



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

양 윤 권 교수지도
박사학위 청구논문

혈류제한을 통한 급성 상지와 하지
저항운동이 성인여성의 맥파속도 및
심혈관 혈액역학반응에 미치는 영향

2022

성신여자대학교 대학원
체육학과
박 정 화

혈류제한을 통한 급성 상지와 하지
저항운동이 성인여성의 맥파속도 및
심혈관 혈액역학반응에 미치는 영향

양 윤 권 교수지도

이 논문을 박사학위논문으로 제출함

2021년 11월

성신여자대학교 대학원

체육학과

박 정 화

인 준 서

박정화의 박사학위 논문으로 인준함

2021년 11월

심사위원장 _____ 최 승 욱



심사위원 _____ 최 철 순



심사위원 _____ 김 하 영



심사위원 _____ 백 승 희



심사위원 _____ 양 윤 권



성신여자대학교 대학원

논문개요

혈류제한의 저항도 저항운동은 비혈류제한의 고강도 저항운동과 유사한 근육 특성의 개선을 기대할 수 있다. 그러나 비혈류제한의 고강도 저항운동은 심혈관의 혈역학반응, 맥파 반사특성, 동맥경직도를 증가시킬 수 있으며, 이는 심혈관질환의 위험 증가와 관련이 있다. 지금까지 심혈관의 혈역학반응, 맥파 반사특성, 동맥경직도에 대한 혈류제한의 상지 저항운동과 하지 저항운동의 차이를 평가 한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구는 20대 성인여성을 대상으로 혈류제한의 유·무에 따른 상지운동과 하지운동의 차이를 맥파속도 및 심혈관의 혈역학반응을 비교 분석하였다. 대상자는 성인여성 18명으로 사전검사를 제외하고 총 4회에 걸쳐 실험실에 방문하여 측정하였다. 본 연구는 cross over 실험디자인으로 오른쪽 쇄골 및 대퇴동맥에 대한 동맥 폐색 압력(AOP) 검증과 2가지 저항운동으로 구성하였으며, wash out 기간은 72시간 간격으로 이루어 졌다. 저항운동은 1-RM의 20%, 4세트 10회 반복으로 구성되었으며, 상지운동은 암걸 운동과 벤치프레스 운동을 실시하였고, 하지운동은 스쿼트 운동과 레그익스텐션 운동을 실시하였다.

연구 결과, 혈류제한 사용에 따른 하지의 PWV-L에서 시기와 집단 간 상호작용이 나타났고($p < .05$), 혈류제한의 PWV-R과 PWV-L에서 상호작용이 나타났 다($p < .05$). 비혈류제한에서 PWV-R과 PWV-L에서 상호작용이 나타났으며 ($p < .05$), 혈류제한의 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 심혈관의 혈역학반응의 변화는 상지운동(DBP, MAP, TPR)과 하지운동 (DBP, MAP, HR, CO)에서 상호 작용이 나타났다($p < .05$). 혈류제한의 상지운동과 하지운동에 대한 운동 시와 회복 시 심혈관의 혈역학반응의 변화는 DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 상호작용이 나타났으며($p < .05$), 비혈류제한에 따른 상지운동과 하지운동의 운동 시와 회복 시 심혈관의 혈역학반응의 변화는 DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에

서 상호작용이 나타났다($p < .05$).

본 연구에서는 이상의 결과로부터 혈류제한을 적용한 급성 저항도의 저항운동은 운동 시 HR과 SV의 증가로 CO가 증가하였고, 운동 중에는 TPR의 현저한 감소로 인하여 혈압반응이 안정적으로 되돌아갔다. 이는 저항운동 시 혈류제한으로 인한 대사적수용기의 작용이 원인이 될 수 있다고 사료된다. 이에 혈류제한을 적용한 저항도의 저항운동은 근비대와 근력 증가 뿐 아니라 운동 시와 회복 시에 나타나는 심혈관의 혈역학반응에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 혈류제한 운동은 근비대 뿐만 아니라 저항도 저항운동과 결합하여 심혈관의 혈역학반응에 효과적일 수 있기 때문에 저항도의 근력운동과 혈류제한을 통합한 안전한 저항운동의 방법이 될 것으로 사료되며, 추후 장기적인 혈류제한을 이용한 저항운동의 효과를 증명하는 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

목 차

논문 개요

I. 서론

1. 연구의 필요성	1
2. 연구목적	6
3. 연구가설	7
4. 연구의 제한점	7
5. 용어 정의	8

II. 이론적 배경

1. 동맥경직도	11
2. 혈류제한(blood flow restriction: BFR)	15
3. 혈류제한을 사용한 운동처방	24
4. 심혈관의 혈역학반응	28

III. 연구 방법

1. 연구 대상	34
2. 연구 추진 일정	35
3. 연구 설계	36
4. 측정 도구	38
5. 측정항목 및 방법	38
1) 신체구성 측정	38
2) 안정 시 BP 측정	39
3) 심혈관 혈역학반응 측정	39
4) 동맥경직도 측정	40

6. 운동프로그램	41
1) 1-RM	41
2) 비혈류제한을 사용한 급성 저항운동	42
3) 혈류제한을 사용한 급성 저항운동	43
7. 자료처리	45

IV. 연구 결과

1. 혈류제한 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교	
1) 혈류제한 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지의 맥파속도 비교	46
2) 혈류제한 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 하지의 맥파속도 비교	47
2. 혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교	
1) 혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교	49
3. 비혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교	
1) 비혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교	51
4. 혈류제한 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈역학반응 비교	
1) 혈류제한 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 상지의 심혈관 혈역학반응 비교 ·	53
2) 혈류제한 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 하지의 심혈관 혈역학반응 비교 ·	57
5. 혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈역학반응 비교	
1) 혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈역학반응 비교	61
6. 비혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈역학반응 비교	
1) 비혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈역학반응 비교	66

V. 논의

1. 혈류제한 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교 71
2. 혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교 72
3. 비혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교 75
4. 혈류제한 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈역학반응 비교 76
5. 혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈역학반응 비교 79
6. 비혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈역학반응 비교 81

VI. 결론 83

참고문헌 85

부록

ABSTRACT

표 목 차

Table 1. Summary of acute responses and chronic cardiac and hemodynamic adaptations to BFR-resistance/aerobic exercise	19
Table 2. Model of exercise prescription with BFR-resistance exercise	27
Table 3. Model of exercise prescription with BFR-aerobic exercise	28
Table 4. Characteristic of subjects	35
Table 5. Procedures and Time frame of the study	35
Table 6. Measured variables and equipments	38
Table 7. Comparison of arterial stiffness of the upper limb at rest and recovery according to BFR or without BFR.	46
Table 8. Comparison of arterial stiffness of the lower extremities at rest and recovery according to BFR or without BFR.	47
Table 9. Comparison of pulse wave velocity of upper and lower limbs at rest and recovery using BFR.	49
Table 10. Comparison of pulse wave velocity of upper and lower limbs at rest and recovery according to without BFR.	51
Table 11. Comparison of hemodynamics response of upper limb during exercise and recovery according to BFR or without BFR	53
Table 12. Comparison limb hemodynamics response of lower limb during exercise and recovery according to BFR or without BFR	57
Table 13. Comparison of hemodynamics response of upper and lower limbs during exercise and recovery using BFR	61
Table 14. Comparison of hemodynamics response of upper and lower limbs during exercise and recovery according to without BFR	66

그림 목 차

Fig 1. Neural pathways controlling cardiovascular function during exercise	30
Fig 2. Experimental design.	37
Fig 3. Measurement of hemodynamics response	40
Fig 4. Measurement of PWV	41
Fig 5. 1-RM measurement	42
Fig 6. Kaatsu Master Kn-100	44
Fig 7. Measurement of BFR and non-BFR exercise	44
Fig 8. Comparison of pulse wave velocity-left(PWV-L) of the lower extremities at rest and recovery according to BFR of without BFR	48
Fig 9. Comparison of pulse wave velocity-right(PWV-R) according to upper and lower after exercise and recovery using BFR	50
Fig 10. Comparison of pulse wave velocity-left(PWV-L) according to upper and lower after exercise and recovery using BFR	50
Fig 11. Comparison of pulse wave velocity-right(PWV-R) according to upper and lower after exercise and recovery	52
Fig 12. Comparison of pulse wave velocity-left(PWV-L) according to upper and lower after exercise and recovery	52
Fig 13. Comparison of diastolic blood pressure(DBP) according to without BFR upper and BFR upper during exercise and recovery	55
Fig 14. Comparison of mean arterial pressure(MAP) according to without BFR upper and BFR upper during exercise and recovery	55
Fig 15. Comparison of total peripheral resistance(TPR) according to without BFR upper and BFR upper during exercise and recovery	56
Fig 16. Comparison of diastolic blood pressure(DBP) according to without BFR lower and BFR lower during exercise and recovery	59

Fig 17. Comparison of mean arterial pressure(MAP) according to without BFR lower and BFR lower during exercise and recovery	59
Fig 18. Comparison of heart rate(HR) according to without BFR lower and BFR lower during exercise and recovery	60
Fig 19. Comparison of cardiac output(CO) according to without BFR lower and BFR lower during exercise and recovery	60
Fig 20. Comparison of diastolic blood pressure(DBP) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery	63
Fig 21. Comparison of mean arterial pressure(MAP) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery	63
Fig 22. Comparison of stroke volume(SV) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery	64
Fig 23. Comparison of heart rate(HR) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery	64
Fig 24. Comparison of cardiac output(CO) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery	65
Fig 25. Comparison of total peripheral resistance(TPR) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery	65
Fig 26. Comparison of diastolic blood pressure(DBP) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery	68
Fig 27. Comparison of mean arterial pressure(MAP) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery	68
Fig 28. Comparison of stroke volume(SV) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery	69
Fig 29. Comparison of heart rate(HR) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery	69
Fig 30. Comparison of cardiac output(CO) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery	70

Fig 31. Comparison of total peripheral resistance(TPR) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery70

I. 서론

1. 연구의 필요성

전 세계적으로 심혈관질환(cardiovascular disease: CVD)은 사망원인 1위를 기록하였으며(Fuchs, & Whelton, 2020), 우리나라의 고혈압 환자는 약 1,200만 명 이상으로 만성질환 중 27.2%의 가장 높은 유병률을 차지한다(질병관리청, 2019). 의학기술의 발달로 우리나라의 65세 인구는 812만 5천 명으로 전체 인구의 15.7%를 차지하여 고령사회가 되었으며(통계청, 2020), 여성의 평균 폐경이 48세 전·후로 나타나 수명이 연장된 만큼 많은 기간을 폐경기 이후에 보내고 있다(박승애, 김종경, 2010). 여성에게 폐경은 호르몬 분비 감소로 인한 CVD 증가(이인정, 2007)와 같은 문제를 야기시키므로 여성의 CVD 예방 및 개선을 위한 해결방안은 중요하다.

동맥경직도(arterial stiffness)는 혈관 건강을 평가하는 중요한 생체지표이다(Laurent, Alivon, Beaussier, & Boutouyrie, 2012). 또한, 동맥순응도(arterial compliance)는 동맥경직도와는 반대의미로 심장수축 및 이완 중에 동맥이 확장되고 이완하는 능력이다(Nichols, & O' Rourke, 1998). 동맥순응도는 체지방 분포, 대퇴부 근육량, 신체활동 및 유산소능력과 같은 신체구성 및 생활양식의 변수와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Nordstrand et al., 2011). 중년 및 노인에서 유산소운동으로 동맥순응도가 향상되지만, 고강도의 저항운동(high-intensity resistance exercise)을 규칙적으로 실시한 자는 좌업생활자에 비해 동맥순응도가 낮았다(Cortez-Cooper et al., 2005). 이는 고강도의 저항운동이 근 감소증 및 골다공증을 개선시키는 데 효과적이라 할지라도 동맥순응도에 부정적으로 작용함을 시사한다.

동맥경직도는 기능성(내피세포, 평활근세포) 및 구조적 구성요소(elastin,

collagen 및 결합조직)에 의해 결정된다. 이는 동맥구조의 기능이며 운동에 영향을 받는 구성요소에 따라 더 빠르게 또는 느리게 수정될 수 있다(Green et al., 2013). 대동맥 맥파분석(aortic pulse wave analysis)은 대동맥혈압에 대한 정보를 제공하며, 이는 혈압(blood pressure: BP)의 파형뿐만 아니라 상완혈압의 측정값과 일치하지 않을 수도 있다(Laurent et al., 2006).

대동맥혈압과 증강지수(augmentation index: AI) 및 증강압력과 같은 맥파분석의 지수들은 연령이 증가함에 따라 증가한다(Casiglia et al., 2013). 동맥경직도 지수인 맥파속도(pulse wave velocity: PWV)도 연령이 증가함에 따라 증가하여 심장, 신장 및 뇌 손상에 영향을 가져온다. 또한, AI는 심혈관질환(cardiovascular disease: CVD)을 예측하며(Ben-Shlomo, Spears, & Boustred, 2014), 동맥경직도의 노화는 근육의 말초동맥보다 중앙 대동맥에서 더 두드러진다(Wilkinson, Franklin, Hall, Tyrrell, & Cockcroft, 2001).

동맥경직도를 평가하기 위한 방법은 1) 경동맥경직도 및 경동맥 β -경직도 지수(carotid β - stiffness index), 2) 경동맥 대퇴 맥파속도(carotid-femoral pulse wave velocity: cfPWV)로 측정된 중심 동맥경직도, 3) 경동맥-방사선 맥파속도(carotid-radial pulse wave velocity: crPWV), 대퇴골 맥파속도(femoral ankle pulse wave velocity: faPWV), 대퇴골 배동맥 맥파속도(femoral-dorsalis pedis pulse wave velocity: fdPWV)로 측정된 말초 동맥경직도, 4) 상완-발목 맥파속도(brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) 및 심근 발목 혈관지수(cardio-ankle vascular index: CAVI)로 측정된 전신 동맥경직도가 있다. 맥파속도, β - 경직도 지수, CAVI 값이 높거나 동맥순응도 값이 낮을수록 동맥경화가 더욱 심하며, cfPWV 및 baPWV가 1 m/s 증가하면 CVD의 위험이 각각 7% (Ben-Shlomo et al., 2014), 12% (Vlachopoulos, Aznaouridis, Terentes-Printzios, Ioakeimidis, & Stefanadis, 2012) 증가한다. 따라서 동맥경화 예방을 목표로 하는 생활습관 개선은 매우 중요하며, 특히 신체활동 증가는 가장 중요한 생활

습관으로 보여진다(백승희, 최승욱, 2012).

한편, 신체활동은 “골격근 수축에 의해 에너지를 소비하는 신체의 움직임”으로 정의되며(Caspersen, Powell, & Christenson, 1985), 규칙적인 신체활동은 CVD의 위험 감소와 관련이 있다(Mons, Hahmann, & Brenner, 2014). 운동은 “계획적이고 반복적이며 건강 증진의 목적이 있는 신체활동”이다(Caspersen et al., 1985). 운동은 형태, 지속시간, 빈도 및 강도에 따라 동맥경직도에 다양한 영향을 미친다. 일반적으로 유산소운동과 저항운동의 두 가지 주요 운동형태가 있다. 미국스포츠의학회(American college sports medicine: ACSM)에 의하면 유산소운동은 “지속적이고 리듬적인 활동”으로 정의되며(Garber et al., 2011) 심폐기능뿐만 아니라 동맥경직도에도 효과적인 신체활동이고(Vivodtzev et al., 2010; 유승우, 오유성, 천영진, 2016), 저항운동은 “일상생활 활동에서 나타나는 행동보다 더 큰 부하에 대해 자발적인 근수축을 반복적으로 실행하는 활동”으로 정의된다(Lee, & Carroll, 2007). 선행연구에서는 근력 유지 및 개선을 위한 수단으로 저항운동이 제안되어 근육량과 근력증가에 유용성을 보고했지만, 심혈관의 혈역학반응과 동맥경직도에 대한 저항운동의 효과는 분명하지 않다.

선행연구에서는 근력을 최대화하기 위해 고강도 저항운동이 권장되었지만(Garber et al., 2011), 동맥경직도가 증가하여 동맥경화도에 바람직하지 않은 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다(Miyachi, 2013). 일반적으로 1회 반복 최대(1-RM)의 65~70%에서 저항운동을 8주 동안 주 2~3회씩 실시하면 근력과 근비대를 증가시키기에 충분하다(Abe, Yasuda, Midorikawa, & Sato, 2005; Medicine, 2013). 그러나 이러한 유형의 저항운동은 일부 모집단(노인, 비만, 근·골격계 질환자 등)에서 고강도의 부하가 적용되기 때문에 운동의 위험성에 대한 문제가 제기된다.

최근 건강과 운동산업은 빠르게 진화하는 분야로서 여러 새로운 운동양식

이 자주 등장하고 있다. 새로운 운동 방법 중 하나는 혈관폐색을 동반한 급성 저항도 운동을 포함한다. 이 새로운 운동 기법의 일차적인 매력은 사지 혈류 제한(blood flow restriction: BFR)을 이용한 저항운동 수행이 많은 사람들에게 근력, 근지구력 및 근비대를 향상시키는 효과적인 운동형태로 부상하고 있다 (Jessee et al., 2016). Kaatsu 또는 폐색운동으로 알려진 혈류제한운동은 활동 근육으로 가는 혈류량을 줄이고 상·하지의 혈관을 압박하여 정맥 회귀를 막는 방법이다. 혈류제한을 이용한 운동은 수축기혈압(systolic blood pressure: SBP) 또는 동맥 폐색압력(arterial occlusion pressure: AOP)의 백분율을 이용하여 커프 압력을 가함으로써 동맥혈류를 차단하는 데 필요한 압력을 혈류제한으로 유도한다. 이러한 혈류제한을 사용하는 운동 방법은 20~40% 1-RM에서 준비운동 2~4세트, 본 운동 15세트 및 휴식(30~60초)으로 낮은 강도로 구성된다 (Figuroa, & Vicil, 2011).

그러나 혈류제한 저항운동은 주로 근육적응을 유도하기 위한 하지 저항운동에 초점을 맞추고 있으며(Sumide, Sakuraba, Ohmura, & Sawaki, 2007), 심혈관의 혈역학반응(hemodynamics response)에 대한 상지 저항운동(upper body resistance training: URT) 및 하지 저항운동(lower body resistance training: LRT)의 연구는 거의 이루어지지 않았다(Poton, & Polito, 2016).

혈역학적 반응에 미치는 영향으로서 혈류제한을 사용한 저항운동은 심박수(heart rate: HR), BP, 심박출량(cardiac output: CO) 등의 심혈관 기능을 현저하게 증가시킨다(Pope, Willardson, & Schoenfeld, 2013). 혈류제한에 의한 심혈관의 혈역학반응은 HR은 증가하고 SV는 감소하며, 혈관의 직경이 감소하면서 말초혈관저항(total peripheral resistance: TPR)은 증가한다(전종목 등, 2009). HR과 SV는 50 mmHg의 가압에서는 변화가 나타나지 않지만, 200 mmHg의 혈류제한에서는 HR의 15% 상승과 SV의 약 40% 감소되며 TPR이 1.7배까지 상승한다(Ishii, 2004). 혈류제한은 자율신경계의 교감신경(sympathetic nervous)을

항진시키고 부교감신경(parasympathetic nervous)의 활동을 감소시킨다. 15분 동안 하지 혈류제한시 심혈관계는 울혈작용이 나타나 교감신경이 항진되고 HR이 상승하며, SV와 CO의 저하와 함께 TPR의 항진이 나타난다. 반면 150 mmHg 이하의 혈류제한에서는 HR의 변화는 나타나지 않았지만 SV와 CO의 저하가 나타난다(Ishii, 2004).

혈류제한의 안전면에 대해서는 운동 중 수축기혈압(5~10 mmHg)의 상승을 초래하며 증가된 BP의 반응은 심혈관질환의 위험을 유발할 수 있다(May et al., 2017). 또한, 운동 유·무에 관계없이 혈류제한을 적용하는 일반적인 문제점은 이 자극이 허혈성 재관류(ischemic-reperfusion) 손상을 통해 근 손상을 일으키거나 증가시킬 수 있다는 가능성이 있다. 혈류제한에 대한 근 손상 반응은 상지와 하지 모두에서 나타날 수 있으며(Loenneke, Thiebaud, & Abe, 2014), 근 손상의 간접적인 지표인 근육통은 지속적으로 상승한다(Nielsen et al., 2017). 그러나 근 손상을 검토한 연구는 단 3편뿐이며 실제 근육에는 손상이 없거나 경미한 것으로 보고되었다(Cumming, Paulsen, Wernbom, Ugelstad, & Raastad, 2014; Nielsen et al., 2017; Patterson et al., 2019). 다만, 혈류제한 연구가 초기 단계에 있으며 생리학적 시스템의 범위나 적용 기전 등을 이해하기 위한 안전면에 대해 추가 연구가 필요하다.

대부분의 선행연구에서 혈류제한이 없는 저강도 저항운동보다 혈류제한을 통한 저강도 저항운동이 유용한 것으로 나타났다(Vieira, Chiappa, Umpierre, Stein, & Ribeiro, 2012). 혈류제한과 함께 최대근력 20~40%에서의 근력 운동은 혈류제한을 동반하지 않은 70% 강도에서 운동 효과와 유사한 근비대가 나타났다며, 수술 후 재활을 필요로 하는 사람과 노인 모두에게 혈류제한을 동반한 저강도의 근력운동은 긍정적인 효과가 나타났다(Lopes et al., 2021). 하지만 혈역학적반응을 다룬 연구는 부족하다. 선행연구에 의하면 급성(acute) 상지운동에서 맥파속도 반사특성의 현저한 증가가 나타났지만, 급성 하지운동에

서는 관찰되지 않았다(Heffernan, Jae, Echols, Lepine, & Fernhall, 2007). 하지 운동은 심장으로부터 상지운동보다 더 긴 거리를 가지므로 파동을 다시 심장으로 반사하는 동안 맥파속도 반사특성이 완충될 수 있다. CVD의 위험이 높은 대상자에게 혈류제한을 이용한 상지 저항운동은 위험할 수 있다는 것을 시사한다. 이에 상지 및 하지반응에 대한 보다 자세한 검토가 필요하다.

최초로 혈류제한 운동을 개발한 일본의 경우, 약 20만 명 이상의 일반인 및 운동선수들이 참여하고 있으며(Sato, 2005), 다양한 혈류제한 연구가 진행되고 있다. 그러나 우리나라에서는 혈류제한을 사용한 연구가 매우 부족한 실정으로 혈류제한 운동을 위한 가압의 적정 운동 강도를 제시하지 못하고 있으며, 국외 선행연구들의 결과를 적용하고 있다. 지금까지 동일한 연구 집단에서 혈류제한을 사용한 하지운동과 상지운동의 급성 효과를 평가한 연구는 아직까지 국내에 보고되지 않고 있다.

2. 연구목적

본 연구는 20대 성인여성을 대상으로 혈류제한을 사용한 상지와 하지의 급성 저항운동에 대한 운동 시와 회복 시 40분 동안의 맥파속도 및 심혈관의 혈역학반응의 차이를 분석하였으며, 혈류제한의 유·무에 따른 상지와 하지의 운동 시와 회복기 40분 동안의 동맥경직도 및 심혈관 혈역학반응 차이를 과학적으로 비교 분석하여 동맥경직도 및 심혈관 혈역학반응의 기전을 규명하는데 그 목적이 있다.

3. 연구가설

연구의 가설은 다음과 같이 설정하였다.

- 1) 혈류제한의 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파 속도에서 차이를 나타낼 것이다.
- 2) 혈류제한의 상지와 하지는 안정 시와 운동 후 회복 시 맥파속도에서 차이를 나타낼 것이다.
- 3) 비혈류제한의 상지와 하지는 안정 시와 운동 후 회복 시 맥파속도에서 차이를 나타낼 것이다.
- 4) 혈류제한의 유·무에 따른 상지와 하지는 운동 시와 회복 시 심혈관의 혈역학반응에서 차이를 나타낼 것이다.
- 5) 혈류제한의 상지와 하지는 운동 시와 회복 시 심혈관의 혈역학반응에서 차이를 나타낼 것이다.
- 6) 비혈류제한의 상지운동과 하지운동은 안정 시와 회복 시 심혈관의 혈역학반응에서 차이를 나타낼 것이다.

4. 연구의 제한점

본 연구의 제한점은 다음과 같다.

- 1) 본 연구의 대상자를 S시 20~29세 여성으로 제한하였다.
- 2) 실험 중 대상자의 심리적인 변화를 완벽하게 통제하지 못하였다.

5. 용어 정의

이론적 배경 검토를 진행하기 전에 혈류제한 운동에 대한 여러 용어들이 동의어로 사용된다는 것을 유념하는 것이 중요하다. 따라서 자주 기술되는 각 용어에 대한 정의는 아래와 같다.

1) 동맥경직도(arterial stiffness)

심장으로부터 혈액을 운반하는 혈관의 물질적 특성(즉 동맥)을 말한다. 동맥은 본래 탄력성이 있으며 심장이 혈관을 통해 혈액을 배출할 때 이완된다. 이때 동맥의 확장되는 정도를 나타내는 탄성지표가 동맥경직도이며, 노화나 당뇨 같은 대사질환과 심혈관위험 요인들로 인해 동맥 확장이 용이하지 않을 경우 동맥경화를 악화시킬 수 있다.

2) 동맥순응도(arterial compliance)

동맥순응도는 CVD와 관련된 사망률의 중요한 위험 인자이다. 예를 들어, 동맥순응도의 감소는 말기 신부전 및 고혈압자에서 높은 사망률과 관련이 있다(Tanaka, & Safar, 2005). 또한, 체지방 분포, 대퇴부 근육량, 신체 활동 및 생활 습관의 변수와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Nordstrand et al., 2011; van de Laar et al., 2011). 동맥경직도와는 반대의미로 심장수축 및 이완 중에 동맥이 확장되고 이완하는 능력이다.

3) 혈류역학(hemodynamics)

혈류역학은 몸 전체에서 BP와 혈류 모두의 움직임을 설명하는 데 사용되는 포괄적인 용어다. BP와 혈류는 두 개의 분리된 힘을 나타낸다. BP와 혈류는 몸 전체에서 서로 다른 속도로 이동하며 다른 요인에 의해 변화한다. 심장이

수축할 때 생성되는 압력은 혈액이 몸의 주변부 전체에 걸쳐 전진하도록 하는 것이다. 그러나 BP와 혈류는 한 방향으로 이동하지 않으며, 앞뒤로 움직일 수 있다.

