnienie tętnicze. Zarówno wzrost ciśnienia tętniczego jak i jego obniżenie następują bardzo szybko, nadążając za zmianami ciśnienia powietrza w płucach. Maksymalne ciśnienie powietrza w płucach występuje podczas trwania krótkiej próby Valsalvy, wtedy też obserwujemy maksymalne ciśnienie skurczowe i rozkurczowe. Minimalne ciśnienie skurczowe i rozkurczowe pojawia się pomiędzy krótkimi próbami Valsalvy, czyli wtedy gdy ciśnienie powietrza w płucach staje się podobne do tego,

jakie panuje w czasie w kontrolowanego oddychania. W efekcie obserwujemy wpływ krótkiej próby Valsalvy na maxSBP i maxDBP i brak jej wpływu na minSBP i minDBP.

Aby ilościowo określić potencjalne ochronne działanie krótkiej próby Valsalvy oszacowano zmianę ciśnienia transmuralnego działającego na ściany naczyń tętniczych zlokalizowanych w klatce piersiowej. Zmianę tą nazwano Różnicą Ciśnien Transmuralnych i oznaczono jako TPD (*Transmular Pressures Difference*). Zmiana ta była obliczana jako różnica pomiędzy ciśnieniem w ustach a wzrostem maksymalnego ciśnienia skurczowego spowodowanego wykonaniem przez badanego krótkiej próby Valsalvy. Wzrost ten był obliczany jako różnica pomiędzy maxSBP zmierzonym w danej sytuacji (spoczynek, prostowanie lub zginanie kończyn dolnych), gdy wykonywana była krótka próba Valsalvy a maxSBP zmierzonym w sytuacji identycznej, gdy badany oddychał regularnie. Analogiczne obliczenia mogłyby być zrobione dla maxDBP, jednak z punktu widzenia bezpieczeństwa tętnic o szczytowym naprężeniu ścian naczynia decyduje wartość ciśnienia skurczowego, dlatego zdecydowano się poprzestać na analizie tego właśnie ciśnienia.

Zgodnie z danymi podanymi w tabeli 6., będącymi wartościami uśrednionymi, ciśnienie w ustach (oznaczone jako MP) było większe od wzrostu maksymalnego ciśnienia skurczowego spowodowanego krótką próbą Valsalvy (oznaczone w tabeli jako V-K). W konsekwencji TPD było dodatnie, a zatem ciśnienie transmuralne naczyń tętniczych zlokalizowanych w klatce piersiowej było niższe podczas krótkiej próby Valsalvy aniżeli podczas kontrolowanego oddychania, przy czym dotyczy to zarówno spoczynku jak i wykonywania ćwiczenia siłowego. Wartość TPD jest dodatnia u przeważającej ilości badanych, jednakże istnieje znaczna zmienność osobnicza; TPD przyjmuje wartości od małych - kilku milimetrów słupa rtęci do znacznych - kilkudziesięciu milimetrów słupa rtęci. Tak duże różnice pomiędzy badanymi mogą wynikać zarówno ze zmienności osobniczej jak i błędów w ocenie TPD.

Precyzja w ocenie TPD zależy od stopnia spełnienia założenia, że w przypadku wykonywania takiego samego ćwiczenia podczas oddychania kontrolowanego albo w połączeniu z krótką próbą Valsalvy ewentualna zmiana wartości maxSBP wynika ze zmiany sposobu oddychania. Aby założenie to było spełnione, trzeba by przyjąć, że serie takich samych ćwiczeń siłowych, wykonywane

z zastosowaniem takiego samego sposobu oddychania, wywołałaby takie same zmiany maxSBP. Jest mało prawdopodobne, aby reakcja presyjna na pierwszą i drugą serię takich samych ćwiczeń siłowych była identyczna. Oznacza to, że obserwowana u pojedynczego badanego odmiennosc reakcji presyjnej spowodowana zmianą sposobu oddychania prawdopodobnie jest po części spowodowana nieco odmienną reakcją presyjną na powtórzoną serię tych samych ćwiczeń siłowych.