4) 혈류제한(blood flow restriction: BFR)

혈류제한은 근육으로 가는 동맥혈 흐름을 줄이고, 근육 혈관을 압박하여 정맥 회귀를 막는 방법이다.

5) 혈류제한(BFR) 운동

동맥 유입을 유지하면서 정맥 회수를 제한하여 근육에 혈액이 고이는 것을 목표로 지혈과 같은 외부 압축을 사지의 근육 주위에 배치하는 것이다. 이 운동은 걷기 및 저항운동을 포함한 다양한 운동형태와 함께 수행될 수 있다.

6) 맥파속도(PWV)

압력파의 검사를 통해 동맥강성을 결정하는 방법은 대동맥에서 대퇴 동맥으로 이동한다. 심장 수축 시 대동맥에 압력파가 발생하며, 이 압력파는 대동맥을 따라 말초동맥으로 전달된다. 말초동맥에 도달하는 압력파는 심장에서 말초동맥까지의 거리에 따라서 도달시간에 차이가 생기고, 이 압력파가 전달되어 온 거리를 도달시간의 차이로 나눈 값이 맥파속도이다.

7) 상완-발목 맥파속도(brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV)

혈관의 경직도 평가로서 주요 사지 동맥의 동맥경화 진행 여부를 진단한다.

8) 1-repetition maximum(1-RM)

개인이 전체 동작 범위를 통해 한 번 움직일 수 있는 저항의 값을 의미한다.

9) 동맥폐쇄 압력(arterial occlusion pressure: AOP)

동맥 혈류를 막는데 필요한 압력이다.

10) 증강압력(augmentation pressure: AP)

압력 파형에서 첫 번째 수축기 최대값과 두 번째 수축기 최대값의 차이이다.

11) 확장지수(augmentation index: AIx)

첫 번째 수축기 최대값과 두 번째 수축기 최대값의 차이를 맥파 압력으로 나누고 100을 곱한 값이다.

II. 이론적 배경

1. 동맥경직도

인간이 운동을 수행하기 위해서는 산소를 섭취하고, 생명 활동의 에너지원인 아데노신 3인산(adenosine triphosphate: ATP)이 많이 필요하다. 심혈관계는 산소운반에 관련된 주요 기관이며, 운동 시에는 HR 및 SV의 증가에 의한 CO가 증가한다. 또한, 혈관의 수축 및 이완에 의해 골격근에 우선적으로 혈액이 분배되어 운동을 지속할 수 있다.

대동맥은 혈액을 운반하는 도관으로서의 역할을 가지며 신전성이 풍부하다. 심박동에 의한 혈액의 유입에 따라서 신전함으로써 완충작용 및 좌심실 부하를 경감하는 작용을 한다(Belz, 1995). 즉, 동맥의 신전성이 높은 경우에는 좌심실 수축기에 혈액이 동원한다 하더라도 동맥의 신전에 의해서 압력이 흡수되므로, 동맥 BP의 상승은 비교적 낮다. 이완기에는 신전된 동맥벽의 탄성에 의해 원래의 지름으로 돌아가려 할 때 BP 저하는 느리며 더욱이 맥압(SBP와 DBP의 차이)도 작다.

동맥경직도는 용량(volume: V)의 변화량과 내압(pressure: P)의 변화량의 비($\Delta V/\Delta P$)로 나타내며, 동맥계의 신장성과 용량으로 규정된다(Kuecherer, Jus, & Kirchheim, 2000). 동맥벽의 신장성은 경직도를 용량에서 기준화한 값($\Delta V/\Delta P/V$)이다. 따라서 동맥경직도가 증가되면 BP 상승에 따른 좌심실 부하가 증가하므로, 운동 시의 심장 펌프 기능은 제한된다. 최근 동맥경직도에 대한 관심이 높아지고 있으며, 최대산소섭취량(maximal oxygen uptake: $\dot{V}O_{2max}$)과 사이에 유의한 상관관계를 보고하였다(Tanaka et al., 2000). 하지만 이들의 연구에서는 동맥경직도 또는 동맥 신전성과 유산소능력과 상관분석이 행해지고 있을 뿐으로 운동 시의 순환상태와 연계한 검토는 이루어지지 않았다.

1) 맥파속도의 검사 및 평가

인간 연구에서는 동맥 기능을 직접 평가하는 것이 거의 불가능하기 때문에 다양한 비 침습적 방법론이 사용되고 있다. 동맥경화는 대동맥 팽창성의 감소로 정의된다. 일반적으로 맥파속도 측정은 대동맥 확장성을 평가하기 위해 광범위하게 사용되고 있다(Laurent, Boutouyrie, & Asmar, 2001). 맥파속도는 경동맥과 대퇴 동맥과 같은 두 개의 서로 다른 동맥 사이의 거리를 동맥의 한 부위에서 다른 부위로 맥파 이동 시간으로 나누어 계산한다(Laurent et al., 2006). 맥파속도는 혈관이 경화되고, 직경이 좁을수록 빨라지며, 이것을 응용한 것이 맥파속도이다(양윤권, 2012). 이는 혈관 직경 및 혈액 점도와 반비례하며 혈관 벽두께와 팽창성에 비례하여 맥파속도의 속도가 빠를수록 대동맥 팽창성이 낮음을 나타내며, 심혈관질환과 밀접한 관련이 있다(Hansen, Staessen, & Torp-Pedersen, 2006).

동맥경화를 확인하는 비 침습적 방법으로 첫째, 2D 영상 기술은 팽창 압력에서 직경 또는 단면적의 변화를 측정하는 것으로서(Boesen, Singh, Menon, & Frayne, 2015), SBP 및 DBP의 차이로 나눈 혈관 단면적의 변화로 정의되는 동맥 확장성이다(Whitlock, & Hundley, 2015). 단면적은 초음파 영상, 심장 자기 공명 영상(cardiac magnetic resonance imaging: CMR) 및 다중 검출기행 단층촬영(multi-detector row computed tomography: MDCT)을 포함한 다양한 양식에 의해 측정된다. 둘째, 맥파분석 기술(pulse wave analysis technique)은 압력계의 파형 분석으로 반복적인 전진 및 반사로 인한 중심 혈역학 및 증가된 압력의 양을 추정할 수 있다(Poleszczuk et al., 2018).

맥파속도는 맥파가 순환계를 통해 전파되는 속도로서(Asmar et al., 1995) 전도 시간이 측정되는 동맥 부분은 경동맥 대퇴 맥파속도(cfPWV) (Millasseau, Stewart, Patel, Redwood, & Chowienczyk, 2005), 심장 대퇴 맥파속도(hfPWV) (Liu et al., 2019) 및 baPWV와 같은 맥파속도의 유형을 결정한다(Matsui et

al., 2004). cfPWV는 동맥 탄성만 평가할 수 있는 반면, baPWV는 동맥 탄성과 근육 동맥을 포함한다. 또한, 내피기능장애는 위에서 언급한 동맥경화를 유발하기 때문에 내피기능 검사는 혈관질환이 의심되는 환자에게도 중요하다. 이 측정에는 상완 동맥류의 흐름 매개 팽창(flow-mediated dilation: FMD)이 있다.

동맥경직도는 고유한 탄성으로 사용되는 표시는 동맥벽의 경직도에 따라 증가하는 맥파속도이다. 맥파속도는 죽상 경화성 플라그에서 석회화가 진행될 때까지 진행단계까지의 변화를 반영하지 않는다(van Popele et al., 2001). 따라서 동맥경화의 진행에 대한 영향은 많은 관심을 불러일으켜(Avolio et al., 1983) 연령증가와 관련된 동맥경화의 증가는 말초가 아닌 주요 동맥을 주로 포함하는 것으로 나타났다(Mitchell et al., 2004). 동맥경화는 압력변화에 반응하여 동맥벽의 확장성 및 수축성을 감소시킨다. BP의 변화에 따른 부피의 상대적 변화로 정의되는 확장성은 수축기 동안 동맥이 팽창하는 능력이다(Cecelja, & Chowienczyk, 2012). 맥파속도는 반면에, 동맥압력 파동의 전파속도이고, 두 설정 지점 사이의 거리를 파동이 커버하는 데 필요한 전달 시간으로 나누어 계산한다(Dogui et al., 2011). 동맥경직도의 맥파속도는 동맥벽의 탄성 감소에 의해 증가되며, 비 침습적인 방법이고 높은 재현성 때문에 진단 및 임상적 도구로서 사용되고 있다(Mancia, De Backer, & Dominiczak, 2007).

반면, 상완-발목(brachial-ankle)의 맥파속도를 압력과 부피를 사용하여 측정하는 방식인 baPWV가 도입되었다(Yambe et al., 2004). 동맥경직도의 평가에서 맥파속도를 사용하는 한계는 맥파속도의 크기로 측정된 기능적 경직도가 동맥벽에 가해지는 혈액의 압력에 의존한다는 것이다. 이는 구조적 변화 없이 하중 압력이 증가함에 따라 측정된 경직도의 증가가 입증되었다(Bergel, 1961).

2) 동맥경직도와 저항운동

동맥의 BP 및 혈류는 심박동에 의한 혈액의 유입에 따라 박동한다. 동맥은

이에 따라 신전되며, 간헐적인 혈액의 흐름을 평활화하는 작용 및 좌심실 부하를 경감시키는 작용을 한다(Belz, 1995). 동맥경직도가 낮은 경우 이 작용이 충분히 발휘되므로 좌심실 수축기에 혈액을 동원한다 하더라도 동맥 BP의 상승은 적다.

동맥 BP는 좌심실 부하의 중요한 규정인자로서 심장 펌프기능에 영향을 미친다. 즉, 좌심실 부하가 증가하면 CO가 감소하기 때문에 동맥경직도가 감소할 것이다. 좌심실 부하를 규정하는 혈관 인자는 동맥경직도 이외에 TPR이 있다. 말초혈관(세동맥)은 교감 신경의 지배를 받아 혈관 벽을 둘러싼 평활근 조직의 수축·이완의 혈류량 및 혈관 저항의 조절을 한다. 일반적으로 높은 신전성을 가진 대동맥의 영향이 큰 동맥경직도는 TPR에 비하면 좌심실 부하에 대한 기여도가 작다.

일반적으로 저항운동 중에는 SBP와 DBP가 모두 급격히 증가 하는 반면 유산소 운동 중에는 SBP만 증가하고 DBP는 증가하지 않는다(Stratton, Levy, Cerqueira, Schwartz, & Abrass, 1994). 따라서 과거의 패러다임에서 저항운동은 노인, 특히 심혈관질환자에게 권장되지 않는다. 반면 선행연구에 따르면 유산소 운동만으로는 근 감소증을 예방하는 데 필요한 근육량과 근력을 유지할 수 없다는 사실이 밝혀졌다(Williams, Haskell, & Ades, 2007).

그러나 저항운동의 위험성에 대한 통념 때문에 저항운동이 혈관 기능에 미치는 영향에 대한 연구는 크게 부족한 실정이다. Bertovic et al(1999)은 저항운동을 실시한 남성의 대동맥 팽창률이 대조군 보다 낮다는 것을 보여주었다. 그러나 저항운동이 혈관 기능에 미치는 영향을 조사한 연구 결과는 논란의 여지가 있다. 좌식 생활자보다 저항운동을 실시하는 운동선수에서 더 큰 동맥경직이 관찰되었다(Otsuki, Maeda, & Iemitsu, 2007). 대조적으로, 맥파속도에 의해 평가된 동맥경직도는 고강도 저항운동을 실시한 남성과 좌식생활 남성 사이에 차이가 나타나지 않았다(Heffernan, Collier, Kelly, Jae, & Fernhall, 2007).

또한 Fahs, Heffernan, Ranadive, & Fernhall(2010)은 유산소 능력과는 무관하게 근력과 맥파속도 사이에 유의한 상관관계를 보고하여 근력을 향상시킬 수 있는 저항운동이 동맥경직도를 개선할 수 있음을 시사했다.

2. 혈류제한(Blood flow restriction: BFR)

1) 혈류제한을 사용한 저항운동

혈류제한을 사용한 저항운동은 1980년대에 Kaatsu 트레이닝으로 알려진 Yoshiaki Sato박사에 의해 일본에서 대중화되었다(전종목 등, 2009). 2003년 12월에 Kaatsu 기기가 개발되어 연구를 시작했다(Takano et al., 2005). 혈류제한 저항운동은 Kaatsu 운동 또는 혈관폐색 운동으로 알려져 있으며, 근육으로 가는 혈류를 줄이고 상하지의 근육 혈관을 압박하여 정맥 회귀를 막는 방법이다. 혈류제한을 이용한 저항도 저항운동은 20년 이상 연구되어 서로 다른 모집단에서 사용되었지만, 그 적용과 메커니즘은 여전히 명확하지 않다. 혈류제한은 운동 전에 상하지의 가장 윗부분 주위에 제한적인 커프를 배치한 다음 정맥혈류가 완전히 폐색된 상태에서 동맥혈의 흐름이 제한되는 압력으로 팽창된다(Loenneke et al., 2012a). 이 방법의 특징은 저항운동(저강도 20~40% 1-RM) 또는 유산소운동(걷기운동 3~5 km/h) 동안 비교적 가벼운 하중이 이용되지만, 근력과 근량이 증가한다. 흥미롭게도 혈류제한에 의한 저항운동 후에 관찰된 근력 및 근량의 증가는 혈류제한이 없는 저항운동보다 더 크며(Abe et al., 2012), 동일한 효과를 얻을 수 있다(Thiebaud, Yasuda, Loenneke, & Abe, 2013).

저항운동은 근력과 근지구력(Position-Stand, 2009), 근비대(Hurley, & Roth,

2000), 골 기능(Milliken et al., 2003)을 증진시키기 위해 권장된다. 이를 위해서는 70% 1-RM 이상의 운동이 필요한 것으로 판단되며, 70% 1-RM 미만일 경우 근육 내구성을 높이는 것으로 간주 된다(Position-Stand, 2009). 이에 비해 선행연구들은 혈류제한을 이용한 저항운동(20~30% 1-RM)으로 근력과 근지구력, 근비대를 증가시킨다는 것을 보여주었다(Vilaça-Alves, Neto, & Morgado, 2016). 또한, 유산소 운동은 $\dot{V}O_{2max}$ 의 75%로 권장하고 있지만, 혈류제한에서는 $\dot{V}O_{2max}$ 의 20%에서 실시된다(Hackney, Everett, Scott, & Ploutz-Snyder, 2012). Fry et al(2010)은 “지난 10년간 혈류제한을 이용한 저 부하운동은 재활에서의 강한 저항운동의 대안으로 근력을 높이기 위한 운동 방법으로서 널리 이용되었다”고 하였다.

저강도 혈류제한운동은 저 산소 가용성 환경을 조성하여 type II 근섬유와 유산소성 대사를 활성화시키는 것으로 사료된다(Hackney et al., 2012). 이는 근대사 물질의 축적을 유발하여 자극하며(Suga et al., 2009), 저산소성 환경과 대사산물은 신경 구심성을 자극하여 성장호르몬(growth hormone: GH)을 증가시킨다(Takano et al., 2005). Takarada, Takazawa, & Ishii(2000)은 1회성의 혈류제한운동(1-RM의 20%, 평균 214 mmHg의 커프압력으로 5세트의 하지 신전 운동) 후 GH가 290배나 증가했다고 보고했다. 혈류제한운동 후 GFH(Takano et al., 2005)와 테스토스테론(Loenneke, Balapur, Thrower, Barnes, & Pujol, 2011)의 변화를 검토한 많은 연구가 있지만, 이들 호르몬에 대한 혈류제한을 이용한 운동의 영향은 여전히 논란의 여지가 있다.

저강도 혈류제한운동에 이차적인 국소 저산소증 및 대사산물은 근육 단백질 합성(muscle protein synthesis: MPS)을 자극하는 라파마이신(rapamycin: mTOR) 경로의 산물인 리보솜 단백질 S6 키나제 베타 -1(ribosomal protein S6 kinase beta-1)의 3배 증가를 초래한다(Fujita, Brechue, Kurita, Sato, & Abe, 2008).

지금까지의 연구들은 개인의 SBP 또는 동맥 폐쇄압력(AOP)의 백분율을 통

해 서로 다른 절대 측정압력 또는 상대 측정압력을 가함으로써 혈류제한을 유도한다. 또한, 커프의 폭(3~18 cm)이 다르며 강도(20~40% 1-RM)에서 세트 수(2~4세트)와 반복회수(15회), 휴식간격(30~60초)까지 다르다(Figueroa, & Vicil, 2011). 따라서 혈류제한을 사용한 저항운동을 실시하려면 30, 15, 15, 15회의 4세트를 30% 1-RM에서 40~80%의 AOP(Loenneke et al., 2015)로 활용해야 한다. 그러나 주로 근육적응을 유도하기 위한 하지운동에 초점을 맞추고 있으며, 심혈관의 혈역학반응의 효과를 검토한 연구는 부족한 실정이다(Poton, & Polito, 2016).

선행연구에서 혈류제한을 적용하지 않은 1회성 저항운동은 SBP 및 DBP의 변화가 나타나지 않았고(Tai, Gerhart, Mayo, & Kingsley, 2016), Brandner, Kidgell, & Warmington(2015)은 80% 1-RM에서 6~8회 4세트를 반복 실시한 결과, SBP와 DBP에는 변화가 없었으나, Lefferts, Augustine, & Heffernan(2014)은 벤치프레스에서 80% 1-RM으로 5회 4세트 반복으로 1회성 상지운동(벤치프레스 및 이두근 쥘)을 실시한 후 10분 후에 SBP가 높게 증가하고, DBP가 크게 감소하는 것을 보고하였다.

선행연구들은 혈류제한의 압력이 250 mmHg에 도달할 때까지 운동이 없는 혈류제한 동안 BP가 변하지 않는 것으로 나타냈다(Iida et al., 2007). 혈류제한의 1회성 하지운동과 상지운동은 상완 SBP와 DBP에 변화가 없었다(Brandner et al., 2015; Poton, & Polito, 2016). Brandner et al(2015)은 혈류제한을 이용하여 안정 시 SBP의 80~130% 미만의 이두박근에 대해 20% 1-RM에서 30회, 15회 및 15회 반복의 4세트를 실시하였고, Poton, & Polite (2016)는 20% 1-RM에서 100% AOP로 15회의 무릎신전운동을 실시하였으며, Neto et al(2016)은 80% AOP로 이두박근, 삼두근 신전, 무릎 신전 및 혈류제한 굴곡운동에 대해 20% 1-RM에서 4세트 30회, 15회, 15회 및 15회 반복 후 BP의 저하 효과를 보고했다. 이는 혈류제한의 유·무에 관계없이 1회성 하지운동과 상지운동이 혈역학

변수를 변화시키지 않음을 시사한다.

2) 혈류제한을 사용한 유산소운동

유산소운동이 혈류제한과 결합하면 혈류제한을 사용하지 않은 유산소운동에 비해 근력이 향상된다. Paton, Addis, & Taylor(2017)의 연구에서 혈류제한은 운동선수의 심폐기능을 개선 시키지는 못했지만 근력의 개선을 보고했다. 또한, Abe et al(2010)은 6주간의 혈류제한을 사용한 걷기운동 프로그램이 남성 노인에서 하지근력과 근육량을 향상시켰다는 흥미로운 연구 성과를 나타냈다. 단, 운동하지 않는 통제군에 비해 혈류제한 보행을 통한 추정 유산소능력에는 큰 변화가 없었다. 하지만 건강한 젊은 성인의 저항도 사이클링을 살펴본 결과, 비혈류제한 집단에 비해 8주간의 훈련 기간 동안 혈류제한을 사용한 집단의 유산소능력이 6.4%, 근 단면적도 3.4~5.1%나 유의하게 증가했다(Abe et al., 2010).

Kim, Sherk, Bemben, & Bemben(2009)은 혈류제한을 사용, 비사용, 통제집단으로 구분하여 6주간 자전거운동을 실시한 결과, 근 단면적에서 집단 간에 유의한 변화가 나타나지 않았다. 그러나 저항도 혈류제한을 사용한 집단에서는 하지 근육량이 크게 증가했다. Barili et al(2018)의 연구에서는 고혈압 여성 노인을 대상으로 혈류제한을 적용한 저항도 유산소운동과 저항도 유산소운동, 고강도 운동을 비교한 결과 혈류제한을 적용한 저항도 유산소운동 집단에서 운동 후 30분에 비단백질 티올 수치(non-protein thiols levels: NPSH)가 감소하여 고혈압 환자에서 혈류제한을 적용한 저항도 유산소운동의 이점을 보고하였으며, CAD를 갖고 있는 성인을 대상으로 혈류제한 저항운동을 실시한 결과 SBP와 DBP의 유의한 감소가 나타나 CVD 환자에게 혈류제한을 적용한 저항도 저항운동의 안전성을 보고하였습니다(Lopes et al., 2021).

지금까지 기술한 혈류제한-저항운동과 유산소운동에 대한 혈액학적 반응 및

적응의 요약을 <Table 1>에 정리하였다.

Table 1. Summary of acute responses and chronic cardiac and hemodynamic adaptations to BFR-resistance/aerobic exercise.

	Acute responses			Chronic adaptations	
	At rest	During exercise*	Post exercise	At rest	During exercise
HR	↑	↑↑	↔ or ↑	↔ or ?	↔ or ?
SBP	↔	↑↑	↔ or ?	↔ or ↑↓	↔ or ?
DBP	↔	↑↑	↔ or ?	↔ or ↑↓	↔ or ?
CO	↓	↑↑	?	↔ or ?	?
SV	↓	↑↓	?	↔ or ?	?

*, minimal data; ↔, no change; ↑↑, majority of studies observe an increase; ↑, majority of studies observe a decrease; ↓, some studies observe a decrease; ?, unknown.

3) 맥파 반사 및 동맥경직도

맥파(pulse wave) 파형은 전진 및 반사 파형의 두 파형으로 구성된다. 전진 파는 심장에서 말초로 나오는 압력파고, 반사파는 말초에서 돌아오는 압력파이다(Van Den Bos, Westerhof, Elzinga, & Sipkema, 1976). 맥파 반사특성으로는 대동맥 SBP(ASBP), 대동맥 DBP(ADBP), 증강압력(augmentation pressure: AP), 증강지수(Augmentation index: AIx), AIx@75bpm (AIx@75), 반사파(Tr), 좌심실 소비에너지(ΔE_w) 등이 있다. AP는 전진과 반사파의 두 최대값의 차이로 계산된다($AP=P_2-P_1$). AIx는 SBP와 DBP의 차이인 AP로 나눈 다음 100을 곱하여 대동맥 맥파 반사 압력(aortic pulse pressure: APP)의 백분율로 표현한다. AIx@75는 AIx와 HR 사이에 의해 계산된다. 또한, Tr은 압력 파형에서 파생되며 대동맥에서 이동에 필요한 시간으로 정의된다. ΔE_w 는 $1.333 \times AP$ [심실 대

사물질 지속시간 - Tr] $\times \pi/4$ 방정식을 사용하여 1.333이 mmHg/s를 s/cm²로 변환할 수 있도록 한다(Casey, Curry, Joyner, Charkoudian, & Hart, 2011). ΔE_w 는 반사된 역 파형을 극복하기 위해 좌심실의 조기 배출 시 낭비되는 추가 에너지를 나타내며, ΔE_w 는 증강된 ASBP를 극복하기 위해 심장에서 낭비되는 추가 에너지를 추정하는 것으로 $2.09 \times AP(ED-Tr)$ 의 공식으로 제안된다(Casey, Nichols, & Braith, 2008). 지금까지의 연구는 혈류제한을 적용하지 않은 1회성 저항운동이 AIx, AIx@75 및 맥파속도를 증가시킨다는 것을 보고하였으나(Collier et al., 2010) 일치하지는 않는다(Thiebaud et al., 2016).

동맥경화의 진행은 압력파의 크기를 직접적으로 증가시키고 간접적으로 파동속도를 증가시킴으로써 발생하는 SBP 증가와 관련이 있다(O'Rourke, 1990). 그러나 1회성 저항운동 후의 BP 반응은 여전히 논란의 여지가 있다. 혈류제한을 적용하지 않은 저항운동은 혈역학적 매개변수의 현저한 증가를 유도한다는 것이 밝혀졌다(Figueroa, & Vicil, 2011). 반면, 혈류제한을 이용한 1회성 저항운동 후 혈역학 및 맥파반사에 대한 연구 성과는 매우 제한적이다. 맥파반사 특성과 동맥경직도에 대한 임상 표준은 없으나 AP, AIx, AIx@75, ΔE_w 및 맥파속도의 증가 및 Tr의 감소는 이환율 및 사망률뿐만 아니라 CVD의 위험이 더 커진다.

4) 혈류제한 커프

운동에 혈류제한을 사용할 때 고려해야 할 여러 가지 요소가 있다. 혈류제한의 가장 중요한 요소 중 하나는 커프 넓이를 들 수 있다. 혈류제한은 주로 상하지로의 혈류흐름을 제한하거나 막기 위해 팔과 다리의 근육 표면에 사용된다. 이때 팔과 다리의 둘레가 다르기 때문에 혈류제한을 적용 할 때는 커프 넓이가 중요한 역할을 하며, 상지는 3~12 cm, 하지는 4.5~18.5 cm로 제안되어 있다(Fahs, Rossow, & Loenneke, 2012). Rossow et al(2012)은 저장도 저항운동

중 동일한 혈류제한압력으로 넓은 상지 넓이(13.5 cm)가 좁은 상지 넓이(5 cm)보다 인식된 노력과 통증 인식의 등급이 더 높다는 것을 보고하였다.

즉, 커프가 넓을수록 좁은 커프에 비해 더 큰 표면적에 압력을 가하여 두 가지 크기의 커프 간에 제한압력이 달라지게 된다. 이는 넓은 커프를 사용하는 것이 좁은 커프 보다 원하는 제한압력을 달성하는 것이 더 쉽다는 것을 시사한다. 그러나 더 넓은 커프를 사용하면 팔의 움직임 범위가 제한될 수 있으며, 사지돌레가 클수록 사지돌레와 동일한 효과를 얻기 위해 더 큰 제한압력이 필요하다(Loenneke, Wilson, Marín, Zourdos, & Bemben, 2012b). 따라서 저항운동 중에 혈류제한을 적용할 때 커프의 넓이를 고려해야 한다.