Brak pełnej powtarzalności indywidualnej reakcji presyjnej na takie same serie ćwiczeń siłowych mógł zniekształcić efekt wielkości ciśnienia w ustach na TPD. Wydaje się bowiem rozsądnym przyjęcie, iż, po pierwsze, TPD nie może być większe, niż ciśnienie w ustach i po drugie, że TPD może się zwiększyć, jeśli ciśnienie w ustach się zwiększy. Średnie wartości TPD zgodne były z takim przewidywaniem (Tabela 6.). Wzrost TPD był wyraźnie zależny od wzrostu ciśnienia w ustach u dwóch osób (Tabela 5., badani nr: 1 i 7), u innych badanych można raczej mówić o takiej tendencji, jeszcze u innych TPD było niepowiązane z wielkością ciśnienia w ustach. Osobną kwestią, która raczej wiąże się z charakterystyką zjawiska oddziaływania ciśnienia w klatce piersiowej na ciśnienie tętnicze jest to, że znaczny wzrost ciśnienia w ustach (od około 40 do 55 mm Hg) powodowało tylko niewielki wzrost TPD (2-3 mmHg), co widoczne jest w wartościach uśrednionych.

Szczególnie interesujące są wyniki badanego nr 6: w spoczynku TPD było dodatnie oraz wzrastało wraz ze wzrostem ciśnienia w ustach, jednak w czasie wykonywania ćwiczeń siłowych TPD stawało się ujemne, co oznacza wzrost ciśnienia transmuralnego działającego na naczynia tętnicze klatki piersiowej. Ten badany może być przykładem, niewielkiej być może, części populacji, u której krótka próba Valsalvy wykonywana podczas ćwiczenia siłowego może powodować wzrost ciśnienia transmuralnego, czyli zwiększać siłę rozciągającą naczynia tętnicze klatki piersiowej. Jeśli tak jest istotnie, oznacza to, iż są osoby, które powinny unikać wykonywania krótkiej próby Valsalvy. Co ciekawe, z uwagi na fakt, że TPD było dodatnie u tego badanego w spoczynku, próba ta wydaje się zmniejszać ciśnienie transmuralne w spoczynku.

Dane przedstawione w tej pracy wskazują, że krótka próba Valsalvy, pomimo powodowania dodatkowego wzrostu ciśnienia tętniczego, per saldo zmniejsza ciśnienie transmuralne działające na naczynia tętnicze zlokalizowane w klatce

piersiowej, przy czym ma to miejsce zarówno podczas wysiłku siłowego, jak i podczas spoczynku.

Analiza statystyczna nie wykazała znaczących statystycznie interakcji pomiędzy efektem presyjnym ćwiczeń siłowych i efektem presyjnym ciśnienia w ustach; pozwala to przyjąć, że te dwa efekty sumują się. Brak interakcji może wynikać z odmiennych mechanizmów odpowiedzi presyjnych na ćwiczenie siłowe i na krótką próbę Valsalvy. Jednak zastosowany w tej pracy sposób analizowania odpowiedzi hemodynamicznej nie uwzględnia relacji czasowych pomiędzy zmianami wartości poszczególnych parametrów hemodynamicznych, co uniemożliwia analizę mechanizmu reakcji presyjnej.

5.2. Brak istotnych różnic między odpowiedzią presyjną na krótką próbą Valsalvy wykonywaną w czasie prostowania kończyn dolnych a odpowiedzią presyjną na tę próbą wykonywaną w czasie ich zginania

Maksymalne ciśnienie skurczowe i rozkurczowe odpowiedzi presyjnej na krótką próbą Valsalvy wykonywaną w czasie prostowania kończyn dolnych (V+P) było podobne do tego, które zmierzono w czasie wykonywania tej próby zsynchronizowanej ze zginaniem kończyn dolnych (V+Z). Istotne statystycznie różnice wystąpiły tylko pomiędzy wartościami minimalnego ciśnienia skurczowego i rozkurczowego, wartości te były mniejsze w wariancie V+Z niż w wariancie V+P. Różnicę tę można wyjaśnić następująco. Po pierwsze, minimalne ciśnienie skurczowe i rozkurczowe występują pomiędzy krótkimi próbami Valsalvy, co wynika z dominującego wpływu tej próby na reakcję presyjną. Po drugie, wzrost ciśnienia tętniczego wiąże się z fazą koncentryczną ćwiczenia siłowego. Jeśli, jak to ma miejsce w wariancie V+Z, wyprost kończyn dolnych był wykonywany pomiędzy próbami Valsalvy, to zwiększał on ciśnienia minimalne. Jednakże, kierując się taką logiką, powinno zaobserwować się równocześnie w wariancie V+Z mniejsze niż w wariancie V+P ciśnienia maksymalne, a zjawiska takiego, jak to wyżej powiedziano, nie zaobserwowano.