5) 커프압력

상지와 하지로의 혈류를 중단시키는 데 필요한 압력의 양, 즉 AOP는 커프 크기와 상·하지의 크기 또는 대상자의 BP와 관련이 있다(McEwen, Owens, & Jeyasurya, 2018). 상·하지가 클수록 동맥혈류를 완전히 제한하기 위해 높은 커프압력이 필요하며, 이는 커프 넓이 범위에 해당한다(Loenneke et al., 2012b). 선행연구에서는 운동 중에 사용될 동맥 폐색 압력에 대한 커프의 압력을 설정(%AOP)하여 커프 넓이를 설정할 수 있다고 제안했다(McEwen et al., 2018). 이는 운동 중에 사용되는 커프를 혈류가 중단되는 지점(100% AOP)까지 팽창시키고 운동 중에 해당압력의 백분율(AOP의 40~80%)을 사용하여 수행할 수 있다.

SBP는 동맥 폐색압력의 측정과 밀접한 관련이 있는 것으로 밝혀졌다(Younger, McEwen, & Inkpen, 2004). 상완의 SBP에 대한 압력을 가했지만(Brandner et al., 2015), 이는 일반적인 BP 측정에 사용되는 커프가 운동 중에 사용된 커프와 동일한 경우가 아니면 혈류를 일관되게 감소시키지 못할 수 있기 때문에(Loenneke et al., 2012b) 상완의 BP가 하지에 얼마나 잘 적용되는지

고려해야 한다(Loenneke et al., 2016). 대부분의 연구에서 각 개인에게 동일한 압력이 적용되는 근육적응이 이루어졌지만, 혈류제한압력이 높을수록 심혈관의 혈액학반응을 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다(Mattocks et al., 2017). 따라서 AOP의 40~80% 범위의 측정에 따라 혈류제한 운동 중에 압력을 설정하는 것이 좋다.

초기의 혈류제한 연구에서는 큰 압력(>200 mmHg)을 적용했었다(Abe, Yasuda, Midorikawa, & Sato, 2005; Takarada et al., 2000). 대상자별로 동일한 커프압력을 사용하면 상하지의 개별 둘레로 인해 근육에 다른 제한적인 비율의 동맥혈류가 발생할 수 있다. 이전 연구에서는 저항운동 중에 혈류제한을 유도하기 위해 안정 시 SBP의 130%를 이용하여 개별 안정 시 SBP에 기초한 커프압력을 표준화하려고 노력했다(Suga et al., 2009).

그러나 혈류제한 커프압력은 안정 시 SBP에 기초하기 때문에 상하지 사이의 원주가 달라서 커프압력의 정확도가 의심스럽다. 커프압력은 정맥회귀를 막고 근육운동에 동맥혈을 허용할 정도로 높아야 한다(Loenneke et al., 2014). 또한, AOP는 동맥 BP와 상하지 둘레의 개인차를 설명하기 위해 사용되었다(Neto et al., 2016; Poton, & Polito, 2016). Neto et al(2016)은 각 대상자의 80% AOP를 생성하는 혈류제한으로 20% 1-RM에서 30회, 15회, 15회 및 15회 반복 4세트에 대해 상완 굴신 및 신전 운동과 무릎 굴신 및 신전 운동을 실시하였다. Poton, & Polito (2016)는 100% AOP를 적용한 혈류제한을 사용하여 20% 1-RM에서 3세트 15회 반복 무릎 굴신 및 신전 운동을 실시하였으나 이들은 커프압력이 50~60%로 증가하는 것을 보고하였다(Loenneke et al., 2015).

6) 휴식 시간과 반복횟수

혈류제한을 이용한 1회성 저항운동 중 사용된 세트 간 휴식 시간은 일반적으로 짧으며 혈류제한이 유지된다. 예를 들어, Loenneke et al(2012b)은 휴식

시간 동안(30초와 60초)의 강도 적응을 보여주는 메타 분석을 수행했다. 1회성 저항운동에 관한 연구는 150초 동안 휴식 시간을 사용했지만(Loenneke, Kearney, Thrower, Collins, & Pujol, 2010), 대사적 반응을 증가시키는 것으로 밝혀지지 않았다. 그러나 휴식 시간을 30초(Ysuda et al., 2015)와 30~60초(Loenneke et al., 2016; Ladlow et al., 2018)로 사용한 혈류제한 문헌들에서 골격근비대를 달성하기 위한 권장사항을 반영하고 있다.

반복횟수로는 골격근비대 및 근력 적응을 자극하기 위해 주 2~4회 저항운동을 수행하는 것이 좋다(Kraemer, & Ratamess, 2004). 혈류제한을 이용한 주 2회 저항운동은 근비대와 근력 증가가 보고된 바 있으며(Madarame et al., 2008), 점진적 과부하로 근비대 적응을 향상시키기에 충분하다(Scott, Loenneke, Slattery, & Dascombe, 2015).

7) 안전 및 한계

혈류제한은 저강도에서 근력 적응을 유도하여 고강도의 운동이 불가능한 사람들에게 도움이 되지만, 혈류제한과 관련된 안전 문제와 잠재적 한계를 이해하는 것이 중요하다.

- 대상자의 1.3%가 피하 출혈을 경험했다고 보고했으나 이 증상은 일시적이며 커피를 풀면 사라진다(Nakajima et al., 2006).

- BP 증가로 혈류제한이 없는 동일한 운동보다 혈류제한이 있는 저강도 저항운동 중에 BP가 더 크게 증가하였다(Takano et al., 2005). 이는 운동압력반사, 기계적반사 및 대사적반사를 들 수 있다(Mitchell, Kaufman, & Iwamoto, 1983). 기계적 반사는 주로 Group III 감각을 자극하고, 대사적반사는 대사 부산물로부터 Group IV 감각을 촉진 시킨다. 운동압력반사는 운동 시 교감 활동을 증가시키고 부교감신경 조절을 감소시킴으로써 심혈관기능 및 자율조절을 조정한다(Matsukawa, Wall, Wilson, & Mitchell, 1994).

- 운동을 통한 심혈관계의 개선은 혈전증의 응고와 섬유소 용해 활성 사이의 균형을 유지하는 것으로 나타났다(Nakajima et al., 2007). 규칙적인 운동은 섬유소 분해를 촉진하지만, 격렬한 운동은 응고를 자극하는 경향이 있다. 혈관 폐색은 미세 혈관폐색을 유발하고 혈전을 유발한다(Strock, & Majno, 1969).

3. 혈류제한을 사용한 운동처방

유산소운동과 저항운동 모두 모든 사망률의 지연과 CVD 및 당뇨병의 위험감소 등 신체적, 정신적 건강에 매우 유익한 영향을 미친다(Garber et al., 2011). 미국 스포츠의학회(American college of sports medicine: ACSM)은 효과적인 운동처방을 건강과 관련된 결과의 개선으로 요약하고 있다. 일반적인 운동보다 혈류제한을 사용한 운동의 주요 장점은 1) 근육의 크기와 저 부하에서 도출되는 힘의 증가, 2) 이러한 적응은 혈류제한과 함께 더 빨리 일어나며, 3) 저항운동과 유산소운동 모두에서 근육의 크기와 힘이 자극될 수 있다는 것이다. 4) 저항운동과 혈류제한을 동반한 운동은 건강한 성인에게 안전하며 효과적이다. 이와 같은 수많은 이점에도 불구하고, 운동 중 혈류제한을 적용하기 위한 표준화된 권고안은 없다(Scott et al., 2015). 부상은 드물지만 혈류제한을 잘못 적용하면 부작용을 초래할 수 있다. 따라서 운동처방에 대한 적절한 지침이 필요하다.

1) 운동 강도

혈류제한으로 운동을 수행할 때의 일차적인 이점은 일반적인 운동보다 훨씬 낮은 운동 강도에 효과적이라는 것이다. 실제 1-RM의 20~40%에서 혈류제한으로 운동을 수행하면, 최대 10%의 근비대와 근력의 유의한 증가를 가져왔다(Loenneke et al., 2012a). 운동 강도의 효과를 평가하는 1회성 운동을 1-RM의 20~30%로 증가시키면 근육의 활성화가 증가하고 젖산염의 농도가 증가한다는 것을 보여주었

다(Loenneke et al., 2015). Suga et al(2012)은 고강도 부하의 저항성 훈련과 유사한 근육 내 대사 스트레스를 생성하기 위해 최대 1회 반복의 30% 이상 운동 강도가 필요하다고 제안한다. 그러나 Cook, Clark & Ploutz-Snyder(2007)은 1-RM의 20%에서 근 피로가 시작되고 성장호르몬의 증가가 최대 40%에서 나타난다고 보고했다. 또한, Patterson, & Ferguson (2010)은 운동 훈련 강도를 최대 25% 1회 반복에서 최대 1회 반복의 50%까지 증가시키면 근력 증가가 더 커진다고 제안했다. 따라서 운동 강도의 증가는 근육의 크기와 근력에 더 큰 증가를 가져올 수 있다고 사료된다.

2) 운동빈도

혈류제한을 사용한 저강도 저항운동은 근 기능이 장기간 감소하지 않고, 근육 손상을 나타내는 혈액 바이오마커의 상승이 없으며, 근육 통증의 등급이 낮기 때문에 일반적인 저항운동보다 효과적이다(Loenneke et al., 2014). 운동빈도를 검토한 연구는 단 한 가지 연구밖에 없었다. Abe et al(2012)은 혈류제한의 1일 1회와 2회의 걷기운동만으로 근육크기와 근력의 약 절반의 변화를 보고하여(근육크기: 2.4% vs. 7%, 근력: 4% vs. 9%) 혈류제한을 사용한 운동은 운동빈도에 달려 있다고 제안했다. 또한, Loenneke et al(2012b)의 메타 분석은 혈류제한으로 운동을 할 때 근육크기와 근력의 증가가 주당 4~5일에 비해 주 2~3일 더 크다고 하였다(효과 크기: 1.25 vs. 0.53). 이러한 결과는 과잉 훈련 대응으로 설명될 수 있다. 혈류제한으로 운동을 위한 적절한 운동빈도를 설명하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다.

3) 운동 시간

혈류제한을 사용한 저항운동은 일반적으로 각 세트 사이에 15~60초 사이의 휴식이 사용된다. 메타 분석에서 Loenneke et al(2012b)은 60초 휴식기간에 비

해 30초 휴식기간 동안 근육의 힘이 현저하게 증가한다는 것을 발견했지만(효과 크기: 1.22 vs. 0.25), 60초 휴식기간을 활용하는 유일한 연구는 다른 운동 방법을 사용하였으므로, 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

혈류제한을 사용한 유산소운동 중에는 15~60초간의 휴식 시간으로 1~3분간의 걷기 또는 사이클링 간격을 여러 번 이상 반복하거나 지속적인 유산소운동(휴식시간 없음)은 5분 이상 실시한다(Patterson, & Brandner, 2018). Corvino, Rossiter, Loch, Martins, & Caputo(2017)은 혈류제한을 사용한 간헐적 자전거 운동 중 조직 관류량이 더욱 감소했다고 보고했으며, 이러한 감소는 혈류제한이 없는 고강도 자전거 운동과 비슷했다. 또한, 젖산농도는 혈류제한으로 연속 페달링하는 것보다 더 높았고 인지된 노력의 등급은 더 낮았다. 따라서 혈류제한을 이용한 간헐적 자전거 운동이 연속적인 자전거 운동보다 유리할 수 있다고 제안한다. 다만, 적절한 주기 및 휴식기간에 대해서는 거의 알려져 있지 않다.

4) 운동 형태

혈류제한을 사용한 운동은 근육의 크기와 근력을 증가시키기 위해 다양한 저항운동과 유산소운동으로 결합되었다. 이러한 형태에는 단일 및 상·하체 운동, 자유체중 운동, 기계를 이용한 저항운동이 포함된다. 유산소운동의 경우, 혈류제한으로 사이클링, 걷기, 달리기, 수영 등이 모두 실시되었다(Patterson, & Brandner, 2018). 혈류제한을 사용하는 운동은 일반적으로 저항운동을 사용하여 수행된다. 직접적으로 분석되지는 않았지만, 혈류제한을 사용한 저항운동은 혈류제한을 사용한 유산소운동에 비해 근력과 근비대의 현저한 증가를 초래할 것이라고 제안한다(Loenneke et al., 2014). 이에 비해 혈류제한을 이용한 유산소운동도 유산소능력을 증가시키는 것으로 보고되었다(de Oliveira, Caputo, Corvino, & Denadai, 2016). 또한, HR, CO, 평균 동맥압과 같은 낮은

심혈관의 혈역학반응을 유도하였다(May, Brandner, & Warmington, 2017).

혈류제한을 사용한 저항운동<Table 2>과 유산소운동<Table 3>에 관한 운동 처방 가이드라인은 아래에 제시된 바와 같다(Patterson et al., 2019).

Table 2. Model of exercise prescription with BFR-resistance exercise.

Guidelines	
Frequency	2-3 times a week (>3 weeks) of 1-3 times per day (1-3 weeks)
Intensity	20-40% 1-RM
Restriction time	5-10 min per exercise (reperfusion between exercises)
Type	Small and large muscle groups (arms and legs/uni or bilateral)
Sets	2-4 sets
Cuff	5 cm (small), 10 or 12 cm (medium), 17 or 18 cm (large)
Repetitions	(75 reps) - 30 × 15 × 15 × 15, or sets to failure
Pressure	40-80% AOP
Rest between sets	30-60 s Restriction form Continuous or intermittent
Execution speed	1-2 s (concentric and eccentric)
Execution	Until concentric failure of when planned rep scheme is completed

Table 3. Model of exercise prescription with BFR-aerobic exercise.

Guidelines	
Frequency	2-3 times a week(>3 weeks) of 1-2 times per day (1-3 weeks)
Intensity Restriction	< 50% $\dot{V}O_{2max}$ or HRR
Restriction time	5-20 min per exercise
Type	Small and large muscle groups (arms and legs/uni or bilateral)
Sets Pressure	Continuous or intervals 40-80% AOP
Cuff	5 cm(small), 10 or 12 cm (medium), 17 or 18 cm (large)
Exercise mode	Cycling or walking

4. 심혈관의 혈역학반응

1) 심혈관 혈역학반응의 기전

지금까지 운동생리학자들이 해결하지 못한 질문은 ‘동적 운동 중 심혈관의 혈역학반응은 어떻게 조절되는가?’ 이다. 많은 선행연구들은 개략적인 설명은 하고 있지만, 현재까지 이 근본적인 질문에 대한 정확한 답은 결정되지 않았다(O’Leary, 1993).

1841년 Volkmann은 수축하는 골격근에서 발생하는 구심성 신경 신호가 HR을 증가시켰다고 제안했다(Volkmann, 1841). 동물실험에서 근 수축이 시작될 때 토끼의 HR이 동시에 증가하여 뇌에서 발생하는 신경신호가 나타났으며, 운동 중과 운동 후 근육 내의 허혈(post-exercise muscle ischemia: PEMI)로 BP

를 측정하여 두 가지 주요 신경 조절 메커니즘이 확인되었다(Krogh, & Lindhard, 1917) <Fig. 1>. 이 신경 메커니즘의 명칭은 첫째는 중앙명령(central command)으로 심장과 혈액에 자율적인 신호(Nucleus tractus solitarius: NTS)를 제공하기 위해 말초신경 입력과 운동 피질에서 출발하는 신경신호로 식별된다(Raven, 2012). 둘째는 운동승압반사(exercise pressor reflection: EPR)는 활성 근육 내에 대사산물의 축적으로 인한 오류 신호와 근육, 대사 및 기계반사의 수축에 의해 각각 자극된다(Kaufman, Rybicki, Waldrop, & Ordway, 1984). 셋째는 운동 시의 심혈관의 혈역학반응은 동맥압력반사(arterial baroreflex)에 의해 조절된다(Dicarlo, & Bishop, 1992). 이는 안정 시나 운동 시 HR, SV, 그리고 TPR을 조절함으로써 순간순간 BP를 조절한다.

CO와 전신 BP를 조절하는 데 중요한 것은 자율신경계다. 교감신경활동(sympathetic nervous activity: SNA)과 부교감신경활동(parasympathetic nervous activity: PSNA) 사이의 미세한 균형은 혈류역학적 항상성을 유지하는데 필수적이다. 이 균형은 운동, 두려움, 출혈과 같은 신체의 요구에 적응할 필요가 있다. 이러한 각각의 조건은 SNA의 증가와 PSNA의 감소를 이끌어내며, 이는 총체적으로 CO, 정맥의 복귀 및 BP를 증가시키려고 시도한다.

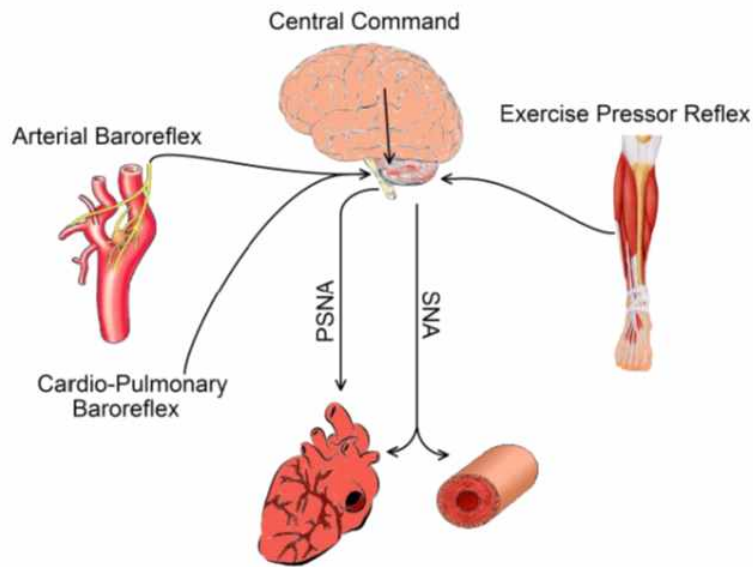


Fig 1. Neural pathways controlling cardiovascular function during exercise(ACSM'S Advanced Exercise Physiology, 2006).

2) 혈류제한의 심혈관 혈액학반응

1990년대까지는 저항운동의 과학적인 효과에 대한 구체적인 권고사항이 없었다(Umpierre, & Stein, 2007). 그러나 저항운동에 대한 심혈관의 혈액학반응은 이미 1960년대에 논의되었다(Lind, & McNicol, 1967). 최근 몇 년 동안 저항운동은 심혈관계 위험인자에 긍정적으로 작용하면서 CVD의 1차 및 2차 예방 전략으로 간주되기 시작했다(Bentes et al., 2015).

ACSM(2009)은 1-RM 70% 이상의 운동 강도로 저항운동을 권장했지만, 고강도로 수행된 저항운동은 만성 질환자나 노인들에게 실행 가능하지 않을 수 있다. 따라서 연구자들은 이들을 위한 저강도 대안을 모색해 왔다. 약 50년 전에 일본인들은 저강도의 저항운동 방법(20~50% 1-RM)을 개발했다. 혈류제한 또는

Kaatsu 훈련은 부상 선수, 심장 재활을 받고 있는 환자(Takano et al., 2005) 또는 전방 십자인대의 수술 후(Ohta et al., 2003) 및 노인(Vechin et al., 2015)을 포함하여 1-RM 70% 이상의 운동 강도를 견디지 못하는 개인에게 제안되었다.

선행연구에서는 SBP, DBP, MBP, HR, 심근산소소비량(rate pressure product: RPP) 및 생리학적 변수에 대한 혈류제한이 있는 저항운동의 급성 효과를 평가했다(Neto et al., 2016). 그러나 혈역학에서 혈류제한과 함께 저항운동에 의해 촉진되는 변화에 대한 이러한 개입의 실제 효과를 확립하는 합의는 아직 도달되지 않았다.

순환계에는 호르몬 전달, 면역기능, 응고인자, 산소운반 등 다양한 기능이 있다. 산소가 공급된 혈액은 심장에서 필요한 근육과 기관으로 전달된다. 이후 탈산소화 된 혈액은 장기에서 심장, 폐, 다시 심장으로 흘러 순환 한다. 건강한 사람의 시스템은 매우 효율적으로 운영된다(Smith, & Fernhall, 2011). 그러나 건강하지 않은 사람(예 CVD환자)은 충분히 혈액을 공급받지 못하거나 충분한 압력으로 혈액을 배출하지 못하는 심장은 뇌졸중, 혈액순환 장애, 혈액응고 등의 가능성을 높일 수 있기 때문이다. ACSM (2018)은 급성 심근경색과 갑작스런 심장사망이 격렬한 운동과 관련이 있다고 보고한다.

앞에서 언급했듯이, 혈류제한 커프에서 탈산소 조직에 대한 반응으로 EPR을 강화하고 혈류 회복 감소를 통해 혈류제한이 심혈관의 혈역학반응에 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대한 우려가 있다(Spranger, Krishnan, Levy, O'Leary, & Smith, 2015). 혈류제한은 근비대증을 유도하면서 낮은 부하로 운동하는 방법을 제공하지만, 혈류제한은 심장으로 돌아오는 혈액의 양을 인위적으로 감소시키기 때문에 대상자의 심혈관의 혈역학반응을 조절해야 한다. 근육이 더 많은 O₂가 필요하다는 신호를 보내면 중추 신경계는 부교감신경 활성화를 철회하고 교감신경 활성화를 증가시켜 반응한다(Smith, & Fernhall,

2011). 이로 인해 신체는 HR을 증가시켜 O₂가 제거된 조직에 더 많은 혈액을 보내려고 하는데, 이는 심장의 부하를 증가시키고 심장은 심근에 더 많은 O₂를 필요로 한다(Smith, & Fernhall, 2011).

혈류제한을 적용한 운동의 안전을 극대화하는 다양한 방법으로 운동 전·후의 동맥 폐색을 비교하는 것은 심혈관의 혈역학반응을 정량화하는 측정으로 사용할 수 있다(Jessee et al., 2018). 저항도(30% 1-RM) 및 중강도(50% 1-RM) 운동 시 혈류제한을 추가하면 동맥 폐색 압력이 증가한다(Jessee et al., 2018). 그러나 중추 및 말초혈압, HR 및 산소 포화도와 같은 혈류제한 저항운동에 대한 심혈관의 혈역학반응에 대한 손가락 O₂측정기(Broxterman et al., 2015) 또는 근적외선 분광기(near-infrared spectroscopy: NIRS)와 같은 직접적인 측정이 있다(Neto et al., 2016; Kilgas et al., 2018; Mouser et al., 2019).

HR은 운동 상황에서 쉽게 추적할 수 있는 심혈관의 혈역학반응의 변수이며, BP도 측정할 때 RPP를 결정할 수 있다(Neto et al., 2016; Matos-Santos, Farinatti, Borges, Massaferrri, & Monteiro, 2017). 대상자의 SBP와 DBP를 알면 MAP를 추정할 수 있다. 예를 들어, 심장에 가해지는 부하가 높으면 MAP도 높아지고 승압반사가 고압을 수용하기 위한 변화를 신호한다. 혈류제한은 심장으로 돌아가는 탈산소 혈액의 양을 감소시키기 때문에 SV가 낮아지고 CO를 유지하기 위해 HR이 증가한다. 중강지수와 중강압력은 동맥경직도의 척도로서 중강압력은 최대 SBP에서 압력변곡점을 빼서 구하며, 중강지수는 맥압의 백분율로 표시된다(Credeur, et al., 2018). 동맥이 덜 탄력적일 때 MAP는 약화되지 않으며 순환계의 다른 혈관에 손상을 줄 수 있다(Smith, & Fernhall, 2011).

혈류제한의 심혈관의 혈역학반응은 운동 중에 사용되는 근육량의 영향을 받을 수도 있다. 심혈관 시스템은 운동 중에 절대적으로 필요하지 않은 근육 및 혈관 수축 혈관에 혈관 확장을 통해 반응한다(Smith, & Fernhall, 2011).

Moreira et al(2015)은 10회씩 3세트의 상지 운동이 혈관 구조가 혈류에 대한 저항이 더 크기 때문에 심혈관 수요를 증가시킨다고 논의했다. 이 연구에서 두 가지가 제안되었다. 첫째, 수축하는 근육량이 심장반응(고혈압자, HR 및 RPP 등)에 영향을 미칠 수 있으며 둘째, 상지는 하지보다 혈류에 대한 저항이 더 크고 심혈관의 혈역학반응이 더 크다는 것이다. 이는 연구자들이 다양한 상대 압력, 다른 부하, 운동 방식을 적용함으로써 혈류제한 운동 중 심혈관의 혈역학반응의 증가를 최소화할 수 있는 다양한 방법이 있음을 의미한다.

한편, 회복 시에 관련된 신경 조절 메커니즘은 Coote에 의해 검토되었다 (Coote, 2010). 그러나 운동량 감소 및 회복 시 동맥 압력 반사와 관련된 메커니즘에 대한 결론은 일치하지 않는다. 회복 시에 발생하는 HR 및 MAP의 변화에 대한 회복 형태가 단시간(3분) 최대하의 자전거운동 후 CO 및 MAP 유지에 중요한 역할을 한다는 것이 확인되었다(Carter et al., 1999). 또한, 그들의 데이터에 따르면 중앙명령이 회복 중 BP와 CO를 유지하는 데 중요한 역할을 하지 않는 것으로 보이지만 아마도 회복 시 HR에 영향을 미칠 수 있음을 시사했다(Carter et al., 1999).