5.3. Możliwe działanie ochronne krótkiej próby Valsalvy na naczynia tętnicze śródczaszkowe i serce

Wzrost ciśnienia śródpiersiowego powoduje wzrost ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego (Hamilton i wsp. 1944). Badacze ci pokazali, że zmiany

ciśnienia śródpiersiowego i ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego są identyczne podczas kaszlu i podczas wysiłku izometrycznego. Stwierdzili oni, że zmiany ciśnienia powietrza w klatce piersiowej przenoszą się na zmiany ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego w stosunku 1:1. Wzrost ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego podczas manewru Valsalvy może zmniejszać ciśnienie transmuralne działające na tętnice śródczaszkowe, podobnie jak czyni to ciśnienie śródpiersiowe w stosunku do tętnic zlokalizowanych w klatce piersiowej. Jeśli, co więcej, istotnie wzrost ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego jest taki sam jak wzrost ciśnienia śródpiersiowego, to możemy przypuszczać, że dochodzi – dzięki krótkiej próbie Valsalvy – do zmniejszenia ciśnienia transmuralnego działającego na tętnice śródczaszkowe. Warta przytoczenia jest następująca obserwacja autorów: zmiany ciśnienia tętniczego były stłumione i opóźnione w stosunku do zmian ciśnienia śródpiersiowego i ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego. Obserwacja ta przypomina zaobserwowany w tej pracy mniejszy przyrost ciśnienia tętniczego spowodowany wzrostem ciśnienia śródpiersiowego od przyrostu ciśnienia śródpiersiowego.

Serce adaptuje się do wysokiego obwodowego ciśnienia tętniczego poprzez zwiększenie grubości ścian lewej komory serca bez zwiększenia jej wymiarów wewnętrznych. Takie przystosowanie określane jest jako hipertrofia koncentryczna. Haykowski i wsp. (2002) przeanalizowali wiele prac, w których oceniano wpływ treningu siłowego na geometrię lewej komory serca; u prawie 40% osób wykonujących trening siłowy serce zachowało normalną geometrię tej komory. Co więcej, w wielu badaniach, w których stwierdzono zmianę rozmiarów lewej komory, zmiana ta mieściła się w granicach błędu metody echokardiograficznej. Brak hipertrofii koncentrycznej u tak dużego odsetka ćwiczących można wynikać z braku występowania zwiększonego napięcia ściany lewej komory nawet podczas bardzo ciężkich ćwiczeń siłowych. Ten brak zwiększonego napięcia ściany lewej komory można z kolei tłumaczyć tym, że ciężkim ćwiczeniom siłowym towarzyszą warunki Valsalvy, obniżające ciśnienie transmuralne działające na ściany serca a tym samym konieczność generowania przez mięsień sercowy wysokiego napięcie w tych ścianach (Haykowski i wsp. 2001).

5.4. Możliwość wystąpienia niekorzystnych skutków warunków Valsalvy

Jednakże, obok potencjalnie korzystnego działania warunków Valsalvy, występować też mogą ich działania szkodliwe. Na przykład w wielu częściach drzewa tętniczego dodatkowemu wzrostowi ciśnienia tętniczego spowodowanemu warunkami Valsalvy nie towarzyszy wzrost ciśnienia w otaczających naczynie tętnicze tkankach. Dotyczy to tętnic powierzchniowych czy tętnic w mięśniach niepracujących.

Opisano (Bertovic i wsp. 1999, Miyachi i wsp. 2004) zmniejszenie się podatności tętnic u osób uprawiających trening siłowy, choć dodać należy, że Rakobowchuk i wsp. (2005) nie potwierdzili tej obserwacji. Żadne z tych prac nie wspominają o występowaniu lub unikaniu warunków Valsalvy podczas wykonywania ćwiczeń siłowych. Wobec tego pozostaje pytanie czy dodatkowy wzrost ciśnienia krwi spowodowany warunkami Valsalvy mający miejsce w takich tętnicach, w których nie jest on równoważony wzrostem ciśnienia w tkankach otaczających te naczynia, może wzmacniać procesy prowadzące do zwiększenia sztywności ich ścian. Powinno się również pamiętać, że warunki Valsalvy mogą być powiązane z incydentami wylewów przedsiatkówkowych, kliniczną jednostką nazwaną makulopatią Valsalvy (*Valsalva maculopathy*) (Duane 1973). Chapman-Davies i Lazarevic (2002) zaprezentowali przypadek makulopatii Valsalvy, do którego doszło w bezpośrednim następstwie ciężkiego ćwiczenia siłowego, przy czym pacjent podał, że w czasie usiłowania wykonania ćwiczenia wstrzymywał oddech. Wystąpienie makulopatii Valsalvy jest zdarzeniem rzadkim, które w ogromnej większości przypadków ustępuje, nie pogarszając ostrości widzenia. Zatem, rozważając za i przeciw krótkiej próbie Valsalvy na jednej szali położyć trzeba zmniejszenie - na szczęście niewielkiego - prawdopodobieństwa wylewu podpajęczynówkowego (Haykowski i wsp. 1996), na drugiej możliwość - również małą - wystąpienia makulopatii Valsalvy.

5.5. Ograniczenia

Ze względu na bezpieczeństwo badanych zastosowano obciążenie nieco mniejszego od 15-RM oraz takie ciśnienie w ustach, które występuje spontanicznie podczas ćwiczenia siłowego z takim obciążeniem. Średnia wielkość najwyższego ciśnienia w ustach była bliska 55 mmHg, najwyższa indywidualna wartość wynosiła 83 mmHg. Te wartości są bliskie wartości 70 mmHg, spontanicznie wytworzonemu

poziomowi ciśnienia powietrza w ustach, którego nie przekroczył żaden z badanych przez MacDougal i wsp. (1985), nawet gdy osoba badana wykonywała bardzo ciężki wysiłek. Lentini i wsp. (1993) donoszą, iż średnie śródpiersiowe ciśnienie podczas ćwiczenia siłowego wynosiło 58 mmHg. Dodać jednak należy, że w tej samej pracy przedstawiono przebieg zmian ciśnienia śródpiersiowego, który pokazuje, że ciśnienie śródpiersiowe osiągnęło wartość 180 mmHg. Wielkość odpowiedzi presyjnej zależy od wielkości obciążenia oraz od wielkości ciśnienia Valsalvy. To jest prawdopodobnym powodem tego, że najwyższe ciśnienia skurczowe zaobserwowane w naszej pracy (około 190 mmHg – średnie maksymalne ciśnienie skurczowe podczas wariantów V3+P i V3+Z, Tabela 2.) były znacznie niższe niż najwyższe ciśnienia skurczowe zmierzone przez MacDougal i wsp. (1985) oraz Narloch i Brandstater (1995): odpowiednio 320 i 311 mmHg – w badaniach tych autorów ćwiczenia wykonywane były przez kulturystów i obciążenia były znacznie większe. Można zatem przyjąć, że w pracy tej stosowano stosunkowo małe obciążenia (15-RM) i umiarkowane wartości ciśnienia w ustach. W tym kontekście, byłoby ważnym wiedzieć, czy TPD pozostaje dodatnie przy bardzo wysokim ciśnieniu Valsalvy i przy dużych obciążeniach. W naszej pracy, średnie TPD pozostawało dodatnie dla wariantów z najwyższym ciśnieniem w ustach. Jednak tylko wzrost ciśnienia w ustach od najniższego do średniego ciśnienia w ustach powodował znaczny wzrost TPD, już podobny co do wielkości wzrost ciśnienia w ustach od poziomu średniego do najwyższego powodował znacznie niższy przyrost TPD. MacDougal i wsp. (1992) przedstawili wyniki doświadczenia, co prawda tylko w postaci graficznej, które pozwalają sądzić, że TPD zwiększało się w miarę wzrostu ciśnienia Valsalvy. Wniosek taki wynika z przedstawionych przez nich danych: wzrost ciśnienia tętniczego spowodowany wytworzeniem 20 mmHg ciśnienia w ustach był, w odniesieniu do warunków normalnego oddychania, znaczny. Podobne, kolejne, przyrosty ciśnienia w ustach spowodowały już znacznie mniejsze wzrosty ciśnienia tętniczego. Oznacza to, że kolejne przyrosty ciśnienia w ustach coraz skuteczniej zmniejszają ciśnienie transmuralne działające na tętnice zlokalizowaną w klatce piersiowej. Jednakże, przy braku danych, opisujących zmiany ciśnienia tętniczego wywołane takimi samymi ćwiczeniami, wykonywanymi bez warunków Valsalvy, nie można orzec, czy rzeczywiście zwiększanie ciśnienia śródpiersiowego, zwiększa jego ochronny efekt.