Ⅲ. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 S시의 S대학교에 재학 중인 20~30세 미만의 성인여성 25명을 대상으로 기관생명윤리위원회(IRB)에 승인을 받은 이후에 연구를 실시하였다(제 1-20170113119-AB-N-01-09호). 월경 주기가 6개월 이상 규칙적이며 경구 피임약 및 호르몬제를 복용하지 않고 흡연을 하지 않으며, 임신 및 출산경험이 없고 고혈압자 및 CVD와 운동습관이 없는 자로 선정하였다. 특히 저항운동은 생리주기에 따라 동맥경화에 영향을 줄 수 있기 때문에 연구 참여 전 설문지를 통해 대상자의 월경주기 단계를 지난 6개월간 확인했다. 연구실시 전에 모든 대상자에게 연구의 목적, 실험 절차, 그리고 측정 중 잠재적 위험요소에 대하여 충분히 설명하였으며, 건강력 설문지와 검사 동의서(informed consent form)를 받았다. 연구 진행 중 6명은 월경 주기가 맞지 않아 탈락하였으며, 1명은 개인 사정으로 탈락하여 총 18명의 결과만을 최종분석에 포함하였다. 연구에서 얻어진 데이터는 연구 종료 후 개인별 결과지로 제공하였으며, 결과에 대한 충분한 설명도 제공하였다. 피험자들의 신체적 특징은 <Table 4>와 같다.

Table 4. Characteristic of subjects

(M±SD)

Variable	n = 18
Age(yr)	21.5±2.0
Height(cm)	162.4±4.3
Weight(kg)	57.5±7.6
Body mass index(kg/m ²)	21.7±2.2
Fat free mass(kg)	40.5±4.3
Fat mass(kg)	16.9±4.7
Body fat(%)	29.1±4.7
Heart rate(beats/min)	77.0±11.0
Systolic blood pressure(mmHg)	111.1±6.7
Diastolic blood pressure(mmHg)	76.4±5.8
Mean arterial pressure(mmHg)	87.9±5.5
1 Repetition maximal-Upper(kg)	22.8±5.8
1 Repetition maximal-Lower(kg)	47.8±12.1

2. 연구 추진 일정

본 연구의 절차와 일정은 <Table 5>에 제시된 바와 같다.

Table 5. Procedures and Time frame of the study.

Procedures	Time frame
Literature review & Research planning	2020. 02. ~ 2020. 05
Experimental design & Selection of subjects	2020. 05 ~ 2020. 06
Experiments	2020. 05 ~ 2020. 09
Analysis of data & Writing report	2020. 09 ~ 2021. 12

3. 연구 설계

본 연구에서는 단일 그룹 반복 측정 설계(cross over design)를 사용하였다. 참가자는 사전 동의서에 서명하고, 초기 방문 시 신체활동 준비 상태 설문지를 작성했다. 사전검사로 실험실에 도착한 대상자는 10~30분간 안정을 취한 후 신장, 체중, 신체구성(body composition)을 측정하였으며, 운동 강도 설정을 위하여 1-RM을 측정하였다.

사전검정 종료 후 모든 검사는 대상자의 배란기에 총 4회의 방문으로 오른 쪽 쇄골 및 대퇴동맥에 대한 AOP 검증과 4가지 저항운동에 대한 근력운동으로 구성하였으며, wash out 시간은 72시간 간격으로 이루어졌다(Collier et al., 2010). 대상자들은 도착하기 9시간 동안 금식을 하였고, 카페인과 알코올은 12시간, 격렬한 운동을 금지시켰다. 심혈관의 혈역학반응은 Physioflow를 이용하여 매 5초 간격으로 안정 시, 운동 중, 회복 시 40분 동안 측정하였고, BP는 안정 시, 회복 시 10분, 20분, 30분, 40분에 측정하였다. baPWV 측정은 안정 시, 회복 시 10분, 20분, 30분, 40분에 측정하였다. 각 참가자에 대해 모든 운동 세션은 일일 변화를 최소화하기 위해 오전 9시~12시 동일한 시간에 실시하였다. 모든 측정변수는 일정한 온도(20~22° C)의 조용한 실험실에서 측정되었다. 내용과 절차는 <Fig. 2>과 같다.

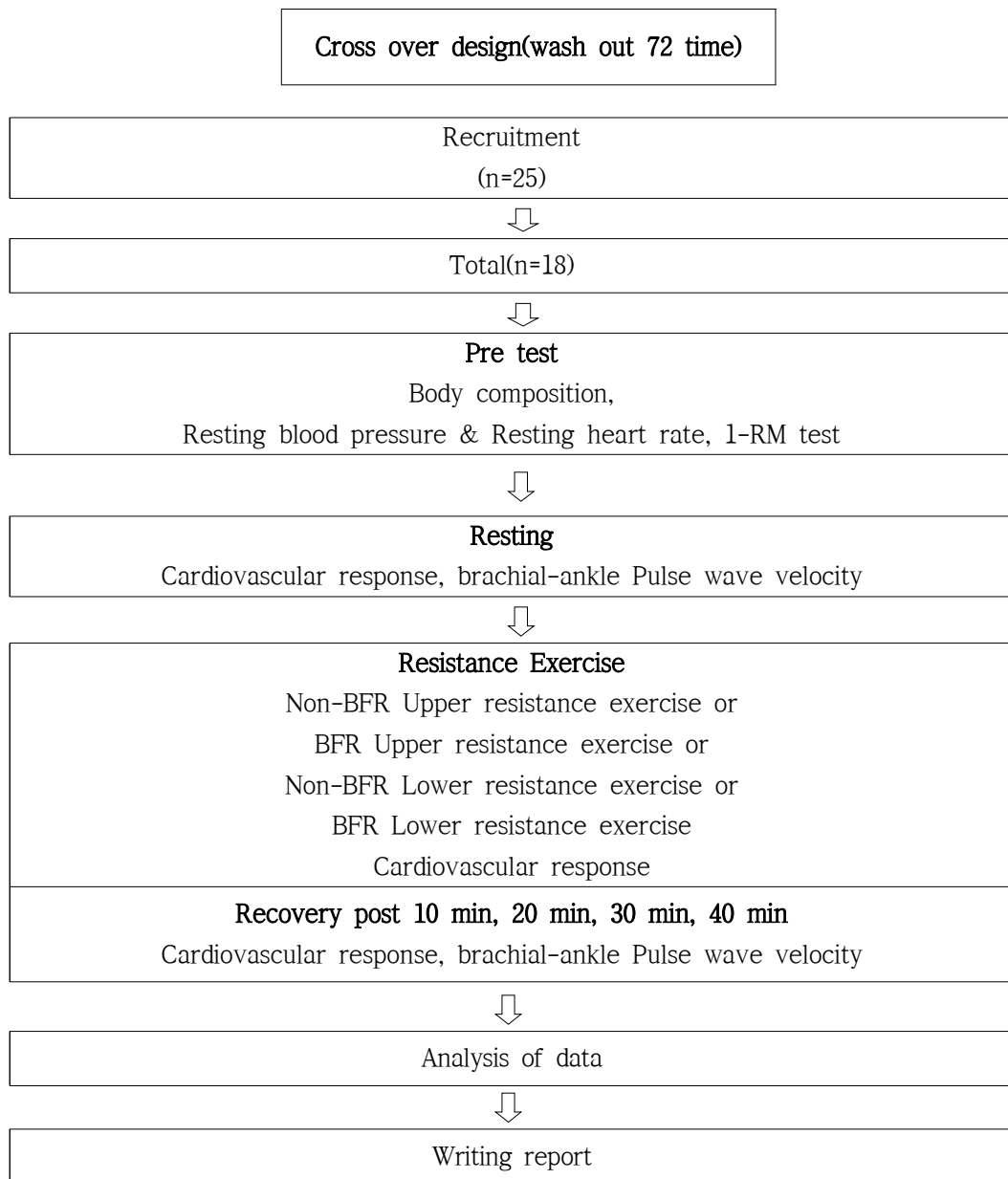


Fig. 2 Experimental design.

4. 측정 도구

본 연구에 사용될 측정 도구는 <Table 6>과 같다.

Table 6. Measured variables and equipments.

Measured Variables	Equipments	Equipments
Physique, Body composition	InBody 230, Korea	Height(cm), Weight(kg), BMI(kg/m ²), fat mass(kg), fat free mass(kg), %fat(%)
1-RM		Upper(kg), Lower(kg)
Blood pressure	Omron JPN 500, Japan	Systolic blood pressure(mmHg), Diastolic blood pressure(mmHg)
Cardiovascular response	Physioflow, France	Heart rate(beats/min), Stroke volume(ml), Cardiac output(l/min),
Arterial stiffness	VP-1000, Korea	Pulse wave velocity-right, left

5. 측정항목 및 방법

1) 신체구성 측정

측정 24시간 전부터 카페인, 음주, 과도한 신체활동을 삼가하도록 지시하였다. 또한, 8시간 이상 충분한 수면을 취한 후 다음날 오전 7시 도착 후 측정에 참여하도록 하였다. 신체구성은 생체 전기 저항법을 이용하여 신장과 체중, 체

지방량(fat mass), 제지방량(fat free mass), 그리고 체지방률(%fat)을 측정하였다.

2) 안정 시 BP 측정

실험실에 도착하여 10분간 안정을 취한 후 측정을 실시하였다. 안정 시 BP는 자동혈압계(Omron JPN500, Japan)를 이용하여 좌측 상완에서 편안히 앉은 자세로 5분간의 차이를 두어 2회 측정 후 두 측정치가 5 mmHg 차이 이내일 경우 평균을 냈다. 세 번째 측정은 차이가 5 mmHg 이상일 경우 5 mmHg 내에서 두 측정치를 평균값으로 하였다.

3) 심혈관 혈액학반응 측정

심혈관 혈액학반응 검사는 흉부 Impedance cardiography(Physioflow)를 사용하여 배란기에 안정 시와 운동 시 그리고 회복 시의 10분, 20분, 30분, 40분 시의 HR, SV, CO를 측정하였다. 흉부에 심전도 전극(Monitoring electrode)을 부착하고 안정 시 측정 후, 1-RM의 20%의 운동 강도로 운동 중 심혈관의 혈액학반응을 측정하고, 회복시의 10분, 20분, 30분, 40분 동안 측정하였으며 같은 시점에서 BP를 측정하였다. 측정된 SBP와 DBP를 이용하여 평균동맥압(mean arterial pressure: MAP)을 산출하였으며, 안정 시와 운동 시 그리고 회복 시의 TPR은 CO와 계산된 MAP를 이용하여 산출하였다.

$$[\text{MAP (mmHg)} = (1 / 3 \times (\text{SBP (mmHg)} - \text{DBP (mmHg)}) + \text{DBP (mmHg)}]$$

$$[\text{TPR (ml/min/mmHg)} = \text{MAP (mmHg)} / \text{CO (l/min)}]$$



Fig 3. Measurement of hemodynamics response

4) 동맥경직도 측정

동맥경직도는 근육동맥의 탄성과 말초 근육동맥의 경직도 변화를 반영하는 baPWV에 의해 측정되었다. 측정기기는 비 침습적(Colin Pulse Waveform Analyzer, VP-1000, Colin, Korea) 방법을 사용하여 평가하였다. 이 두 가지 지표는 심전도(ECG), 상완골 및 경골의 맥파로부터 계산되었다. 평가 전에 대상자들은 조용한 방에서 누운 자세로 10분 동안 휴식을 취한 후, 전극을 좌흉골에 부착시키고 사지에 BP 커프를 감았다. 커프는 맥파형 크기를 감지할 수 있는 Plethys-Mographic Sensor와 BP를 감지하는 Oscillo-metric Pressure Sensor로 연결되어 있고, 사지 BP는 Oscillo-metric 방법으로 감지된다.



Fig 4. Measurement of PWV

6. 운동프로그램

1) 1-RM

일반적으로 1-RM은 좋은 자세와 함께 통제된 방식으로 동작의 전체 범위를 통하여 움직일 수 있는 최대 저항으로 정의되며, 자신의 힘 수준을 나타내는 것이다(Hoeger, Hopkins, Barette, & Hale, 1990). 대상자는 각자의 주관적 운동 강도(RPE 13)로 고정식 자전거 에르고미터를 이용하여 3분 동안 준비운동을 실시한 후 먼저 가벼운 부하(추정된 1-RM의 40~60%)로 5~10회 반복 실시하였다. 3분의 휴식 후 대상자들은 부하(추정된 1-RM의 50~70%)가 증가한 상태에서 3~5회 반복하였으며, 3분 더 휴식을 취한 후, 추정된 1-RM의 60~80%의 부하로 2~3회 반복 실시하였다. 이렇게 최대 하 반복 후, 1-RM은 3분의 휴식을 포함하여 5회 이내에서 결정하였다. 모든 반복은 동일한 이동 속도로 수행되었으며 운동 범위는 측정 간에 동일하게 하였다. 최종 무게는 참가자의 1-RM

으로 기록하였다(Thomson, Watson, & Rowlands, 2009). 대상자가 5회 반복을 완료하지 못하면 Epley의 공식(1-RM = 부하 [kg] × (1 + [0.033 × 반복 횟수]))으로 1-RM을 추정했다(Maior, Simao, Martins, Salles, & Willardson, 2015).

$$1RM (kg) = (1-RM = \text{부하 [kg]} \times (1 + [0.033 \times \text{반복 횟수}]))$$



Fig 5. 1-RM measurement

2) 비혈류제한을 사용한 급성 저항운동

대상자들은 최소 72시간 간격으로 4회의 하지운동과 상지운동을 실시하였다. 하지운동과 상지운동은 모두 자전거 에르고미터에서 3분간 준비운동 한 후 각각 사전에 측정된 1-RM의 20%를 사용하여 4세트 10회 반복으로 구성하였다. 대상자들은 하지운동에서 스쿼트 운동과 레그익스텐션 운동을 각각 4세트 10회 반복하여 실시하였고, 상지운동에서는 암컬 운동과 벤치프레스 운동을 각각 4세트 10회 반복하여 실시하였다. 각 운동의 신장과 수축은 1초의 속

도로 정하였으며, 반복 세트 사이의 회복 시간은 30초로 하였다. 운동 중에는 대상자의 이상 징후를 면밀히 관찰하였다.

3) 혈류제한을 사용한 급성 저항운동

이론적으로, 커프압력은 정맥 혈류의 회귀를 막을 수 있을 만큼 충분히 높게 설정되어야 하지만, 본 연구에서는 어느 정도 수준의 동맥혈류를 유지할 수 있을 만큼 충분해야 한다는 선행연구(Scott et al., 2015)를 참조하였다. 또한, 커프압력은 동맥혈류를 완전히 차단하고 과도한 불쾌감을 유발하지 않고 대사스트레스를 극대화하도록 노력하였다(Cayot, Lauver, Silette, & Scheuermann, 2016).

대상자는 사전검사에서 Kaatsu Master (Kaatsu Global Inc., USA)의 공기압벨트(Air band 상지 40 mm, 하지 50 mm)를 상지운동 시 상완에 착용하고, 하지운동 시에는 대퇴근과 고관절사이에 착용하여 혈류제한을 이용한 적응훈련을 실시한 후 본 실험에 들어갔다. 압력 설정은 대상자의 안정 시 SBP를 기준으로 계산하여 설정하였고(Clark et al., 2011), 최소 72시간 간격으로 4회의 하지운동과 상지운동을 실시하였다. 하지운동과 상지운동은 모두 자전거 에르고미터에서 3분간 준비운동 한 후 각각 1-RM의 20%를 사용하여 4세트 10회 반복으로 구성하였다. 대상자들은 하지운동에서 스쿼트 운동과 레그익스텐션 운동을 각각 4세트 10회 반복하여 실시하였고, 상지운동에서는 암컬 운동과 벤치프레스 운동을 각각 4세트 10회 반복하여 실시하였다. 각 운동의 신장과 수축은 1초의 속도로 정하였으며, 반복 세트 사이의 회복 시간은 30초로 하였다. 운동 중에는 대상자의 이상 징후를 면밀히 관찰하였으며, 정해진 혈류제한압력을 적용하였지만, 대상자가 과도한 압력으로 느껴질 시 10 mmHg씩 압력을 감소시켜 실시하였다.



Fig 6. Kaatsu Master kn-100 (Kaatsu Global Inc., USA)



Fig 7. Measurement of BFR and non-BFR exercise

7. 자료처리

본 연구에서 얻은 자료는 SPSS for Windows(version 23.0) 통계 프로그램을 이용하여 분석하였으며, 구체적인 내용은 다음과 같다.

1) 각 변인별로 기술통계량을 제시하기 위하여 평균(mean)과 표준편차(standard deviation: SD)를 산출하였다.

2) 두 집단 간, 그리고 각 시기 간 종속변인의 차이를 분석하기 위하여 반복이원변량분석(repeated two-way ANOVA)을 실시하였다.

3) 집단과 시기의 상호작용이 유의한 경우 각 평균 차이 분석을 위하여 반복 일원변량분석(repeated one-way ANOVA)과 최소유의차 검증법(least significant: LSD)을 실시하였다.

4) 두 집단 간 종속변인의 차이는 종속 t -검증(paired t -test)으로 분석하였다.

5) 모든 통계적인 분석의 유의 수준(α)을 .05로 설정하였다.

IV. 연구결과

1. 혈류제한 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교

1) 혈류제한 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지의 맥파속도 비교

혈류제한 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지의 맥파속도 변화는 <Table 7>에 제시된 바와 같다. 그 결과 안정 시와 비교하여 운동 후 회복 시에 PWV-L에서 시기의 유의한 차이가 나타났다($p<.05$).

Table 7. Comparison of pulse wave velocity of the upper limb at rest and recovery according to BFR or without BFR.

		without BFR	BFR		<i>P</i>
PWV-R (cm/sec)	rest	1060.0±102.0	1057.7±96.9	Time	.589
	recovery 10 min	1040.6±124.1	1049.6±120.4		
	recovery 20 min	1049.2±133.1	1051.8±124.0	Group	.969
	recovery 30 min	1048.9±134.6	1062.7±138.2		
	recovery 40 min	1058.6±117.7	1043.5±113.2		
PWV-L (cm/sec)	recovery rest	1095.2±104.6	1093.7±116.7	Time	.026*
	recovery 10 min	1064.2±123.9	1081.5±129.1		
	recovery 20 min	1070.9±123.4	1079.9±134.9	Group	.814
	recovery 30 min	1071.0±134.9	1087.6±145.2		
	recovery 40 min	1065.6±105.3	1075.7±129.0		

Values are mean±standard deviation, PWV-R: pulse wave velocity-right, PWV-L: pulse wave velocity-left

* $p<.05$, significant different main or interaction effects

2) 혈류제한 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 하지의 맥파속도 비교

혈류제한 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 하지의 맥파속도의 변화는 <Table 8>에 제시된 바와 같다. 그 결과 PWV-R과 PWV-L은 안정 시와 비교하여 운동 후 회복 시에 시기의 유의한 차이가 나타났으며($p<.05$), 혈류제한 사용에 따른 PWV-L에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p<.05$).

Table 8. Comparison of pulse wave velocity of the lower extremities at rest and recovery according to BFR or without BFR.

		Lower			<i>P</i>
		without BFR	BFR		
PWV-R (cm/sec)	rest	1067.5±97.9	1079.0±119.7	Time	.000*
	recovery 10 min	1093.6±116.4	1117.4±114.4		
	recovery 20 min	1091.7±112.3	1118.0±124.8	Group	.641
	recovery 30 min	1058.8±104.9	1081.8±127.0		
	recovery 40 min	1070.7±112.1	1074.4±121.5		
PWV-L (cm/sec)	rest	1093.8±108.7	1114.3±120.4 ^{b,c}	Time	.000*
	recovery 10 min	1118.2±126.3 ^d	1167.8±127.3 ^{a,d,e}		
	recovery 20 min	1103.1±110.5	1158.7±130.6 ^{a,d,e}	Group	.359
	recovery 30 min	1079.2±104.2 ^b	1117.5±126.3 ^{b,c}		
	recovery 40 min	1089.1±114.5	1105.4±118.2 ^{b,c}		
				Time×Group	.013*

Values are mean±standard deviation, PWV-R: pulse wave velocity-right, PWV-L: pulse wave velocity-left

a: rest, b: recovery 10 min, c: recovery 20 min, d: recovery 30 min, e: recovery 40 min

a, b, c, d, e: different alphabet appear significant difference stage.

* $p<.05$, significant different main or interaction effects

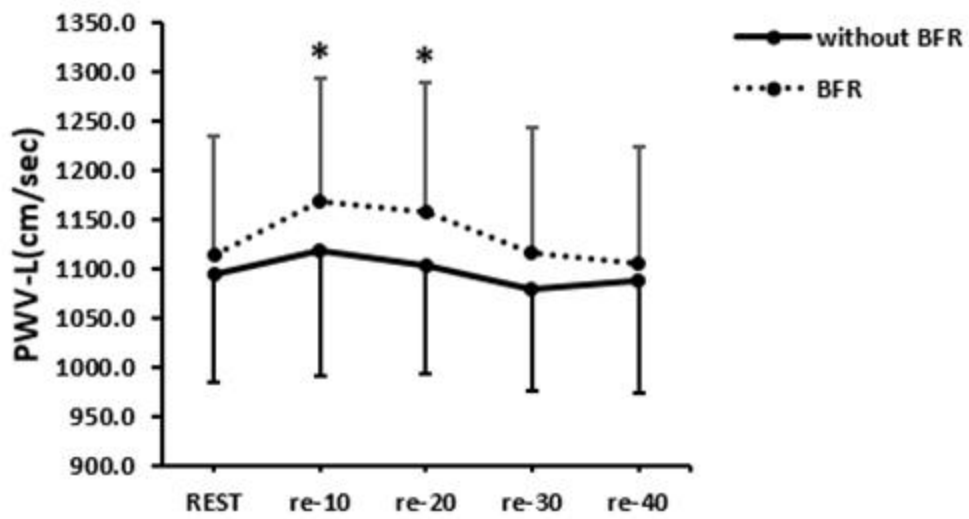


Fig 8. Comparison of pulse wave velocity-left(PWV-L) of the lower extremities at rest and recovery according to BFR or without BFR. $*p < 0.05$, significant different from rest.

2. 혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교

1) 혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교

혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도의 변화는 <Table 9>에 제시된 바와 같다. 그 결과 PWV-R과 PWV-L은 안정 시와 비교하여 운동 후 회복 시에 시기의 유의한 차이가 나타났으며($p<.05$), 혈류제한의 PWV-R과 PWV-L에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p<.05$).

Table 9. Comparison of pulse wave velocity of upper and lower limbs at rest and recovery using BFR.

		BFR			<i>P</i>
		upper	lower		
PWV-R (cm/sec)	rest	1079.0±119.8 ^b	1057.7±96.9	Time	.008*
	recovery 10 min	1117.4±114.4 ^{a,d,e}	1049.6±120.4	Group	.306
	recovery 20 min	1118.0±124.8 ^{d,e}	1051.8±124.0		
	recovery 30 min	1081.8±127.0 ^{b,c}	1062.7±138.2	Time×Group	.002*
	recovery 40 min	1074.4±121.5 ^{b,c}	1043.5±113.2		
PWV-L (cm/sec)	rest	1114.3±120.4 ^{b,c}	1093.7±116.7	Time	.000*
	recovery 10 min	1167.8±127.3 ^{a,d,e}	1081.5±129.1	Group	.255
	recovery 20 min	1158.7±130.6 ^{a,d,e}	1079.9±134.9		
	recovery 30 min	1117.5±126.3 ^{b,c}	1087.6±145.2	Time×Group	.000*
	recovery 40 min	1105.4±118.2 ^{b,c}	1075.7±129.0		

Values are mean±standard deviation, PWV-R: pulse wave velocity-right, PWV-L: pulse wave velocity-left

a: rest, b: recovery 10 min, c: recovery 20 min, d: recovery 30 min, e: recovery 40 min

a, b, c, d, e: different alphabet appear significant difference stage.

* $p<.05$, significant different main or interaction effects

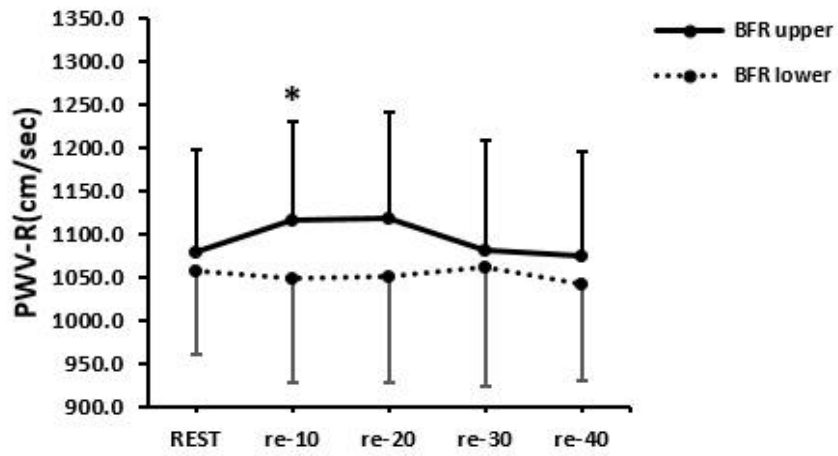


Fig 9. Comparison of pulse wave velocity-right(PWV-R) according to upper and lower after exercise and recovery using BFR. * $p < .05$, significant different from rest

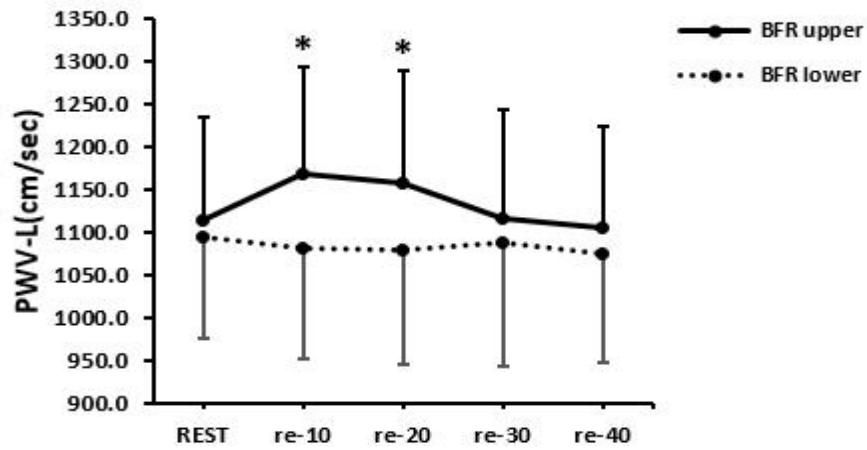


Fig 10. Comparison of pulse wave velocity-left(PWV-L) according to upper and lower after exercise and recovery using BFR. * $p < .05$, significant different from rest

3. 비혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교

1) 비혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교

비혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도의 변화는 <Table 10>에 제시된 바와 같다. 그 결과 PWV-R과 PWV-L은 안정 시와 비교하여 운동 후 회복 시에 시기의 유의한 차이가 나타났으며($p<.05$), 비혈류제한에서 상지와 하지의 PWV-R과 PWV-L에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p<.05$).

Table 10. Comparison of pulse wave velocity of upper and lower limbs at rest and recovery according to without BFR.

		without BFR			<i>P</i>
		upper	lower		
PWV-R (cm/sec)	rest	1067.5±97.9	1060.0±102.0	Time	.260
	recovery 10 min	1093.6±116.4 ^d	1040.6±124.1	Group	.528
	recovery 20 min	1091.7±112.3 ^{d,e}	1049.2±133.1		
	recovery 30 min	1058.8±104.9 ^{b,c}	1048.9±134.6	Time×Group	.005*
	recovery 40 min	1070.7±112.1 ^c	1058.6±117.7		
PWV-L (cm/sec)	rest	1093.8±108.7	1095.2±104.6	Time	.044*
	recovery 10 min	1118.2±126.3 ^d	1064.2±123.9	Group	.558
	recovery 20 min	1103.1±110.5	1070.9±123.4		
	recovery 30 min	1079.2±104.2 ^b	1071.0±134.9	Time×Group	.004*
	recovery 40 min	1089.1±114.5	1065.6±105.3		

Values are mean±standard deviation, PWV-R: pulse wave velocity-right, PWV-L: pulse wave velocity-left

a: rest, b: recovery 10 min, c: recovery 20 min, d: recovery 30 min, e: recovery 40 min

a, b, c, d, e: different alphabet appear significant difference stage.

* $p<.05$, significant different main or interaction effects

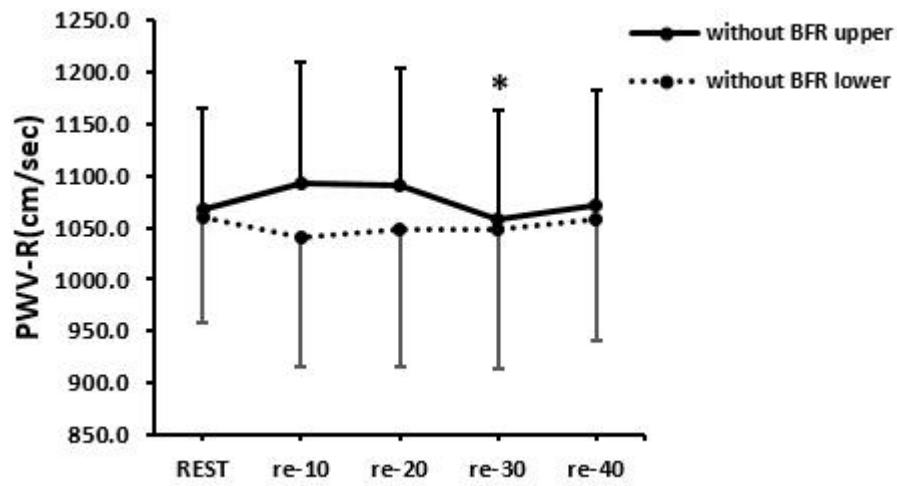


Fig 11. Comparison of pulse wave velocity-right(PWV-R) according to upper and lower after exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

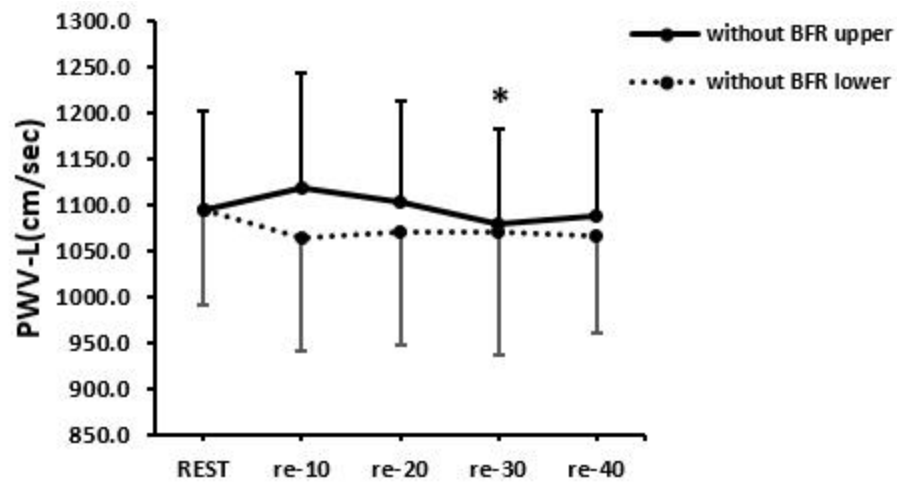


Fig 12. Comparison of pulse wave velocity-left(PWV-L) according to upper and lower after exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

4. 혈류제한 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈액학반응 비교

1) 혈류제한 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 상지의 심혈관 혈액학반응 비교

혈류제한 유·무에 따른 상지운동의 운동 시와 회복 시 심혈관의 혈액학반응은 <Table 11>에 제시된 바와 같다. 그 결과 SBP, DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR은 시기의 유의한 차이가 나타났으며($p<.05$), DBP, MAP, TPR에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p<.05$).

Table 11. Comparison of hemodynamics response of upper limb during exercise and recovery according to BFR or without BFR

	upper			<i>P</i>	
	without BFR	BFR			
SBP (mmHg)	rest	99.8±5.8	100.0±4.2	Time	.000*
	exercise	118.3±8.8	120.7±7.6		
	recovery 10 min	101.3±4.4	101.5±5.0	Group	.950
	recovery 20 min	100.3±5.6	99.2±5.1		
	recovery 30 min	99.4±6.0	98.7±5.0		
	recovery 40 min	98.1±4.6	97.7±5.2		
DBP (mmHg)	rest	68.5±5.2	67.4±4.6 ^b	Time	.000*
	exercise	73.5±8.0 ^{c,d,e,f}	83.5±6.7 ^{a,c,d,e,f}		
	recovery 10 min	64.6±4.7 ^b	66.1±5.2 ^c	Group	.279
	recovery 20 min	66.2±5.6 ^b	65.2±3.6 ^b		
	recovery 30 min	65.8±4.7 ^b	65.4±4.2 ^b		
	recovery 40 min	65.5±5.1 ^b	65.8±5.2 ^b		
MAP (mmHg)	rest	78.9±4.7 ^b	78.3±3.4 ^b	Time	.000*
	exercise	88.5±5.9 ^{a,c,d,e,f}	94.3±8.9 ^{a,c,d,e,f}		
	recovery 10 min	76.8±3.7 ^b	77.9±4.2 ^b	Group	.540
	recovery 20 min	77.6±5.0 ^b	76.6±3.4 ^b		
	recovery 30 min	77.0±4.8 ^b	76.5±3.6 ^b		
	recovery 40 min	76.4±4.4 ^b	76.4±4.5 ^b		
			Time×Group	.000*	

SV (ml)	rest	79.9±10.6	78.5±8.6	Time	.002*
	exercise	78.4±9.6	77.7±11.3		
	recovery 10 min	83.7±12.0	81.1±12.0	Group	.513
	recovery 20 min	79.1±11.2	76.8±11.7		
	recovery 30 min	79.0±11.4	75.9±11.6		
	recovery 40 min	78.0±10.6	75.4±11.6		
HR (beats/ min)	rest	61.0±10.8	59.0±8.0	Time	.000*
	exercise	90.3±12.2	84.1±22.0		
	recovery 10 min	61.3±8.9	61.1±7.7	Group	.472
	recovery 20 min	59.8±9.6	61.0±8.5		
	recovery 30 min	79.0±11.4	75.9±11.6		
	recovery 40 min	59.3±8.0	60.1±8.4		
CO (l/min)	rest	4.8±0.6	4.6±0.5	Time	.000*
	exercise	7.0±0.8	6.7±0.8		
	recovery 10 min	5.0±0.4	5.0±0.6	Group	.697
	recovery 20 min	4.6±0.4	4.7±0.6		
	recovery 30 min	4.5±0.4	4.5±0.5		
	recovery 40 min	4.5±0.3	4.5±0.5		
TPR (mmHg// min)	rest	16.7±2.5 b	17.2±2.1 b	Time	.000*
	exercise	12.7±1.5 ^{a,c,d,e,f}	14.2±2.3 ^{a,d,e,f} #		
	recovery 10 min	15.3±1.4 ^{b,d,e,f}	15.6±1.7 ^e	Group	.005
	recovery 20 min	16.8±1.7 ^{b,c}	16.3±2.0 ^b		
	recovery 30 min	16.8±1.4 ^{b,c}	16.8±1.7 ^{b,c}		
	recovery 40 min	16.8±1.6 ^{b,c}	16.8±1.7 ^b		

Values are mean±standard deviation, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, MAP: mean arterial pressure, SV: stroke volume, HR: heart rate, CO: cardiac output, TPR: total peripheral resistance.

a: rest, b: recovery 10 min, c: recovery 20 min, d: recovery 30 min, e: recovery 40 min.

a, b, c, d, e f: different alphabet appear significant difference stage.

* $p < .05$, significant different main or interaction effects

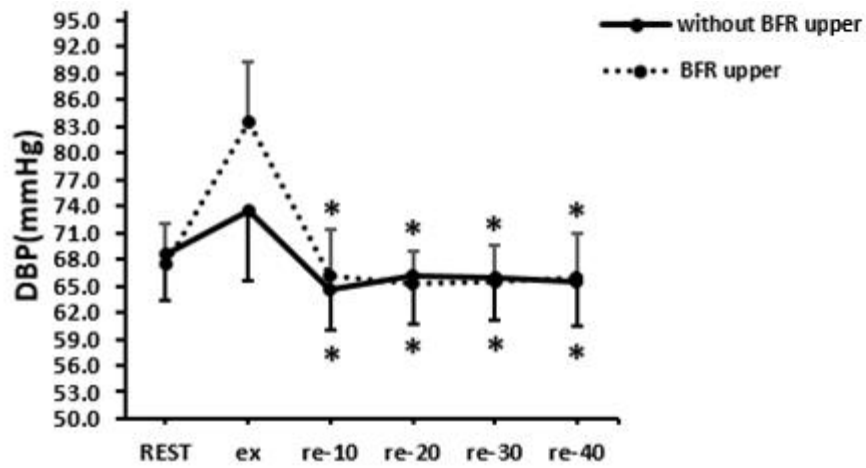


Fig 13. Comparison of diastolic blood pressure(DBP) according to without BFR upper and BFR upper during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

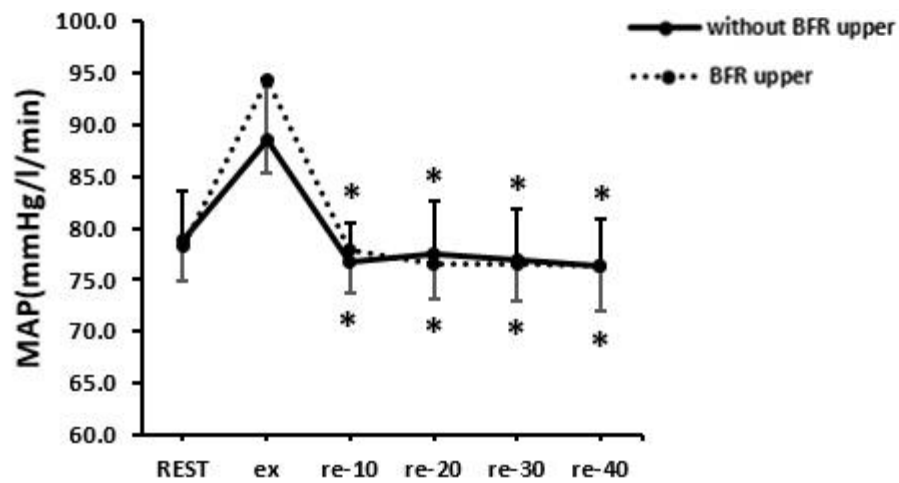


Fig 14. Comparison of mean arterial pressure(MAP) according to without BFR upper and BFR upper during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

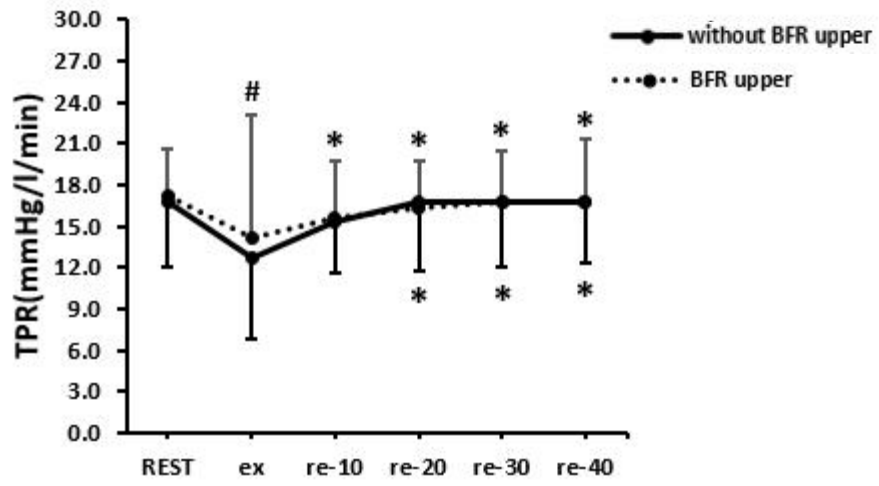


Fig 15. Comparison of total peripheral resistance(TPR) according to without BFR upper and BFR upper during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise. # $p < .05$, significant different from group.

2) 혈류제한 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 하지의 심혈관 혈액학반응 비교

혈류제한 유·무에 따른 하지운동의 운동 시와 회복 시 심혈관의 혈액학반응은 <Table 12>에 제시된 바와 같다. 그 결과 SBP, DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR은 시기의 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$), DBP, MAP, HR, CO에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p < .05$).

Table 12. Comparison of hemodynamics response of lower limb during exercise and recovery according to BFR or without BFR.

		lower			<i>P</i>
		without BFR	BFR		
SBP (mmHg)	rest	102.1±5.6	99.5±5.1	Time	.000*
	exercise	123.2±12.4	126.2±11.4		
	recovery 10 min	105.8±4.8	104.0±5.1	Group	.928
	recovery 20 min	103.1±5.4	102.0±4.0		
	recovery 30 min	102.0±5.4	102.0±4.9		
	recovery 40 min	99.7±5.6	101.5±6.0		
DBP (mmHg)	rest	71.8±5.2 ^{b,c,d,e,f}	71.2±5.1 ^{b,f}	Time	.000*
	exercise	82.7±6.6 ^{a,c,d,e,f}	91.6±8.9 ^{a,c,d,e,f}		
	recovery 10 min	67.5±3.9 ^{a,b}	68.3±6.4 ^b	Group	.130
	recovery 20 min	67.5±4.4 ^{a,b}	68.6±5.1 ^b		
	recovery 30 min	66.8±3.9 ^{a,b}	68.2±5.7 ^b		
	recovery 40 min	65.8±5.0 ^{a,b}	67.2±4.1 ^{a,b}		
MAP (mmHg)	rest	81.9±4.7 ^{a,f}	80.6±4.6 ^a	Time	.000*
	exercise	96.2±7.3 ^{a,c,d,e,f}	102.5±8.8 ^{a,c,d,e,f}		
	recovery 10 min	80.2±3.7 ^{b,f}	80.2±5.2 ^b	Group	.332
	recovery 20 min	79.4±4.3 ^b	79.7±4.5 ^b		
	recovery 30 min	78.5±3.9 ^b	79.5±5.1 ^b		
	recovery 40 min	77.1±4.6 ^{a,b,c}	78.6±4.4 ^b		
				Time×Group	.002*

SV (ml)	rest	77.8±12.0	76.5±14.7	Time	.000*
	exercise	87.4±11.7	88.6±14.9		
	recovery 10 min	85.8±10.5	87.3±14.3	Group	.849
	recovery 20 min	79.1±10.9	81.2±13.6		
	recovery 30 min	79.5±11.3	79.6±15.4		
	recovery 40 min	76.8±11.1	77.9±14.4		
HR (beats/ min)	rest	61.5±7.7 ^{b,c,d}	61.2±7.8 ^{b,c,d,e}	Time	.000*
	exercise	100.6±19.4 ^{a,c,d,e,f}	115.3±17.5 ^{a,c,d,e,f}		
	recovery 10 min	68.7±7.0 ^{a,b,e,f}	74.1±12.1 ^{a,b,d,e,f}	Group	.101
	recovery 20 min	65.7±7.6 ^{a,b,f}	68.6±9.3 ^{a,b,c}		
	recovery 30 min	63.6±8.3 ^{b,c}	67.4±9.1 ^{a,b,c}		
	recovery 40 min	61.7±7.6 ^{b,c,d}	65.7±9.3 ^{b,c}		
CO (l/min)	rest	4.7±0.7 ^{b,c,d}	4.6±0.7 ^{b,c,d,e}	Time	.000*
	exercise	8.7±1.6 ^{a,c,d,e,f}	10.2±2.2 ^{a,c,d,e,f}		
	recovery 10 min	5.8±0.7 ^{a,b,d,e,f}	6.3±0.9 ^{a,b,d,e,f}	Group	.100
	recovery 20 min	5.1±0.7 ^{a,b,c,f}	5.5±0.8 ^{a,b,c,f}		
	recovery 30 min	5.0±0.6 ^{b,c,d,f}	5.2±0.9 ^{a,b,c}		
	recovery 40 min	4.7±0.6 ^{b,c,d,f}	5.0±0.9 ^{b,c,d}		
TPR (mmHg/ l/min)	rest	17.6±3.2	17.8±2.5	Time	.000*
	exercise	11.4±2.3	10.6±2.6		
	recovery 10 min	13.8±1.7	12.8±1.8	Group	.484
	recovery 20 min	15.6±2.3	14.8±2.4		
	recovery 30 min	15.9±2.0	15.5±3.0		
	recovery 40 min	16.6±2.5	16.1±3.4		

Values are mean±standard deviation, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, MAP: mean arterial pressure, SV: stroke volume, HR: heart rate, CO: cardiac output, TPR: total peripheral resistance.

a: rest, b: recovery 10 min, c: recovery 20 min, d: recovery 30 min, e: recovery 40 min

a, b, c, d, e f: different alphabet appear significant difference stage.

$p < .05$, significant different between the groups

* $p < .05$, significant different main or interaction effects

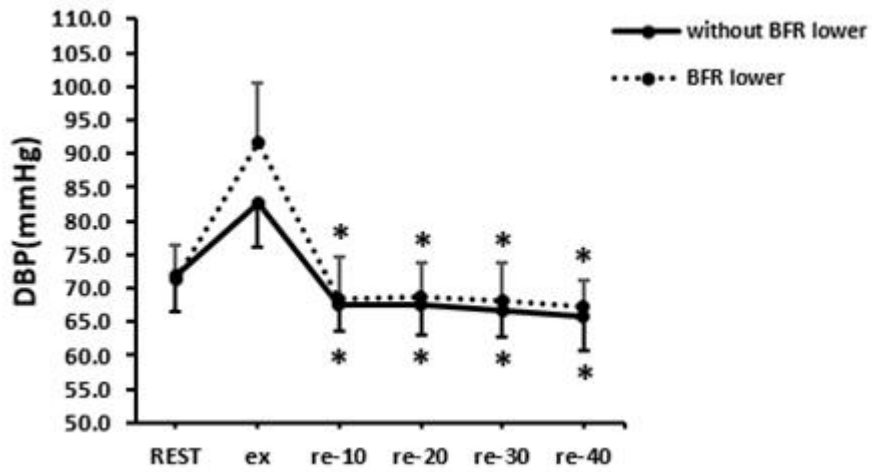


Fig 16. Comparison of diastolic blood pressure(DBP) according to without BFR lower and BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

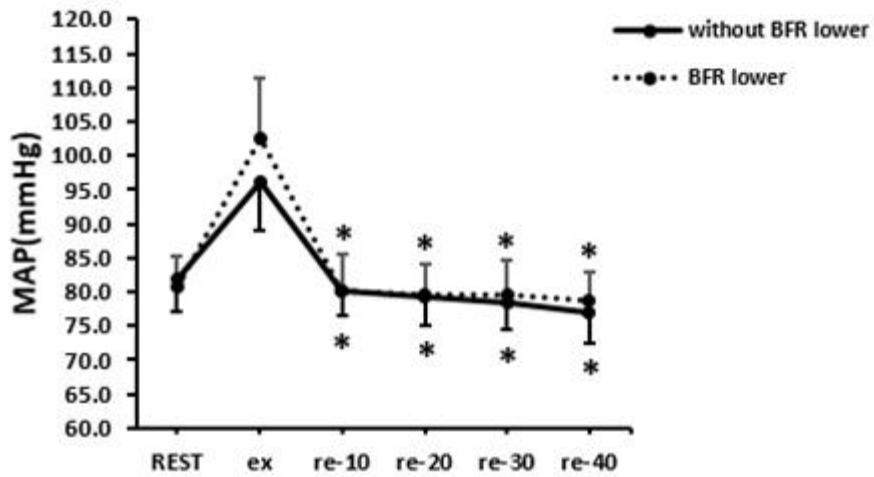


Fig 17. Comparison of mean arterial pressure(MAP) according to without BFR lower and BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

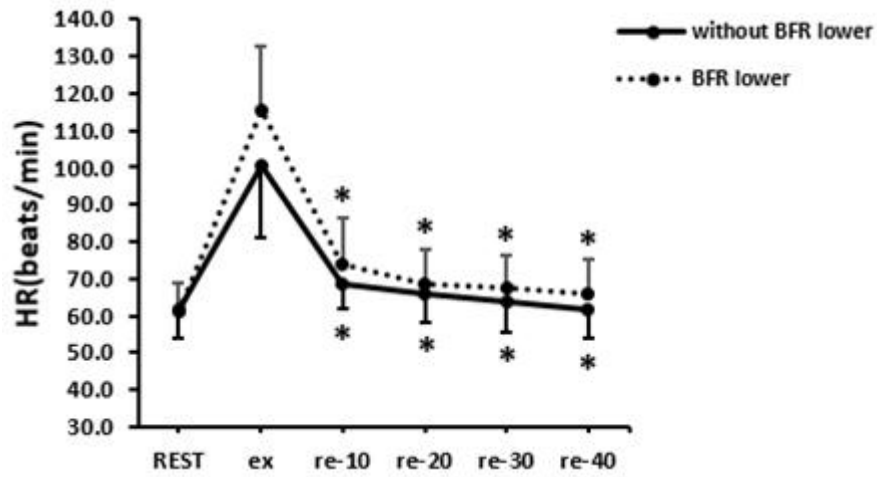


Fig 18. Comparison of heart rate(HR) according to without BFR lower and BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

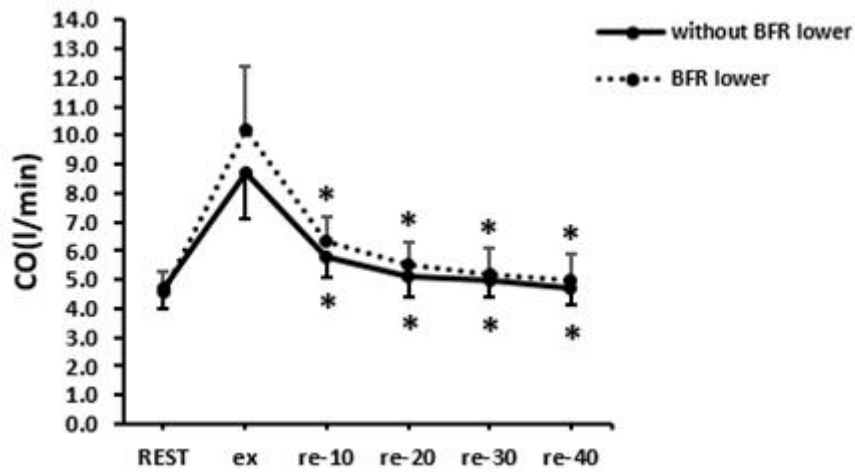


Fig 19. Comparison of cardiac output(CO) according to without BFR lower and BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

5. 혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈액학반응 비교

1) 혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈액학반응 비교

혈류제한 상지운동과 하지운동에 대한 운동 시와 회복 시 심혈관의 혈액학 반응의 변화는 <Table 13>에 제시된 바와 같다. 그 결과 SBP, DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR는 시기의 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$), DBP, MAP, HR, CO, TPR에서 집단의 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). 또한 DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 시기와 집단의 상호작용이 유의하게 나타났다($p < .05$).

Table 13. Comparison of hemodynamics response of upper and lower limbs during exercise and recovery using BFR.