6. Wnioski

1/ Krótka próba Valsalvy może obniżać ciśnienie transmuralne działające na tętnice śródpiersiowe podczas ćwiczeń siłowych oraz w spoczynku w porównaniu do ciśnienia transmuralnego występującego w warunkach normalnego oddychania.

2/ Wielkość redukcji ciśnienia transmuralnego różni się znacznie między poszczególnymi osobami.

3/ U kilku badanych krótka próba Valsalvy mogła powodować wzrost ciśnienia transmuralnego działającego na te naczynia.

7. Piśmiennictwo

1. **Aghasadeghi K, Aslani A.** Spontaneous coronary artery dissection in a professional body builder. *Int J Cardiol* 2008, 130: e119-120.
2. **American College of Sports Medicine.** The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 1998, 30: 975-995.
3. **American College of Sports Medicine.** Position Stand on Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002, 34: 364-380.
4. **American College of Sports Medicine.** Position Stand on Exercise and Hypertension. *Med Sci Sports Exerc* 2004, 36: 533-553.
5. **Atha J.** Strengthening muscles. *Exerc Sport Sci Rev* 1981, 9: 1-73.
6. **Atkins JM, Matthews OA, Blomqvist CG, Mullins CB.** Incidence of arrhythmias induced by isometric and dynamic exercise. *Br Heart J* 1976, 38: 465-71.
7. **Bertovic DA, Waddell TK, Gatzka CD, Cameron JD, Dart AM, Kingwell BA.** Muscular strength training is associated with low arterial compliance and high pulse pressure. *Hypertension* 1999, 33: 1385-1391.
8. **Bjarnson-Wehrens B, Mayer-Berger W, Meister E, Baum K, Hambrecht R, Gielen S.** Recommendation for resistance exercise in cardiac rehabilitation, Recommendations of German Federation for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation *Z Kardiol* 2004, 93: 357-370.
9. **Braight R, Steward KJ.** Resistance Exercise Training. Its Role in the Prevention of Cardiovascular Disease. *Circulation* 2006, 113: 2642-2650.
10. **Chapman A, Lazarevic A.** Valsalva maculopathy. *Clinical and Experimental Optometry* 2002, 85: 42-45.
11. **Col Lt, Yadav YK.** Exercise in the Management of Coronary Artery Disease. *MJAFI Coronary artery disease* 2007, 63 : 357-361.
12. **Crozier Ghilarducci L, Holly R, Amsterdam E.** Effects of high resistance training in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1989, 64: 866 – 870.
13. **Dart AM, Kingwell BA.** Pulse pressure-a review of mechanisms and clinical relevance. *J Am Coll Cardiol* 2001, 37: 975-984.
14. **de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, Stavrinou TM, Orr R, Fiatarone Singh MA.**

- Continuous hemodynamic response to maximal dynamic strength testing in older adults. *Arch Phys Med Rehabil* 2008, 89: 343-350.
15. **Duane TD.** Valsalva hemorrhagic retinopathy. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1972, 70: 298-313.
 16. **Earle RW, Baechle TR.** Resistance training program design W: *NSCA's Essentials of Personal Training.* Champaign, IL: Human Kinetics 2004, str. 373.
 17. **Evans WJ.** Exercise training guidelines for the elderly. *Med Sci Sports Exerc* 1999, 31: 12-17.
 18. **Falkel JE, Fleck SJ, Murray TF.** Comparison of central hemodynamics between powerlifters and body builders during resistance training. *J Appl Sport Sci Res* 1992, 6: 24-35.
 19. **Fardy P.** Isometric exercise and the cardiovascular system. *Phys Sports Med* 1981, 9: 43-56.
 20. **Featherstone F, Holly R, Amsterdam E.** Physiologic responses to weight lifting in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1993, 71: 287-292.
 21. **Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, Evans WJ.** High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA* 1990, 263: 3029-3034.
 22. **Fleck SJ, Dean LS.** Resistance-training experience and the pressor response during resistance training. *J Appl Physiol* 1987, 63: 116-120.
 23. **Fleck S, Kraemer WJ.** Basic Principles of Resistance Training and Exercise Prescription. Basic Definitions W: *Designing resistance training programs.* Champaign, IL: Human Kinetics 1997, 4-5.
 24. **Gotshall, RW, Gootman J, Byrnes WC, Fleck SJ, Valovich TC.** Noninvasive characterization of the dynamic blood pressure responses to the double-leg press. *Journal of Exercise Physiology Online* 1999, 2: 1-6.
 25. **Hamill BP.** Relative safety of weightlifting and weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 1994, 8: 53-57.
 26. **Hamilton WF, Woodbury RA, Harper HT.** Physiologic relationship between intrathoracic intraspinal and arterial pressures. *JAMA* 1936, 107: 853-856.
 27. **Hamilton WF, Woodbury RA, Harper HT.** Arterial, cerebrospinal and venous pressures in man during cough and strain. *Am J Physiol* 1944, 141: 42-50.
 28. **Haykowski M, Taylor D, Teo K, Quinney A, Humen D.** Left ventricular stress during leg-press exercise performed with a brief Valsalva maneuver. *Chest*