		BFR			<i>P</i>
		upper	lower		
SBP (mmHg)	rest	100.5±4.2	99.5±5.1	Time	.000*
	exercise	120.7±7.6	126.2±11.4		
	recovery 10 min	101.5±5.0	104.0±5.1	Group	.077
	recovery 20 min	99.2±5.1	102.0±4.0		
	recovery 30 min	98.7±5.0	102.0±4.9		
recovery 40 min	97.7±5.2	101.5±6.0			
			Time×Group	.070	
DBP (mmHg)	rest	67.4±4.6 ^b	71.2±5.1 ^{b,f}	Time	.000*
	exercise	83.5±6.7 ^{a,c,d,e,f}	91.6±8.9 ^{a,c,d,e,f #}		
	recovery 10 min	66.1±5.2 ^b	68.3±6.4 ^b	Group	.019*
	recovery 20 min	65.2±3.6 ^b	68.6±5.1 ^b		
	recovery 30 min	65.4±4.2 ^b	68.2±5.7 ^b		
recovery 40 min	65.8±5.2 ^b	67.2±4.1 ^{a,b}			
			Time×Group	.005*	
MAP (mmHg)	rest	78.3±3.4 ^a	80.6±4.6 ^b	Time	.000*
	exercise	94.3±8.9 ^{a,c,d,e,f}	94.3±8.9 ^{a,c,d,e,f}		
	recovery 10 min	77.9±4.2 ^b	80.2±5.2 ^{b #}	Group	.017*
	recovery 20 min	76.6±3.4 ^b	79.7±4.5 ^b		
	recovery 30 min	76.5±3.6 ^b	79.5±5.1 ^b		
recovery 40 min	76.4±4.5 ^b	78.6±4.4 ^b			
			Time×Group	.005*	

SV (ml)	rest	78.5±8.6	76.5±14.7 ^{b,c,d}	Time	.000*
	exercise	77.7±11.3	88.6±14.9 ^{a,d,e,f}		
	recovery 10 min	81.1±12.0 ^{d,e,f}	87.3±14.1 ^{a,d,e,f}	Group	.277
	recovery 20 min	76.8±11.7 ^c	81.2±13.6 ^{a,b,c,f}		
	recovery 30 min	75.9±11.6 ^c	79.6±15.4 ^{b,c,d}		
recovery 40 min	75.4±11.6 ^c	77.9±14.4 ^{b,c,d}	Time×Group	.002*	
HR (beats/ min)	rest	59.0±8.0 ^b	61.2±7.8 ^{b,c,d,e}	Time	.000*
	exercise	84.1±22.0 ^{a,c,d,e,f}	115.3±17.5 ^{a,c,d,e,f} #		
	recovery 10 min	61.1±7.7 ^b	74.1±12.1 ^{a,b,d,e,f} #	Group	.001*
	recovery 20 min	61.0±8.5 ^b	68.6±9.3 ^{a,b,c} #		
	recovery 30 min	59.8±7.7 ^b	67.4±9.1 ^{a,b,c} #		
recovery 40 min	60.1±8.4 ^b	65.7±9.3 ^{b,c}	Time×Group	.000*	
CO (l/min)	rest	4.6±0.5 ^{b,c}	4.6±0.7 ^{b,c,d,e}	Time	.000*
	exercise	6.7±0.8 ^{a,c,d,e,f}	10.2±2.2 ^{a,c,d,e,f} #		
	recovery 10 min	5.0±0.6 ^{a,b,d,e,f}	6.3±0.9 ^{a,b,d,e,f} #	Group	.000*
	recovery 20 min	4.7±0.6 ^{b,c}	5.5±0.8 ^{a,b,c,f} #		
	recovery 30 min	4.5±0.5 ^{b,c}	5.2±0.9 ^{a,b,c} #		
recovery 40 min	4.5±0.5 ^{b,c}	5.0±0.9 ^{b,c,d} #	Time×Group	.000*	
TPR (mmHg/ l/min)	rest	17.2±2.1 ^b	17.8±2.5	Time	.000*
	exercise	14.2±2.3 ^{a,d,e,f}	10.6±2.6 [#]		
	recovery 10 min	15.6±1.7 ^e	12.8±1.8 [#]	Group	.030*
	recovery 20 min	16.3±2.0 ^b	14.8±2.4 [#]		
	recovery 30 min	16.8±1.7 ^{b,c}	15.5±3.0		
recovery 40 min	16.8±1.7 ^b	16.1±3.4	Time×Group	.000*	

Values are mean±standard deviation, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, MAP: mean arterial pressure, SV: stroke volume, HR: heart rate, CO: cardiac output, TPR: total peripheral resistance.

a: rest, b: recovery 10 min, c: recovery 20 min, d: recovery 30 min, e: recovery 40 min

a, b, c, d, e f: different alphabet appear significant difference stage.

$p < .05$, significant different between the groups

* $p < .05$, significant different main or interaction effects

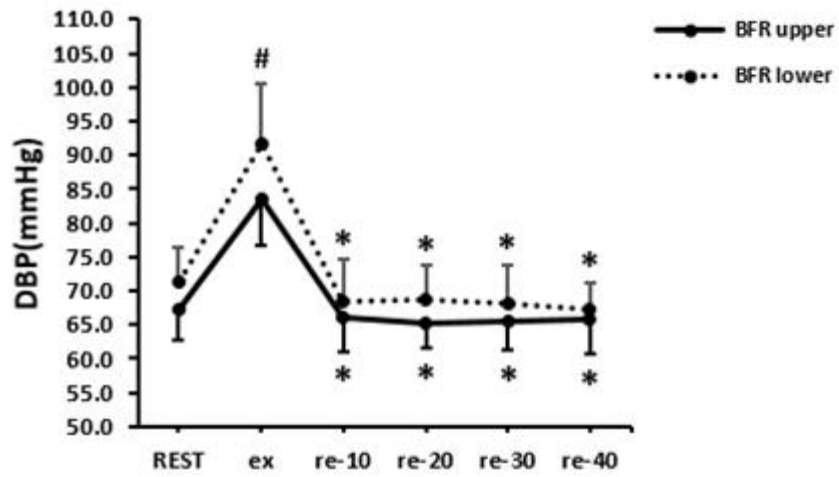


Fig 20. Comparison of diastolic blood pressure(DBP) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise, # $p < .05$, significant different between the group.

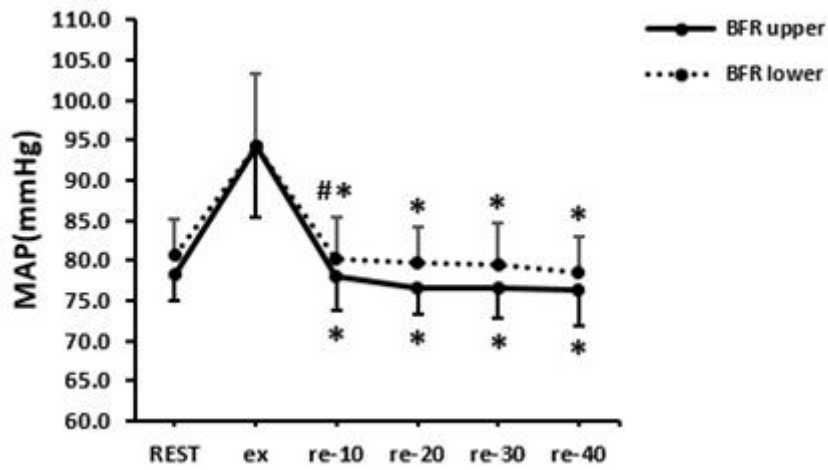


Fig 21. Comparison of mean arterial pressure(MAP) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise, # $p < .05$, significant different between the group.

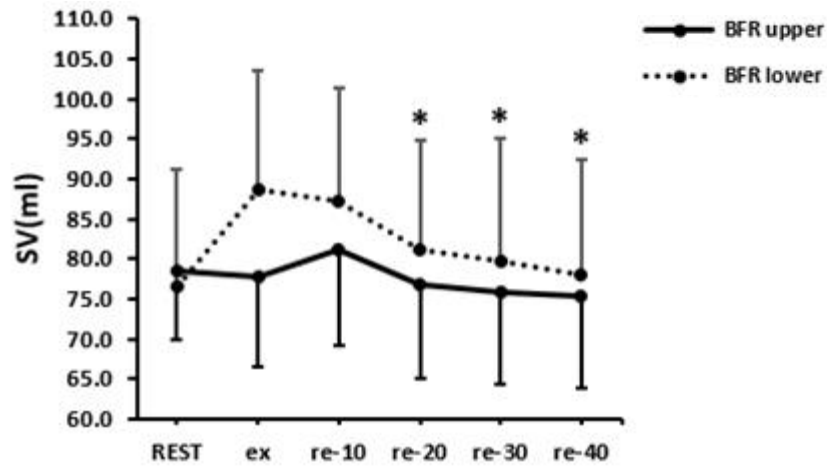


Fig 22. Comparison of stroke volume(SV) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

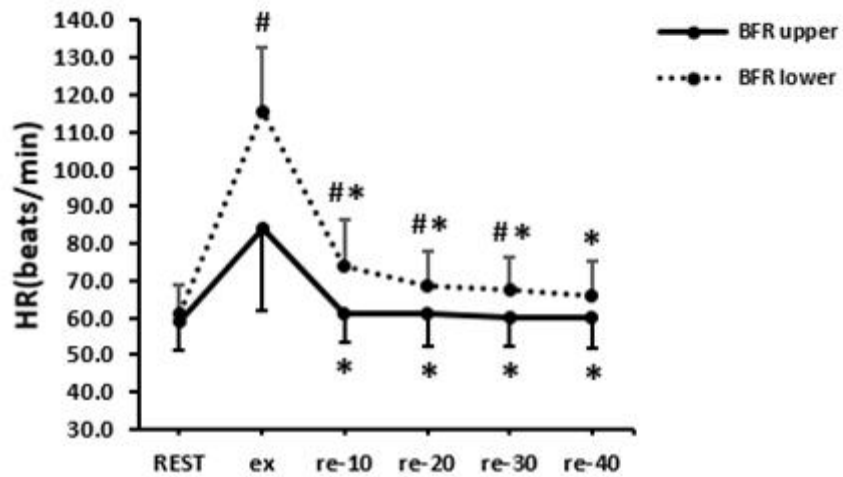


Fig 23. Comparison of heart rate(HR) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise, # $p < .05$, significant different between the group.

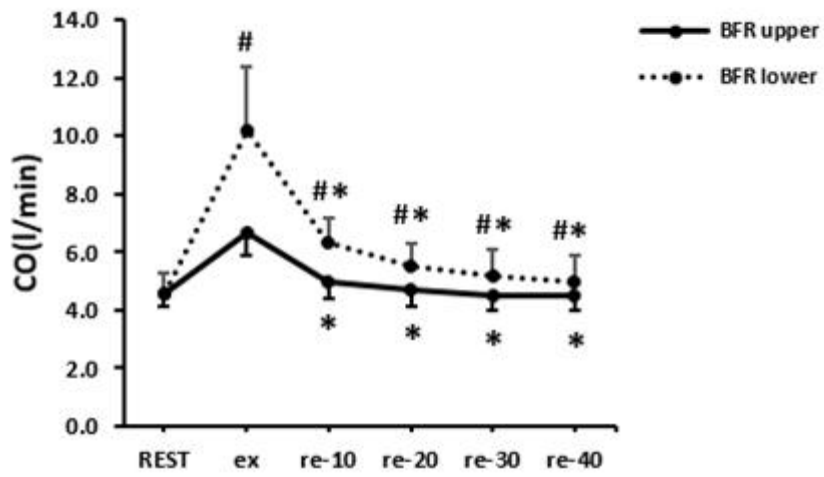


Fig 24. Comparison of cardiac output(CO) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise, # $p < .05$, significant different between the group.

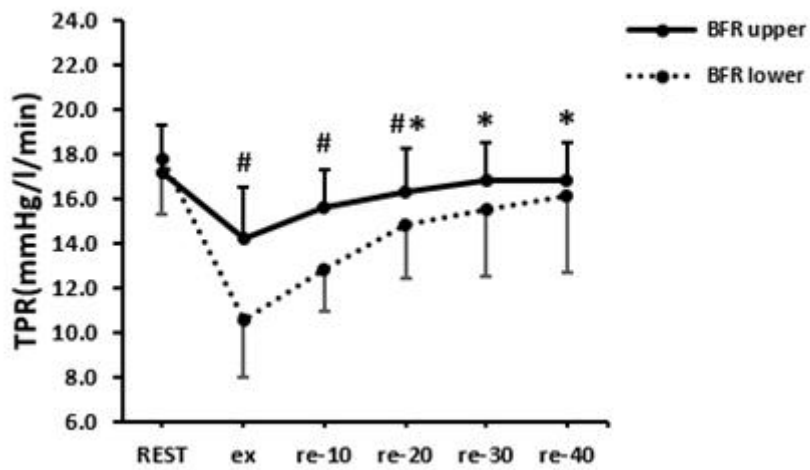


Fig 25. Comparison of total peripheral resistance(TPR) according to BFR upper and BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise, # $p < .05$, significant different between the group.

6. 비혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈액학반응 비교

1) 비혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈액학반응 비교

비혈류제한 상지와 하지 운동 시와 회복 시 심혈관의 혈액학반응의 변화는 <Table 14>에 제시된 바와 같다. 그 결과 SBP, DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR는 시기의 유의한 차이가 나타났으며($p < .05$), SBP, DBP, MAP, CO, TPR에서 집단의 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). 또한 DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 시기와 집단의 상호작용이 유의하게 나타났다($p < .05$).

Table 14. Comparison of hemodynamics response of upper and lower limbs during exercise and recovery according to without BFR.

		without BFR			P
		upper	lower		
SBP (mmHg)	rest	99.8±5.8	102.1±5.6	Time	.000*
	exercise	118.3±8.8	123.2±12.4 #		
	recovery 10 min	101.3±4.4	105.8±4.8	Group	.043*
	recovery 20 min	100.3±5.6	103.1±5.4		
	recovery 30 min	99.4±6.0	102.0±5.4		
	recovery 40 min	98.1±4.6	99.7±5.6		
DBP (mmHg)	rest	68.5±5.2	71.8±5.2 ^{b,c,d,e,f}	Time	.000*
	exercise	73.5±8.0 ^{c,d,e,f}	82.7±6.6 ^{a,c,d,e,f} #		
	recovery 10 min	64.6±4.7 ^b	67.5±3.9 ^{a,b} #	Group	.030*
	recovery 20 min	66.2±5.6 ^b	67.5±4.4 ^{a,b}		
	recovery 30 min	65.8±4.7 ^b	66.8±3.9 ^{a,b}		
	recovery 40 min	65.5±5.1 ^b	65.8±5.0 ^{a,b}		
MAP (mmHg)	rest	78.9±4.7 ^b	81.9±4.7 ^{b,f}	Time	.000*
	exercise	88.5±5.9 ^{a,c,d,e,f}	96.2±7.3 ^{a,c,d,e,f} #		
	recovery 10 min	76.8±3.7 ^b	80.2±3.7 ^{b,f}	Group	.015*
	recovery 20 min	77.6±5.0 ^b	79.4±4.3 ^b		
	recovery 30 min	77.0±4.8 ^b	78.5±3.9 ^b		
	recovery 40 min	76.4±4.4 ^b	77.1±4.6 ^{a,b,c}		
				Time×Group	.772
				Time×Group	.000*
				Time×Group	.001*

SV (ml)	rest	79.9±10.6 ^c	77.8±12.0 ^{b,c}	Time	.000*
	exercise	78.4±9.6 ^c	87.4±11.7 ^{a,d,e,f}		
	recovery 10 min	83.7±12.0 ^{a,d,e,f}	85.8±10.5 ^{a,d,e,f}	Group	.697
	recovery 20 min	79.1±11.2 ^c	79.1±10.5 ^{b,c}		
	recovery 30 min	79.0±11.4 ^c	79.5±11.3 ^{b,c}		
	recovery 40 min	78.0±10.6 ^c	76.8±11.1 ^{b,c}		
HR (beats/ min)	rest	61.0±10.8 ^b	61.5±7.7	Time	.000*
	exercise	90.3±12.2 ^{a,c,d,e,f}	100.6±19.4		
	recovery 10 min	61.3±8.9 ^b	68.7±7.0 ^{b,c,d}	Group	.087
	recovery 20 min	59.8±9.6 ^b	65.7±7.6 ^{a,c,d,e,f}		
	recovery 30 min	59.1±9.0 ^b	63.6±8.3 ^{a,b,e,f}		
	recovery 40 min	59.3±8.0 ^b	61.7±7.6 ^{a,b,f}		
CO (l/min)	rest	4.8±0.6 ^b	4.7±0.7 ^{b,c,d}	Time	.000*
	exercise	7.0±0.8 ^{a,c,d,e,f}	8.7±1.6 ^{a,c,d,e,f} #		
	recovery 10 min	5.0±0.4 ^{b,d,e,f}	5.8±0.7 ^{a,b,d,e,f} #	Group	.003*
	recovery 20 min	4.6±0.4 ^{b,c}	5.1±0.7 ^{a,b,c,f}		
	recovery 30 min	4.5±0.4 ^{b,c}	5.0±0.6 ^{b,c,f}		
	recovery 40 min	4.5±0.3 ^{b,c}	4.7±0.6 ^{b,c,e}		
TPR (mmHg/l/ min)	rest	16.7±2.5 ^b	17.6±3.2 ^{b,c,d,e}	Time	.000*
	exercise	12.7±1.5 ^{a,c,d,e,f}	11.4±2.3 ^{a,c,d,e,f}		
	recovery 10 min	15.3±.4 ^{b,d,e,f}	13.8±1.7 ^{a,b,d,e,f} #	Group	.042*
	recovery 20 min	16.8±1.7 ^{b,c}	15.6±2.3 ^{a,b,c,e,f}		
	recovery 30 min	16.8±1.4 ^{b,c}	15.9±2.0 ^{a,b,c}		
	recovery 40 min	16.8±1.6 ^{b,c}	16.6±2.5 ^{b,c,d}		

Values are mean±standard deviation, SBP: systolic blood pressure, DBP: diastolic blood pressure, MAP: mean arterial pressure, SV: stroke volume, HR: heart rate, CO: cardiac output, TPR: total peripheral resistance.

a: rest, b: recovery 10 min, c: recovery 20 min, d: recovery 30 min, e: recovery 40 min

a, b, c, d, e f: different alphabet appear significant difference stage.

$p < .05$, significant different between the groups

* $p < .05$, significant different main or interaction effects

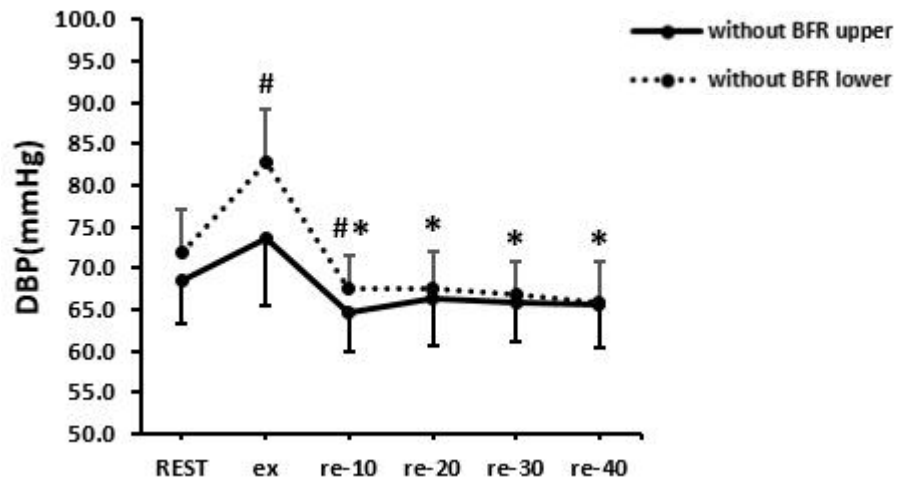


Fig 26. Comparison of diastolic blood pressure(DBP) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise, # $p < .05$, significant different between the group.

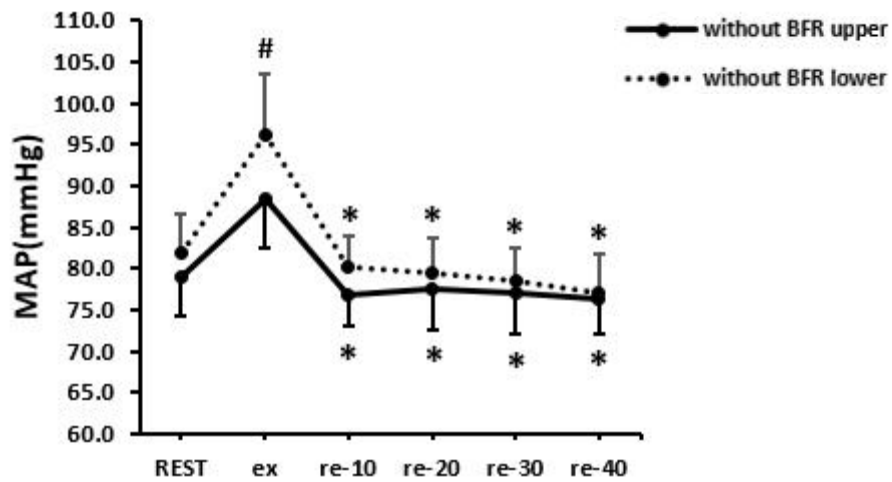


Fig 27. Comparison of mean arterial pressure(MAP) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise, # $p < .05$, significant different between the group.

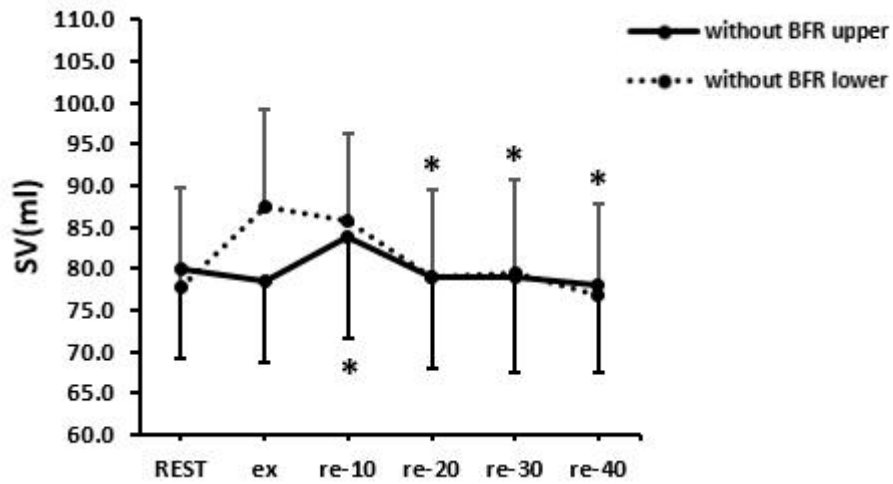


Fig 28. Comparison of stroke volume(SV) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

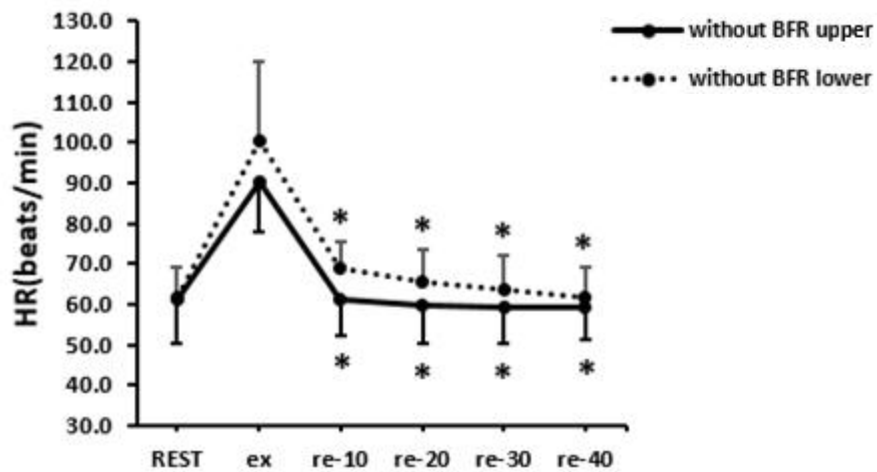


Fig 29. Comparison of heart rate(HR) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise.

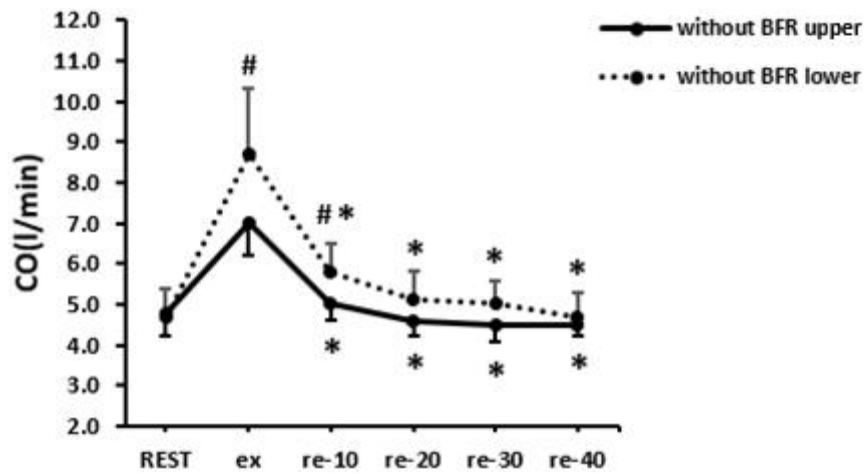


Fig 30. Comparison of cardiac output(CO) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise, # $p < .05$, significant different between the group.

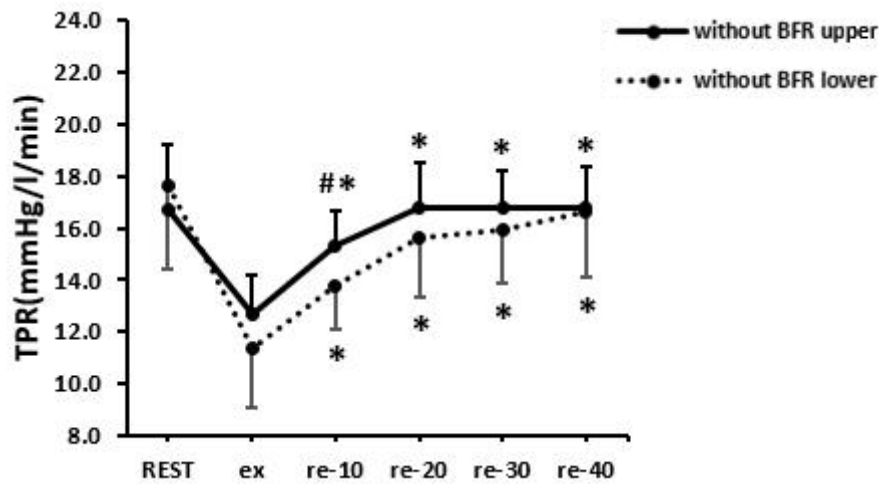


Fig 31. Comparison of total peripheral resistance(TPR) according to without BFR upper and without BFR lower during exercise and recovery. * $p < .05$, significant different from exercise, # $p < .05$, significant different between the group.

V. 논의

1. 혈류제한 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교

맥파속도를 통해 측정된 동맥경직도의 증가는 저강도~중강도(40~70% 1RM)가 아니라 고강도(>70% 1RM)의 저항운동 후에서 발생하는 것으로 제안되었다(Cortz-Cooper et al., 2005). 본 연구는 혈류제한의 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도에 차이가 있다는 가설을 세웠다. 그 결과, 혈류제한 사용에 따른 맥파속도 변화는 하지의 PWV-L에서만 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p < .05$). 이는 상지에서는 혈류제한의 유·무에 따라 차이가 없지만 하지에서의 혈류제한은 대사적수용기를 자극하여 일시적으로 동맥경직도를 높였지만 대사적수용기 자극으로 인하여 혈관내피세포 기능이 활성화되어 운동 후 회복기에 동맥경직도를 감소하는 것으로 나타났다.

상지의 상완 및 하지의 대퇴동맥 혈류는 커프압력이 각각 80~120과 100~250 mmHg 사이에서 증가함에 따라 선형으로 감소한다(Hunt, Stodart, & Ferguson, 2016). 본 연구에서는 어느 정도 수준의 동맥혈류를 유지할 수 있을 만큼 충분해야 한다는 선행연구(Scott et al., 2015)를 참조하여 대상자의 안정 시 SBP에 기초한 130% SBP (약 130~180 mmHg)의 커프압력을 사용하였다(Clark et al., 2011).

Tai., Marshall., Parks, & Kingsley(2021)의 최근 연구에 의하면 남성과 여성(남=14명, 여=9명)을 대상으로 혈류제한 유·무와 상관없이 상지운동 후 회복기에 일시적인 AIx, AIx@75를 유의하게 증가시켰으며 상지운동과는 달리 하지운동 시 혈류제한 유·무와 상관없이 맥파속도는 변화가 없다고 하였다. 이러

한 결과는 본 연구와 일부 상반된 연구결과로 남·여 차이에 대한 혈액학반응의 특성이 반영되었다고 사료된다.

2. 혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교

본 연구에서 혈류제한 사용에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 PWV-R과 PWV-L에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다 ($p < .05$). 이 결과는 혈류제한을 이용한 상지운동과 하지운동에서 맥파속도 및 발목상완압력지수(ankle brachial pressure index: ABI)에 의해 측정된 다른 혈관 반응을 유도한다는 것을 시사한다. 본 연구에서는 맥파속도는 운동 후 회복 시 상지에서 높게 나타났다. 선행 연구에서는 고강도 저항운동 후 동맥경화가 증가한 것으로 나타났다(Okamoto, Masuhara, & Ikuta, 2009). 동맥경화의 증가는 상지운동 및 전신 운동과 관련이 있었지만 하지운동과 관련이 없었다(Okamoto et al., 2009). Heffernan et al(2007)은 하지운동이 중추 동맥 강성을 변화 시키지는 않았지만 건강한 젊은 성인에서 하지의 말초 동맥 강성을 감소시켰다는 것을 보고했다. 반면에 상지운동은 중심 동맥경직을 증가시키는 것으로 나타났다(Lefferts et al., 2014).

본 연구에서는 상지운동 직후에 맥파속도가 증가하여 말초 동맥경직에 대한 하지의 급성 효과에 대해 Heffernan et al(2007)의 결과를 지지했다. 이 결과는 상지운동 후 ABI의 초기 증가를 시사하는데, 이는 동맥경직에 대한 효과를 보고한 선행연구와 일치한다(Heffernan et al., 2007). 운동으로 인한 동맥경화의 감소는 근육 동맥의 확장과 혈류의 증가를 동반한다는 것을 이유로 들 수 있다(Munir et al., 2008). 급성 운동은 높은 shear stress에 의해 산화질소 생성을

증가시켜 근육 동맥을 확장하고 혈류를 증가시킨다(Munir et al., 2008). 혈관 확장은 혈관 평활근의 긴장을 감소시켜 단단한 콜라겐 섬유에서 더 탄력적인 엘라스틴 섬유로 전달되어 결과적으로 동맥벽이 더 유연해진다(Belz, 1995). 하지에서는 더 많은 근 질량이 관련되고 관련 근육 동맥의 표면적이 더 크다. 하지와 비교하여 상지는 더 높은 노르에피네프린(norepinephrine: NE) 농도, MAP 및 심박수를 유도하는 것으로 나타났다(Volianitis, Krstrup, Dawson, & Secher, 2003; Okamoto et al., 2009). 증가된 NE 혈장 농도는 교감신경계 활동의 증가와 관련이 있으며, 이는 차례로 동맥벽에 교감신경 수축효과를 가져와 운동 중 상지에서 동맥경화를 증가시킬 수 있다(Okamoto et al., 2009).

Fahs, Rossow, & Seo(2011)은 혈류제한을 이용한 급성 무릎 신전 및 굴신이 혈관 전도력의 변화 없이 동맥순응도(arterial compliance)를 증가시켰으며 이 증가는 혈류제한이 없는 저항도 급성 무릎 신전과 유사하다고 보고했다. 그들은 동맥순응도의 급격한 증가가 국소 혈관 활성 물질의 증가와 교감 혈관 수축의 감소에 기인한다고 제안했다.

Kim et al(2009)은 젊은 남성의 요골 동맥에서 평가된 동맥 순응도가 3주 동안 혈류제한을 사용한 저항도 저항운동에 의해 변하지 않는다고 보고했다. 비혈류제한의 고강도 저항운동에 의해 유도된 동맥순응도 장애는 교감신경 활동 시스템의 증가를 통한 BP 증가에 기인하여 동맥구조 또는 동맥 부하를 견디는 특성을 변경시킨다. 이러한 변화는 손상된 동맥순응도와 관련이 있을 수 있다. 혈류제한 운동에 대한 선행연구에서 안정 시 BP는 혈류제한 저항운동을 몇 주 동안 실시한 후에도 변하지 않았다(Fahs, Loenneke, Rossow, Tiebaud, & Bembien, 2012). 더욱이 혈류제한에 의해 유도된 저항운동은 운동 중 SBP의 변화와 관련이 있으며, 상승 BP는 혈류제한 운동 중에 동맥순응도 변화를 유도하는 역할을 할 수 있음을 나타낸다.

반대로, 혈류제한을 이용한 저항도 저항운동 후에는 BP의 저하가 발생하지

않았지만, 고강도 저항운동은 BP의 유의한 저하가 나타났다(Rossow et al., 2011). 운동 후 BP의 저하는 특히 고혈압자 환자에서 안정 시 BP를 조절하는 중요한 전략으로 간주될 수 있다.

반면, 혈류제한으로 벤치프레스에서 세트 사이에 30초 휴식 30회, 15회, 15회, 15회 반복 4세트를 사용한 1회성 상지운동 후 맥파 반사특성이 크게 증가함을 시사하였다(Tai et al., 2021). Rossow et al.(2012)은 130% SBP에 커프압력을 가하여 혈류제한으로 무릎신전운동 사이에 30초를 두고 20% 1-RM에서 30, 15, 15회 반복 4세트를 실시한 결과 맥파 반사특성이 감소하였다. 이러한 결과의 차이는 근육량과 운동 강도, 상지운동보다 하지운동은 심장에서 가까운 거리가 더 길기 때문에 맥파를 다시 심장으로 회귀하는 동안 맥파 반사특성이 완충될 수 있다.

본 연구에서처럼 상지와 하지의 혈류제한에 따른 낮은 강도의 저항성 운동 후 동맥경직도를 조사한 연구는 매우 적다. Figueroa, & Vichil(2011)의 연구에서는 건강한 젊은 대상자에게 혈류제한 후 급성저항운동 시 하지보다 상지 운동 후 동맥경직도의 증가를 보고하여 본 연구와 일치함을 보였다. 중년성인을 대상으로 혈류제한 저항운동 트레이닝을 실시한 결과 동맥경직도의 증가가 나타났으며(Fahs, Rossow, & Thiebaud, 2014), 건강한 성인과 노년층에서는 동맥경직도의 변화가 나타나지 않았다(Clark et al., 2011; Yasuda, Fukumura, & Fukuda, 2014). 이렇듯 혈류제한에 따른 저항운동 시 동맥경직도에 대한 트레이닝의 효과는 향후 동맥혈관에 대한 부작용이 우려될 수도 있을 것이다. 최근 Amorim et al.(2021)은 혈류제한과 동맥경직도의 반응과 적응에 관한 연구에서 혈류제한에 따른 사망과 심각한 부작용은 보고되지 않았지만 의학적 질환이 있는 노년층에서 나타날 수 있는 부작용을 방지하기 위해 주의하여 실시해야 한다고 하였다.

따라서 본 연구에서 나타난 혈류제한과 함께 저강도 저항성 운동 시 하지보

다 상지에서 비교적 높은 동맥경직도가 나타났다. 이는 고혈압과 같은 심혈관 계질환이 있는 고위험군에게는 하지 혈류제한 저항운동이 상지 혈류제한 저항운동과 비교하여 안전한 것으로 사료된다.

3. 비혈류제한 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도 비교

인간 연구에서는 동맥 기능을 직접 평가하는 것이 거의 불가능하기 때문에 다양한 비 침습적 방법론이 사용되고 있다. 동맥경화는 대동맥 팽창성의 감소로 정의된다. 일반적으로 맥파속도측정은 대동맥 확장성을 평가하기 위해 광범위하게 사용되고 있다(Laurent et al., 2001). 맥파속도는 경동맥과 대퇴 동맥과 같은 두 개의 서로 다른 동맥 사이의 거리를 동맥의 한 부위에서 다른 부위로 맥파 이동 시간으로 나누어 계산한다(Laurent et al., 2006). 이는 혈관 직경 및 혈액 점도와 반비례하며 혈관 벽두께 및 팽창성에 비례하여 맥파속도의 속도가 빠를수록 대동맥 팽창성이 낮음을 나타내며, 심혈관질환과 밀접한 관련이 있다(Hansen et al., 2006).

예를 들어, 역도 운동 중에는 SBP와 DBP가 모두 급격히 증가하는 반면 유산소운동 중에는 SBP만 증가하고 DBP는 증가하지 않는다(Stratton et al., 1994). 따라서 과거의 패러다임에서 저항운동은 노인, 특히 심혈관질환자에게 권장되지 않는다. 그러나 선행연구에 따르면 유산소운동만으로는 근 감소증을 예방하는 데 필요한 근육량과 근력을 유지할 수 없다는 사실이 밝혀졌다(Williams et al., 2007).

그러나 저항운동의 위험성에 대한 통념 때문에 저항운동이 혈관 기능에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다. Bertovic et al(1999)은 저항운동을

실시한 남성의 대동맥 팽창률이 대조군보다 낮다는 것을 보여주었다. 그러나 저항운동이 혈관 기능에 미치는 영향을 조사한 연구 결과는 논란의 여지가 있다. 좌식 생활자보다 저항운동을 실시하는 운동선수에서 더 큰 동맥경직이 관찰되었다(Otsuki et al., 2007). 대조적으로, 맥파속도에 의해 평가된 동맥경직도는 고강도 저항운동을 실시한 남성과 좌식생활 남성 사이에 차이가 나타나지 않았다(Heffernan et al., 2007). 또한 Fahs et al(2010)은 유산소 능력과는 무관하게 근력과 맥파속도 사이에 유의한 상관관계를 보고하여 근력을 향상시킬 수 있는 저항운동이 동맥경직도를 개선할 수 있음을 시사했다.

본 연구에서 비 혈류제한의 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도의 변화를 비교하였다. 그 결과 PWV-R과 PWV-L은 안정 시와 비교하여 회복 시에 시기와 집단 간 상호작용이 나타났다($p < .05$). 혈류제한과 저강도 저항운동을 결합하면 ACSM의 지침에 따라 운동하지 않더라도 근력과 근비대의 개선이 가능하다(Loenneke et al., 2012a). 이것은 1-RM의 60-80%의 고강도로 운동할 수 없는 대상자에게 유용하다. 저항운동 강도와 혈류제한압력의 다양한 조합은 근비대를 일으킨다(Ladlow et al., 2018). Lixandrao et al(2015)은 고강도 저항운동을 수행할 수 있다면 혈류제한을 사용한 저강도 저항운동보다 더 효율적일 것이라고 결론지었다.

4. 혈류제한 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈역학반응 비교

혈류제한을 통한 조직의 저산소상태에 대한 반응으로 EPR을 강화하고 혈류감소를 통해 혈류제한이 심혈관의 혈역학반응에 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대한 우려가 있다(Springer et al., 2015). 혈류제한은 근비대를 유도하면서

낮은 부하로 운동하는 방법을 제공하지만, 혈류제한은 심장으로 돌아오는 혈액의 양을 인위적으로 감소시키기 때문에 대상자의 심혈관 혈액학반응을 조절해야 한다. 근육에 더 많은 산소가 필요하다는 신호를 보내면 중추 신경계는 부교감신경 활성화를 철회하고 교감신경 활성화를 증가시켜 반응한다(Smith, & Fernhall, 2011). 이로 인해 신체는 HR을 증가시켜 산소가 제거된 조직에 더 많은 혈액을 보내려고 하는데, 이는 심장의 부하를 증가시키고 심장은 심근에 더 많은 산소를 필요로 한다(Smith, & Fernhall, 2011).

본 연구에서 혈류제한의 유·무에 따른 상지운동의 심혈관 혈액학반응은 운동 시와 회복 시 DBP, MAP, TPR과 하지운동의 DBP, MAP, HR, CO에서 상호작용이 나타났다($p < .05$). SBP는 혈류제한의 유·무에 따른 운동 시와 회복 시에 상지운동과 하지운동 모두 차이가 나타나지 않았으나 운동 10분 후에 유의하게 감소했으며, 이는 운동 후 저혈압(post-exercise hypotensive effect: PHE) 효과에 기인했을 것이다. 그 이유로는 전신 말초혈관저항의 증가로 완전히 보상되지 않은 CO가 감소했기 때문이다(Maior et al., 2015).

본 연구에서 상지운동의 회복 10분 후 혈류제한(19.1%)과 비혈류제한(17.0%)에 따른 DBP는 감소했다. 또한, 회복 10분 후에도 하지운동의 혈류제한(22.2%)과 비혈류제한(17.4%)에 따른 DBP는 크게 감소했다. 이 결과는 운동 후 저혈압 효과로 다른 선행연구에서도 보고되었다(Araujo et al., 2014; Maior et al., 2015; Neto et al., 2015). 예를 들어, Araujo et al.(2014)은 14명의 고혈압자에서 혈류제한 운동 후 회복 60분까지 SBP의 감소를 입증했다. 따라서 BP를 낮추기 위해 혈류제한이 있거나 없는 저항운동을 권장하고 있다.

최근 혈류제한의 실시에 주의할 필요가 있는 생리적 현상으로서 골격근의 EPR에 대한 관심이 요구되고 있다(Spranger et al., 2015). 운동 생리학에서는 혈류제한 운동을 포함하여 EPR이 신체활동에 대한 심혈관의 혈액학반응을 결정한다고 하였다. 이 반응은 교감신경계의 과민반응이 특징이며 BP를 포함한

HR의 증가를 설명할 수 있다(Mitchell, 2017). EPR의 조절인자로 metaboreflex 및 muscle mechanoreflex가 모두 골격근의 커프압력에 의해 혈류제한 운동 중에 증가한다(Renzi, Tanaka, & Sugawara, 2010). 혈류제한이 EPR에서 역할을 수행하는지에 대한 증거는 아직 밝혀지지 않았다.

대부분의 선행연구에서는 혈류제한을 사용한 하지운동 직후 최소 10분 동안 SBP에 변화가 없음을 보여주었다(Tomschi et al., 2018). 그러나 Heffernan et al.(2007)은 혈류제한없이 하지운동 20분 후 SBP가 현저하게 감소한 것을 보고했다. 운동 중 SBP의 증가는 EPR로 인한 것으로 여겨지며, 이는 Group III 및 IV로 알려진 기계적반사(혈관 압박) 및 대사반사(대사산물 축적)의 자극으로 인해 혈류제한 상태에서도 발생한다(Kaufman et al., 1984). 그러나 SBP의 변화 정도는 운동량, 강도, 반복 횟수 및 커프의 압력과 너비에 따라 달라질 수 있기 때문에 SBP의 변화를 비교하는 것은 매우 어렵다.

본 연구는 혈류제한의 유·무에 따른 하지운동 후 회복 시 DBP가 유의하게 감소했으며 각각 회복 10분에서 안정 시 수준으로 돌아왔다. Figueroa, & Vicil (2011)은 혈류제한의 유·무에 따른 하지운동 직후에 SBP와 DBP가 유의하게 증가했다고 보고했지만, 회복 30분 동안 안정 시 수준으로 돌아왔다.

운동으로 인한 MAP의 유의한 상승은 비혈류제한에 비해 혈류제한 운동에서 높게 나타났다. 두 세션 사이에 CO가 비슷하게 증가했지만, 혈류제한으로 운동하는 동안 SV는 변화가 없었고 HR은 증가하였다. 이러한 혈액학적 결과는 심혈관 기능이 부족한 사람들에게 순환적인 어려움을 제공할 수 있다고 사료된다. HR은 운동 상황에서 쉽게 추적할 수 있는 심혈관의 혈액학반응의 변수이며, BP도 측정할 때 RPP를 결정할 수도 있다(Neto et al., 2016; Matos-Santos et al., 2017).

본 연구에서 HR은 상지운동과 하지운동 모두 혈류제한이 비혈류제한에 비해 유의한 HR 증가를 나타냈다. 특히 상지운동에 비해 하지운동을 수행하는

동안 더 높은 HR을 유도한 차이는 압력반사에 기인할 수 있다(Spranger et al., 2015). 따라서 혈류제한이 있는 저강도 하지운동(20~40% 1-RM)은 심혈관의 혈역학반응의 급성 증가와 관련이 있다고 사료된다.

운동 중 활동적인 골격근의 산소 요구량 증가는 중추 및 말초혈관 반응과 일치한다. HR과 SV는 혈관 저항에 의해 분포되는 CO를 결정한다(Hogan, 2009). 혈류제한을 조절하는 기전에는 중추 신경계(교감신경의 조절)와 국소(정맥 및 동맥) 및 국소 기전(모세 혈관)에서 발생하는 말초 피드백이 포함된다(Murrant, & Sarelius, 2015).

종합해 보면 혈류제한에 따른 상지와 하지운동과 회복기의 심혈관 혈역학반응 중 DBP, MAP의 증가가 나타났으며, 특히 하지운동보다는 상지운동에서 높은 TPR이 나타났다<Table 11>. 이는 본 연구에서 나타난 상지운동 후 동맥경직도의 증가와 관련이 있을 것으로 설명할 수 있다<Table 9>.

5. 혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈역학반응 비교

혈류제한을 사용한 저항운동의 주요 장점은 고강도 운동의 효과와 유사하여 저강도에서도 효과를 이끌어 낸다는 것이다(Thiebaud et al., 2016). 근 기능 향상을 위한 정확한 기전은 알려져 있지 않지만, type II 근섬유의 개선(Yasuda et al., 2009)과 증가된 대사산물 축적 및 국소 저산소증(Scott, Slattery, Slattery, & Dascombe, 2014)이 포함된다. 또한, 혈류제한 운동이 기존의 고강도 운동보다 성장호르몬을 크게 증가시킴으로써 내분비 반응을 나타낼 수 있다(Pierce, Clark, Ploutz-Snyder, & Kanaley, 2006).

이와 더불어 혈류제한의 심혈관의 혈역학반응은 운동 중에 사용되는 근육량

의 영향을 받을 수도 있다. 심혈관 시스템은 운동 중에 절대적으로 필요하지 않은 근육 및 혈관 수축 혈관에 혈관 확장을 통해 반응한다(Smith, & Fernhall, 2011). 본 연구에서 혈류제한의 운동 시 상지운동과 하지운동 심혈관의 혈역학반응에서 DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 유의한 차이가 나타났다 ($p < .05$).

혈류제한에 따른 하지에서의 혈역학반응으로 DBP, MAP, HR, CO의 증가는 저강도의 저항성운동으로도 상지운동보다 더 효율적인 혈역학반응을 나타냈다 (Neto et al, 2017). 또한 혈류제한에 따른 하지운동에서는 TPR이 오히려 상지운동보다 유의하게 감소하여 혈관확장의 긍정적인 결과를 확인할 수 있었다. 혈류제한을 이용한 하지운동은 종합적인 혈역학반응이 관여하면서 운동의 효과를 극대화하기 위한 순환과정을 나타낸 것으로 보인다. 이때 TPR의 감소를 통한 혈관확장은 혈관내피세포기능의 개선으로 인한 말초동맥의 탄성 (compliance)을 보다 용이하게 할 것이다. Raimis et al(2020)의 연구에서는 고강도 저항운동 집단과 혈류제한을 시킨 저강도 저항운동 집단에서의 혈관내피세포기능을 평가했을 때 저강도 저항운동 혈류제한 집단이 고강도 저항운동 집단과 같은 혈관내피세포 기능의 향상을 보였다. 이는 혈류제한을 이용한 저강도 운동의 임상적 중요성을 강조한다.

혈류제한은 근육 내의 저산소환경, 신경근 활동의 강화, 내분비계의 활성화, 근비대의 효과가 있다. 혈류제한은 정맥환류를 제한시키기 때문에 울혈이 나타나고, 울혈이 된 상태에서 운동을 하면 저산소환경, 대사산물의 축적이 나타나 낮은 강도에서도 유산소성으로부터 무산소성의 대사전환이 나타날 가능성이 있다. 즉 본 연구에서 나타난 결과로 혈류제한을 이용할 때 상지 보다는 하지운동의 적용이 더 효과적인 혈역학반응이 나타나 향후 노인이나 심혈관계 질환의 위험요인을 갖고 있는 사람에게 권고될 수 있다.

6. 비혈류제한 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관 혈액학반응 비교

HR, SBP, DBP 및 MAP는 전통적인 저항운동, 특히 등척성 수축을 포함하는 경우 크게 증가한다(Haslam, McCartney, Mckelvie, & Macdougall, 1988). 저항운동 중 심혈관의 혈액학반응의 변화는 관련된 근육량, 근 긴장, 절대 강도(들어 올린 무게) 및 지속 시간에 따라 다르기 때문에 비혈류제한의 저항운동은 혈류제한을 이용한 저항운동에 비해 심혈관 시스템에 더 많은 수요를 생성할 것으로 예상된다.

본 연구에서 비혈류제한에 따른 상지운동과 하지운동의 운동 시와 회복 시 심혈관의 혈액학반응의 변화는 DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 시기와 집단의 상호작용이 나타났다($p < .05$). 즉 하지운동 후 SBP를 제외한 대부분의 혈액학반응에서 높은 혈류의 순환을 보였으며, TPR 또한 낮아졌다. Takano et al.(2005)의 연구에서 비혈류제한 또는 혈류제한(160~180 mmHg)을 사용하여 20% 1-RM (1 x 30 반복, 3세트)에서 하지운동을 실시했다. 그 결과, HR, SBP, DBP 및 MAP는 비혈류제한과 혈류제한 모두 유의하게 증가했지만, 혈류제한에서 더 크게 나타났다. 이는 비혈류제한에 비해 혈류제한을 사용하는 동안 HR 및 BP가 더 높았다는 견기 선행연구에도 뒷받침된다(Abe et al., 2010, Loenneke et al., 2011).

본 연구에서 저항성 운동 시 하지에서 높은 혈액학반응을 보인 것은 하지근육량이 상대적으로 높고(Blomqvist., Lewis., Taylor, & Graham, 1981), 하지 근육 내 긴장도가 더 높은 반응을 나타낼 수 있다(Clarys., Cabri, & Gregor, 1988). 즉 혈류제한을 하지 않았을 때도 하지운동에서 높은 혈액학반응을 보이기 때문에 혈류제한과 함께 낮은 강도의 하지저항성 운동 시 더 높은 혈류제한으로 인한 혈액학반응에 이점이 나타날 수 있다. 이러한 생리학적 반응은

본 연구에서 확인하였으며, 향후 추가적인 임상연구를 고려하여 실제적인 혈류제한의 효과를 검증할 필요가 있다.

VI. 결론

본 연구는 20대 성인여성을 대상으로 혈류제한을 통한 급성 하지 및 상지 저항운동이 성인여성의 맥파속도와 심혈관의 혈역학반응에 미치는 영향을 검토하였다.

1. 혈류제한의 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 상지의 맥파속도는 PWV-L에서 시기의 주효과가 나타났다($p<.05$). 혈류제한의 유·무에 따른 안정 시와 운동 후 회복 시 하지의 맥파속도는 PWV-R, PWV-L에서 시기의 주효과가 나타났으며($p<.05$), PWV-L에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p<.05$).

2. 혈류제한의 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도는 PWV-R과 PWV-L은 시기의 주 효과가 나타났으며($p<.05$), PWV-R과 PWV-L에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p<.05$).

3. 비혈류제한의 안정 시와 운동 후 회복 시 상지와 하지의 맥파속도는 PWV-L에서 시기의 주 효과가 나타났으며($p<.05$), PWV-R과 PWV-L에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p<.05$).

4. 혈류제한의 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 상지의 심혈관의 혈역학반응의 변화는 SBP, DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 시기의 주효과가 나타났으며($p<.05$), DBP, MAP, TPR에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p<.05$). 혈류제한의 유·무에 따른 운동 시와 회복 시 하지의 심혈관의 혈역학반응의 변화는 SBP, DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 시기의 주효과가 나타났으며($p<.05$), DBP, MAP, HR, CO에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p<.05$).

5. 혈류제한의 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관의 혈역학반응의 변

화는 SBP, DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 시기의 주효과가 나타났으며 ($p < .05$), DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p < .05$).

6. 비혈류제한의 운동 시와 회복 시 상지와 하지의 심혈관의 혈역학반응의 변화는 SBP, DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 시기의 주효과가 나타났으며 ($p < .05$), DBP, MAP, SV, HR, CO, TPR에서 시기와 집단 간 상호작용이 유의하게 나타났다($p < .05$).

혈류제한을 적용한 운동은 다양한 사람(노인, 훈련되지 않은 사람, 훈련된 사람 등)의 근비대와 근력 증가로 이어진다는 증거가 축적되었지만, 심혈관의 혈역학반응에 미치는 영향에 대해서는 연구 성과가 다소 부족하다. 또한 혈류제한 운동이 심혈관의 혈역학반응에 미치는 영향은 다양한 평가 방법과 연령, 성별, 운동 유형, 강도, 적용된 커프압력과 같은 다양한 요인에 의해 영향을 받을 수 있다.