2001, 119: 150-154.

29. **Haykowsky M, Dressendorfer R, Taylor D, Mandic S, Humen D.** Resistance training and cardiac hypertrophy. Untravelling the training effect. *Sports Med* 2002, 32: 837-849.
30. **Haykowsky MJ, Evens ND, Warbuton D.** Resistance exercise the Valsalva maneuver, and cerebrovascular transmular pressure. *Med Sci Sports Exerc* 2003, 35: 65-68.
31. **Haykowsky MJ, Findlay JM, Ignaszewski AP.** Aneurysmal subarachnoid hemorrhage associated with weight training: three case reports. *Clin J Sport Med* 1996, 6: 52-5.
32. **Keleman MH, Stewart KJ, Gillilan RE.** Circuit weight training in cardiac patients. *Coll Cardiol* 1986, 7: 38-42.
33. **Kelley GA, Kelley KS, Tran ZV.** Exercise and bone mineral density in men: a meta-analysis. *J Appl Physiol* 2000, 88: 1730-1736.
34. **Lam AK, Lam CH.** Effect of breath-holding on pulsatile ocular blood flow measurement in normal subjects. *Optom Vis Sci* 2004, 81: 597-600.
35. **Lamotte M, Niset G, Van de Borne P.** The effect of different intensity modalities of resistance training on beat to beat blood pressure in cardiac patients. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation* 2005, 12: 12-17.
36. **Lentini AC, McKelvie RS, McCartney N, Tomlinson CW, MacDougall JD.** Left ventricular response in healthy young men during heavy-intensity weight-lifting exercise. *J Appl Physiol* 1993, 75: 2703-2710.
37. **McCartney N, McKelvie RS, Martin J, Sale DG, MacDougall JD.** Weight - training - induced attenuation of the circulatory response of older males to weight lifting. *J Appl Physiol* 1993, 74: 1056-1060.
38. **MacDougall JD, Tuxen D, Sale DG.** Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol* 1985, 58: 785-790.
39. **MacDougall JD, McKelvie RS, Moroz DE, Sale DG, McCartney N, Buick F.** Factors affecting blood pressure during heavy weight lifting and static contractions. *J Appl Physiol* 1992, 73: 1590-1597.
40. **McKelvie RS, McCartney N, Tomlinson C.** Comparison of hemodynamic response to cycling and resistance exercise In congestive hart failure secondary to ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol* 1995, 76: 977-979.

41. **Malik M.** Clinical guide to cardiac autonomic tests. Kluwer Academic Publisher Londyn rozdział: **Hohnloser SH, Klingenhoben T.** Basic autonomic tests 1998, 54-59.
42. **Mark AL, Victor RG, Nerhed C, Wallin BG.** Microneurographic studies of the mechanisms of sympathetic nerve responses to static exercise in humans. *Circ Res* 1985, 57: 461-469.
43. **Meyer K, Foster C.** Nontraditional Exercise Training for Patients With Cardiovascular Disease. *Am J Med Sport* 2004, 6: 78-81.
44. **Miles DS, Owens JJ, Golden JC, Gotshall RW.** Central and peripheral hemodynamics during maximal leg extension exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1987, 56: 12-17.
45. **Mitchell JH, Wildenthal K.** Static (isometric) exercise and the heart: physiological and clinical considerations. *Annu Rev Med* 1974, 25: 369-381.
46. **Miyachi M, Donato J, Yamamoto K, Takahashi K, Gates PE, Moreau KI, Tanaka H.** Greater age-related reductions in central arterial compliance in resistance-trained men. *Hypertension* 2003, 41: 130-135.
47. **Miyachi M, Kawano H, Sugawara J, Takahashi K, Hayashi K, Yamazaki K, Tabata I, Tanaka H.** Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. *Circulation* 2004, 110: 2858-2863.
48. **Narloch J, Brandstater M.** Influence of breathing technique on arterial blood pressure during heavy weight lifting. *Arch Phys Med Rehabil* 1995, 76: 457-462.
49. **Niewiadomski W, Cardinale M, Gasiorowska A, Cybulski G, Karuss B, Strasz A.** Could Vibration Training Be an Alternative to Resistance Training in Reversing Sarcopenia. *Journal of Human Kinetics* 2005, 14: 3-20.
50. **Nutter DO, Schlant RC, Hurst JW.** Isometric exercise and the cardiovascular system. *Mod Concepts Cardiovasc Dis* 1972, 41: 11-15.
51. **Pollock ML, Franklin BA, Balady GJ.** Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benefits, rationale, safety, and prescription. An advisory from the Committee on Exercise Rehabilitation and Prevention Council on Clinical Cardiology American Heart Association. *Circulation* 2000, 101: 828-833.
52. **Quinones MA, Gaasch WH, Waisser E.** An analysis of left ventricular response to isometric exercise. *Am Heart J* 1974, 88: 29-36.

53. **Pitta C.G., Steinert R.F., Gragoudas E.S., Regan C.D.J.** Small unilateral foveal hemorrhages in young adults. *Am J Ophthalmol* 1980, 89: 96–102.
54. **Rakobowchuk M, McGowan CL, de Groot PC, Bruinsma D, Hartman JW, Phillips SM, MacDonald MJ.** Effect of whole body resistance training on arterial compliance in young men. *Exp Physiol* 2005, 90: 645-51.
55. **Rowell LB, O’Leary DS.** Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol* 1990, 69: 407-418.
56. **Sale DG, Moroz DE, McKelvie RS.** Comparison of blood pressure response to isokinetic and weight-lifting exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1993, 67: 115-120.
57. **Sale DG, Moroz DE, McKelvie RS.** Effect of training on the blood pressure response to weight lifting. *Can J Appl Physiol* 1994, 19: 60-74.
58. **Sheldahl LM, Wilke NA, Tristani FE, Kalbfleisch JH.** Response of patients after myocardial infarction to carrying a graded series of weight loads. *Am J Cardiol* 1983, 52: 698-703.
59. **Sheldahl LM, Wilke NA, Tristani FE, Kalbfleisch JH.** Response to repetitive static-dynamic exercise in patients with coronary artery disease. *J Cardiac Rehabil* 1985, 5: 139-145.
60. **Sparling PB, Cantwell JD.** Strength training guidelines for cardiac patients. *Phys Sports Med* 1989, 17: 190-196.
61. **Stone MH, Fleck SJ, Triplett NR, Kraemer WJ.** Health-and performance-related potential of resistance training. *Sports Med* 1991, 11: 210-231.
62. **Taylor N, Dodd K, Damiano DL** Progressive Resistance Exercise In Physical Therapy: A Summary of Systematic Reviews. *Physical Therapy* Volume 85. Number11, November 2005
63. **Treuth M, Ryan A, Pratley R.** **Effects of strength training on total and regional body composition in older men.** *J Appl Physiol* 1994, 77: 614-620.
64. **Victor RG, Secher NH, Lyson T, Mitchell JH.** Central command increases muscle sympathetic nerve activity during intense intermittent isometric exercise in humans. *Circ Res* 1995, 76: 127-31.
65. **Vieira GM, Oliveira HB, de Andrade DT, Bottaro M, Ritch R.** Intraocular Pressure Variation During Weight Lifting. *Arch Ophthalmol* 2006, 124: 1251-1254.
66. **Wallace JP.** Pulmonary Rehabilitation Joint ACCP/AACVPR Evidence-Based

Guidelines. CHEST 2007, 131: 4S-42S.

67. **Yale SH.** Antonio Maria Valsalva (1666-1723). Clinical Medicine Research 2005, 3: 35-38.