본 연구에서는 이상의 결과로부터 혈류제한을 적용한 급성 저항도의 저항운동은 운동 시 HR과 SV의 증가로 CO가 증가하였고, 운동 중에는 TPR의 현저한 감소로 인하여 혈압반응이 안정적으로 되돌아갔다. 이는 저항운동 시 혈류제한으로 인한 대사적수용기의 작용이 원인이 될 수 있다고 사료된다. 이에 혈류제한을 적용한 저항도의 저항운동은 근비대와 근력 증가 뿐 아니라 운동 시와 회복 시에 나타나는 심혈관의 혈역학반응에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 추후 장기적인 혈류제한을 이용한 저항운동의 효과를 증명하는 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- 박승애, 김종경(2011). 폐경전후 여성의 Group III 기계적 수용기 자극 시 운동
승압반사의 비교. *한국간호학회*, 41(2), 191-196.
- 백승희, 최승욱(2012). 동맥경화증 고위험 성인의 규칙적인 운동이 혈압과 동
맥경직도에 미치는 영향. *한국체육과학회*, 2(3), 1017-1025.
- 양윤권(2012). 여대생의 유산소 운동 능력과 상완-발목 맥파속도 및 동맥협착
도의 다차원적 관계. *한국체육과학회*, 21(3), 1115-1125.
- 유승우, 오유성, 천영진(2016). 가압트레이닝과 저항운동이 근기능과 혈관기능
에 미치는 영향 비교. *한국운동재활학회*, 2016(5), 91.
- 이인정(2007). 남녀노인의 우울, 삶의 만족에 대한 심리사회적 요인들의 영향
의 차이에 관한 연구. *한국노인복지학회*, 36, 159-179.
- 전종목, 박원일, 전박근, 김종경, 노호성, 최현민(2009). 단기간의 가압 걷기트
레이닝이 심혈관 기능 및 근 기능에 미치는 영향. *한국생활환경학회*,
16(1), 1-9.
- 질병관리청(2019). 대한민국 질병현황.
- 통계청(2020). 2020 고령자 통계.
- Abe, T., Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Thiebaud, R. S., & Be
mben, M. G. (2012). Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood
flow-restricted limbs and non-restricted muscles: a brief review. *Clinical
Physiology and Functional Imaging*, 32(4), 247-252.
- Abe, T., Sakamaki, M., Fujita, S., Ozaki, H., Sugaya, M., Sato, Y., & Nakajim
a, T. (2010). Effects of low-intensity walk training with restricted leg bl
ood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *Journa
l of Geriatric Physical Therapy*, 33, 34-40.

- Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., & Sato, Y. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “Kaatsu” resistance training. *International Journal of Kaatsu Training Research*, *1*(1), 6-12.
- American College of Sports Medicine. (2006). ACSM’S Advanced Exercise Physiology.
- American College of Sports Medicine. (2009). ACSM’s Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 8th ed. Seattle: Williams & Wilkins.
- American College of Sports Medicine. (2018). ACSM’s Guidelines for Exercise Testing and Prescription (Tenth ed.). Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- Amorim, S., Rolnick, N., Schoenfeld, B. J., & Aagaard, P. (2021). Low-intensity resistance exercise with blood flow restriction and arterial stiffness in humans: A systematic review. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, *31*(3), 498-509.
- Araujo, J. P., Silva, E. D., Silva, J., Souza, T., Lima, E. O., Guerra, I., & Sousa, M. (2014). The acute effect of resistance exercise with blood flow restriction with hemodynamic variables on hypertensive subjects. *J Hum Kinet.* *43*, 79-85.
- Asmar, R., Benetos, A., Topouchian, J., Laurent, P., Pannier, B., Brisac, A. M., Target, R., & Levy, B. I. (1995). Assessment of Arterial Distensibility by Automatic Pulse Wave Velocity Measurement. *Hypertension*, *26*, 485-490.
- Avolio, A. P., Chen, S. G., Wang, R. P., Zhang, C. L., Li, M. F., & O’Rourke, M. F. (1983). Effects of aging on changing arterial compliance and left ventricular load in a northern Chinese urban community. *Circulation*, *68*

81), 50–58.

- Barili, A., Corralo, V. S., Cardoso, A. M., Manica, A., Bonadiman, B. S. R., Bagatini, M. D., Silva-Grigoletto, M. E. D., Oliveira, G. G., & Sa, C. A. (2018). Acute responses of hemodynamic and oxidative stress parameters to aerobic exercise with blood flow restriction in hypertensive elderly women. *Molecular biology reports*, *455*, 1099–1109.
- Belz G. G. (1995). Elastic properties and Windkessel function of the human aorta. *Cardiovascular Drugs and Therapy*, *9*, 73–83.
- Ben-Shlomo, Y., Spears, M., & Boustred, C. (2014). Aortic pulse wave velocity improves cardiovascular event prediction: an individual participant meta-analysis of prospective observational data from 17,635 subjects. *Journal of the American College of Cardiology*, *63*, 636–646.
- Bentes, C. M., Costa, P. B., Neto, G. R., Silva, C. G. V., de Salles, B. F., Miranda, H. L., & Novaes, J. S. (2015). Hypotensive effects and performance responses between different resistance training intensities and exercise orders in apparently health women. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *35*(3), 185–190.
- Bergel, D. H. (1961). The static elastic properties of the arterial wall. *The Journal of Physiology*, *156*(3), 445–457.
- Bertovic, D. A., Waddell, T. K., Gatzka, C. D., Cameron, J. D., Dart, A. M., & Kingwell, B. A. (1999). “Muscular strength training is associated with low arterial compliance and high pulse pressure,” *Hypertension*, *33*(6), 1385–1391.
- Blomqvist, C. G., Lewis, S. F., Taylor, W. F., & Graham, R. M. (1981). Similarity of the hemodynamic response to static and dynamic exercise of small

- l muscle groups. *Circ Res*, 48,187-192.
- Boesen, M. E., Singh, D., Menon, B. K., & Frayne, R. A. (2015). systematic literature review of the effect of carotid atherosclerosis on local vessel stiffness and elasticity. *Atherosclerosis*, 243, 211-222.
- Brandner, C., Kidgell, D., & Warmington, S. (2015). Unilateral bicep curl hemodynamics: Low-pressure continuous vs high-pressure intermittent blood flow restriction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(6), 770-777.
- Broxterman, R. M., Craig, J. C., Smith, J. R., Wilcox, S. L., Jia, C., Warren, S., & Barstow, T. J. (2015). Influence of blood flow occlusion on the development of peripheral and central fatigue during small muscle mass handgrip exercise. *The Journal of Physiology*, 4043-4054. doi:10.1113/JP270424.
- Carter, R., Watenpaugh, D. E., Wasmund, W. L., Wasmund, S. L., & Smith, M. L. (1999). Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans. *American Physiological Society*, 87(4), 1463-1469.
- Casey, D. P., Curry, T. B., Joyner, M. J., Charkoudian, N., & Hart, E. C. (2011). Relationship between muscle sympathetic nerve activity and aortic wave reflection characteristics in young men and women. *Hypertension*, 57(3), 421-427.
- Casey, D. P., Nichols, W. W., & Braith, R. W. (2008). Impact of aging on central pressure wave reflection characteristics during exercise. *American Journal of Hypertension*, 21(4), 419-424.
- Casiglia, E., Tikhonoff, V., Boschetti, G., Giordano, N., Mazza, A., Caffi, S., & Palatini, P. (2013). Arterial stiffness and related variables across menopa

- usal status: an epidemiologic study. *Journal of Women's Health*, 22, 75-84.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100, 126-131.
- Cayot, T. E., Lauver, J. D., Silette, C. R. & Scheuermann, B. W. (2016). Effects of blood flow restriction duration on muscle activation and microvascular oxygenation during low-volume isometric exercise. *Clinical physiology and functional imaging*, 36(4), 298-305.
- Cecelja, M., & Chowienzyk, P. (2012). Role of arterial stiffness in cardiovascular disease. *Journal of the Royal Society of Medicine Cardiovascular Disease*, 1(4). DOI: 10.1258/cvd.2012.012016.
- Clark, B. C., Manini, T. M., Hoffman, R. L., Williams, P. S., Guiler, M. K., Knutson, M. J., McGlynn, M. L & Kushnick, M. R. (2011). Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(5), 653-662.
- Clarys, J. P., Cabri, J., & Gregor, R. J. (1988). The muscle activity paradox during circular rhythmic leg movements. *J Sports Sci*; 6, 229-237.
- Collier, S. R., Diggie, M. D., Heffernan, K. S., Kelly, E. E., Tobin, M. M., & Fernhall, B. (2010). Changes in arterial distensibility and flow-mediated dilation after acute resistance vs. aerobic exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2846-2852.
- Cook, S. B., Clark, B. C., & Ploutz-Snyder, L. L. (2007). Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. *Medicine & S*

- cience in Sports & Exercise*, 39(10), 1708-1713.
- Coote, J. H. (2010). Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. *Experimental physiology*, 95(3), 431-440.
- Cortez-Cooper, M. Y., DeVan, A. E., Anton, M. M., Farrar, R. P., Beckwith, K. A., Todd, J. S., & Tanaka, H. (2005). Effects of high intensity resistance training on arterial stiffness and wave reflection in women. *American Journal of Hypertension*, 18(7), 930-934.
- Corvino, R. B., Rossiter, H. B., Loch, T., Martins, J. C., & Caputo, F. (2017). Physiological responses to interval endurance exercise at different levels of blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, 117(1), 39-52.
- Credeur, D. P., Miller, S. M., Jones, R., Stoner, L., Dolbow, D., Fryer, S., Stone, K., & McCoy, S. (2018). Impact of prolonged sitting on peripheral and central vascular health. *The American Journal of Cardiology*, 1-7.
- Cumming, K. T., Paulsen, G., Wernbom, M., Ugelstad, I., & Raastad, T. (2014). Acute response and subcellular movement of HSP27, alphaB-crystallin and HSP70 in human skeletal muscle after blood-flow-restricted low-load resistance exercise. *Acta Physiol.* 211, 634-646.
- de Oliveira, M. F., Caputo, F., Corvino, R. B., & Denadai, B. S. (2016). Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(9), 1017-1025.
- Dicarlo, S. E., & Bishop, V. S. (1992). Onset of exercise shifts operating point of arterial baroreflex to higher pressures. *American Journal of Applied Physiology*, 262, H303-H307.

- Dogui, A., Kachenoura, N., Frouin, F., Lefort, M., De Cesare, A., Mousseaux, E., & Herment, A. (2011). Consistency of aortic distensibility and pulse wave velocity estimates with respect to the Bramwell-Hill theoretical model: a cardiovascular magnetic resonance study. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance, 13*(1), 11. doi: 10.1186/1532-429X-13-11.
- Fahs, C. A., Heffernan, K. S., Ranadive, S. J. S. Y., & Fernhall, B. (2010). “Muscular strength is inversely associated with aortic stiffness in young men,” *Medicine and Science in Sports and Exercise, 42*(9), 1619-1624.
- Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Rossow, L. M., Tiebaud, R. S., & Bemben, M. G. (2012). Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *Journal of Trainology, 1*(1), 14-22.
- Fahs, C. A., Rossow, L. M., & Seo, D. I. (2011). “Effect of different types of resistance exercise on arterial compliance and calf blood flow” . *European Journal of Applied Physiology, 111*(12), 2969-2975.
- Fahs, C. A., Rossow, L. M., & Thiebaud, R. S. (2014). Vascular adaptations to low-load resistance training with and without blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol, 114*(4), 715.
- Fahs, C. A., Rossow, L. M., & Loenneke, J. P. (2012). “Effect of different types of lower body resistance training on arterial compliance and calf blood flow” . *Clinical Physiology and Functional Imaging, 32*(1), 45-51.
- Figuroa, A., & Vicil, F. (2011). Post-exercise aortic hemodynamic responses to low-intensity resistance exercise with and without vascular occlusion. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 21*(3), 431-436.
- Fry, C. S., Glynn, E. L., Drummond, M. J., Timmerman, K. L., Fujita, S., Abe, T., Dhanani, S., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2010). Blood flow restrict

- ion exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *Journal of Applied Physiology*, *108*(5), 1199–1209.
- Fuchs, F. D., & Whelton, P. K. (2020). High blood pressure and cardiovascular disease. *Hypertension*, *75*(2), 285–292.
- Fujita, T., Brechue, W., Kurita, K., Sato, Y., & Abe, T. (2008). Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. *International Journal of Kaatsu Training Research*, *4*, 1–8.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., & Swain, D. P. (2011). Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *43*, 1334–1359.
- Green, D. J., Rowley, N., Spence, A., Carter, H., Whyte, G., George, K., Naylor, L. H., Cable, N. T., Dawson, E. A., & Thijssen, D. H. (2013). Why isn't flow-mediated dilation enhanced in athletes? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *45*, 75–82.
- Hackney, K. J., Everett, M., Scott, J. M., & Ploutz-Snyder, L. (2012). Blood flow-restricted exercise in space. *Extreme Physiology & Medicine*, *1*(1), 1–2. doi: 10.1186/2046-7648-1-12.
- Hansen, T. W., Staessen, J. A., & Torp-Pedersen, C. (2006). “Prognostic value of aortic pulse wave velocity as index of arterial stiffness in the general population,” *Circulation*, *113*(5), 664–670.
- Haslam, D. R. S., McCartney, N., Mckelvie, R. S., & Macdougall, J. D. (1988)

- Direct measurements of arterial blood pressure during formal weight lifting in cardiac patients. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 8, 213.
- Heffernan, K. S., Collier, S. R., Kelly, E. E., Jae, S. Y., & Fernhall, B. (2007). Arterial stiffness and baroreflex sensitivity following bouts of aerobic and resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 197-203.
- Heffernan, K. S., Jae, S. Y., Echols, G. H., Lepine, N. R., & Fernhall, B. (2007). "Arterial stiffness and wave reflection following exercise in resistance-trained men," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 39 (5), 842-848.
- Hoeger, W. W. K., Hopkins, D. R., Barette, S. L., & Hale, D. F. (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: A comparison between untrained and trained males and females. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 4(2), 47-54.
- Hogan, T. S. (2009). Exercise-induced reduction in systemic vascular resistance: a covert killer and an unrecognised resuscitation challenge?. *MEDICAL HYPOTHESES*. 7(4), 479-484.
- Hunt, J. E. A., Stodart, C & Ferguson, R. A. (2016). The influence of participant characteristics on the relationship between cuff pressure and level of blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, 116, 1421-1432.
- Hurley, B. F., & Roth, S. M. (2000). Strength training in the elderly: effects on risk factors for age-related diseases. *Sports Medicine*, 30(4), 249-268.
- Iida, H., Kurano, M., Takano, H., Kubota, N., Morita, T., Meguro, K., Sato, Y.,

- Abe, T., Yamazaki, Y., Uno, K., Takenaka, K., Hirose, K., & Nakajima, T. (2007). Hemodynamic and neurohumoral responses to the restriction of femoral blood flow by Kaatsu in healthy subjects. *European Journal of Applied Physiology*, *100*(3), 275-285.
- Ishii, N. (2004). Kaatsu training mechanism. *Clinics in Sports Medicine*, *21*, 215-223.
- Jessee, M. B., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Counts, B. R., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2016). The influence of cuff width, sex, and race on arterial occlusion: Implications for blood flow restriction research. *Sports Medicine*, *46*, 913-921.
- Jessee, M. B., Mouser, J. G., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Mattocks, K. T., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2018). Effects of load on the acute response of muscles proximal and distal to blood flow restriction. *The Journal of Physiological Sciences*, 1-11. doi:10.1007/s12576-018-0593-9.
- Kaufman, M. P., Rybicki, K. J., Waldrop, T. G., & Ordway, G. A. (1984). Effect of ischemia on responses of group III and IV afferents to contraction. *Journal of applied physiology*, *57*, 644-650.
- Kilgas, M. A., McDaniel, J., Stavres, J., Pollock, B. S., Singer, T. J., & Elmer, S. J. (2018). Limb blood flow and tissue perfusion during exercise with blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, 1-11.
- Kim, S. J., Sherk, V. D., Bemben, M. G., & Bemben, D. A. (2009). "Effects of short-term, low-intensity resistance training with vascular restriction on arterial compliance in untrained young men," *International Journal of Kaatsu Training Research*, *5*(1), 1-8.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training

- g: progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *36*, 674–688.
- Krogh, A., & Lindhard, J. (1917). A comparison between voluntary and electrically induced muscular work in man. *The Journal of Physiology*, *51*, 182–201.
- Kuecherer, H. F., Just A., & Kirchheim H. (2000). Evaluation of aortic compliance in humans. *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*, *278*, H1411-H1413.
- Ladlow, P., Coppack, R. J., Dharm-Datta, S., Conway, D., Sellon, E., Patterson, S. D., & Bennett, A. N. (2018). Low-load resistance training with blood flow restriction improves clinical outcomes in musculoskeletal rehabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Frontiers in Physiology*, *9*, 1269. doi: 10.3389/fphys.2018.01269.
- Laurent, S. Boutouyrie, P., & Asmar R. (2001) “Aortic stiffness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients,” *Hypertension*, *37*(5), 1236–1241.
- Laurent, S., Alivon, M., Beaussier, H., & Boutouyrie, P. (2012). Aortic stiffness as a tissue biomarker for predicting future cardiovascular events in asymptomatic hypertensive subjects. *Annals of medicine*. *44*(1), 93–97.
- Laurent, S., Cockcroft, J., Van Bortel, L., Boutouyrie, P., Giannattasio, C., Hayoz, D., Pannier, B., Vlachopoulos, C., Wilkinson, I., & Struijker-Boudier, H. (2006). European Network for Non-invasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications. *European Heart Journal*, *27*, 2588–2605.
- Lee, M., & Carroll, T. J. (2007). Cross education: possible mechanisms for the

- contralateral effects of unilateral resistance training. *Sports Medicine*, 37 (1), 1-14.
- Lefferts, W. K., Augustine, J. A., & Heffernan, K. S. (2014). Effect of acute resistance exercise on carotid artery stiffness and cerebral blood flow pulsatility. *Frontiers in Physiology*, 19(5), 101. doi: 10.3389/fphys.2014.00101.
- Lind, A. R., & McNicol, G. W. (1967). Circulatory responses to sustained hand-grip contractions performed during other exercise, both rhythmic and static. *The Journal of Physiology*, 19(3), 595-607.
- Liu, S., Kim, E. D., Wu, A., Meyer, M. L., Cheng, S., Hoogeveen, R. C., Ballantyne, C. M., Tanaka, H., Heiss, G., Selvin, E., & Matsushita, K. (2019). Central and peripheral pulse wave velocity and subclinical myocardial stress and damage in older adults. *PLoS ONE*, 14, e0212892.
- Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Laurentino, G., Libardi, C. A., Aihara, A. Y., Cardoso, F. N., Tricoli, V & Roschel, H. (2015). Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 115(12), 2471-2480.
- Loenneke, J. P., Balapur, A., Thrower, A. D., Barnes, J. T., & Pujol, T. J. (2011). The perceptual responses to occluded exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 181-184.
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Sherk, V. D., Thiebaud, R. S., Abe, T., Bembien, D. A., & Bembien, M. G. (2012a). Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 2903-2912.

- Loenneke, J. P., Kearney, M. L., Thrower, A. D., Collins, S., & Pujol, T. J. (2010). The acute response of practical occlusion in the knee extensors. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *24*, 2831-2834.
- Loenneke, J. P., Kim, D., Fahs, C., Thiebaud, R. S., Abe, T., Larson, R. D., Bembem, D. A., Bembem, M. (2015). Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation. *Muscle & Nerve*, *51*(5), 713-721.
- Loenneke, J. P., Loprinzi, P. D., Abe, T., Thiebaud, R. S., Allen, K. M., Grant Mouser, J., & Bembem, M. G. (2016). Arm circumference influences blood pressure even when applying the correct cuff size: is a further correction needed? *International Journal of Cardiology*, *202*, 743-744.
- Loenneke, J. P., Thiebaud, R., & Abe, T. (2014). Does blood flow restriction result in skeletal muscle damage? A critical review of available evidence. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *24*(6), 415-422.
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Marín, P. J., Zourdos, M. C., & Bembem, M. G. (2012b). Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(5), 1849-1859.
- Lopes, K. G., Farinatti, Bottino, D. A., DE Souza, M. DAS. G. C., Maranhao, P. A., Bouskela, E., Lourenco, R. A., & DE Oliveira, R. B. (2021). Does Resistance Training with blood flow restriction affect blood pressure and cardiac autonomic modulation in older adults?. *International journal of exercise science*, *14*(3), 410-422.
- Madarambe, H., Neya, M., Ochi, E., Nakazato, K., Sato, Y., & Ishii, N. (2008). Cross-transfer effects of resistance training with blood flow restriction. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *40*, 258-263.

- Maiores, A. S., Simao, R., Martins, M., De Salles, B. F., & Willardson, J. (2015). Influence of blood flow restriction during low-intensity resistance exercise on the postexercise hypotensive response. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 29*(10), 2894-2899.
- Mancia, G., De Backer, G., & Dominiczak, A. (2007). Guidelines for the management of arterial hypertension: the Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of European Society of Cardiology (ESC). *Journal of Hypertension, 25*, 1105-1187.
- Matos-Santos, L., Farinatti, P., Borges, J. P., Massaferrri, R., & Monteiro, W. (2017). Cardiovascular responses to resistance exercise performed with large and small muscle mass. *International Journal of Sports Medicine, 38*, 883-889.
- Matsui, Y., Kario, K., Ishikawa, J., Eguchi, K., Hoshide, S., & Shimada, K. (2004). Reproducibility of Arterial Stiffness Indices (Pulse Wave Velocity and Augmentation Index) Simultaneously Assessed by Automated Pulse Wave Analysis and Their Associated Risk Factors in Essential Hypertensive Patients. *Hypertension Research, 27*, 851-857.
- Matsukawa, K., Wall, P. T., Wilson, L. B., & Mitchell, J. H. (1994). Reflex stimulation of cardiac sympathetic nerve activity during static muscle contraction in cats. *American Journal of Physiology, 267*(2), H821-827.
- Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Counts, B. R., Buckner, S. L., Grant Mouser, J., Dankel, S. J., Laurentino, G. C., & Loenneke, J. P. (2017). The effects of upper body exercise across different levels of blood flow restriction on arterial occlusion pressure and perceptual responses. *Physiology & Behavior*

- havior, 171*, 181-186.
- May, A. K., Brandner, C. R., & Warmington, S. A. (2017). Hemodynamic responses are reduced with aerobic compared with resistance blood flow restriction exercise. *Physiological Reports, 5*(3), e13142. doi: 10.14814/phy2.13142.
- McEwen, J. A., Owens, J. G., & Jeyasurya, J. (2018). Why is it crucial to use personalized occlusion pressures in blood flow restriction rehabilitation? *Journal of Medical and Biological Engineering, 39*, 7-11.
- Millasseau, S. C., Stewart, A. D., Patel, S. J., Redwood, S. R., & Chowienczyk, P. J. (2005). Evaluation of carotid-femoral pulse wave velocity: influence of timing algorithm and heart rate. *Hypertension, 45*(2), 222-226.
- Milliken, L. A., Going, S. B., Houtkooper, L. B., Flint-Wagner, H. G., Figueroa, A., Metcalfe, L. L., Blew, R. M., Sharp, S. C., & Lohman, T. G. (2003). Effects of exercise training on bone remodeling, insulin-like growth factors, and bone mineral density in postmenopausal women with and without hormone replacement therapy. *Calcified Tissue International, 72*(4), 478-484.
- Mitchell, G. F., Parise, H., Benjamin, E. J., Larson, M. G., Keyes, M. J., Vita, J. A., Vasan, R. S., & Levy, D. (2004). Changes in arterial stiffness and wave reflection with advancing age in healthy men and women: the Framingham Heart Study. *Hypertension, 43*(6), 1239-1245.
- Mitchell, J. H. (2017). Abnormal cardiovascular response to exercise in hypertension: contribution of neural factors. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 312*(6), R851-R863.
- Mitchell, J. H., Kaufman, M. P., & Iwamoto, G. A. (1983). The exercise pressor

- r reflex: its cardiovascular effects, afferent mechanisms, and central pathways. *Annual Review of Physiology*, 45, 229-242.
- Miyachi, M. (2013). Effects of resistance training on arterial stiffness: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 47, 393-396.
- Mons, U., Hahmann, H., & Brenner, H. (2014). A reverse J-shaped association of leisure time physical activity with prognosis in patients with stable coronary heart disease: evidence from a large cohort with repeated measurements. *Heart*, 100(13), 1043-1049.
- Moreira, O. C., Faraci, L. L., De Matos, D. G., Mazini Filho, M. L., Da Silva, S. F., Aidar, F. J., Hickner, R. C., & De Oliveira, C. E. (2015). Cardiovascular responses to unilateral, bilateral, and alternating limb resistance exercise performed using different body segments. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(3), 644-652.
- Mouser, G. J., Mattocks, K. T., Dankel, S. L., Buckner, S. L., Jessee, M. B., Bell, Z. W., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2019). Very low load resistance exercise in the upper body with and without blood flow restriction: Cardiovascular outcomes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 288-292. doi:10.1139/apnm-2018-0325.
- Munir, S., Jiang, B., Guilcher, A., Brett, S., Redwood, S., Marber, M & Chowieńczyk, P. (2008). Exercise reduces arterial pressure augmentation through vasodilation of muscular arteries in humans. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 294(4), H1645-1650.
- Murrant, C & Sarelius, L. H. (2015). Local control of blood flow during active hyperaemia: what kinds of integration are important?. *The Journal of physiology*. 593(21), 4699-4711.

- Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., K., Sato, M. Y., & Nagata, T. (2006). Use and safety of Kaatsu training: results of a national survey. *International Journal of Kaatsu Training Research*, 2(1), 5-13.
- Nakajima, T., Takano, H., Kurano, M., Iida, H., Kubota, N., Yasuda, T., Kato, M., Meguro, K., Sato, Y., Yamazaki, Y., Kawashima, S., Ohshima, H., Tachibana, S., Nagata, T., Abe, T., Ishii, N., Morita, T., & Yamazaki, Y. (2007). Effects of Kaatsu training on haemostasis in healthy subjects. *International Journal of Kaatsu Training Research*, 2(1), 11-20.
- Neto, G. R., Novaes, J. S., Dias, I., Brown, A., Vianna, J., & Cirilo-Sousa, M. S. (2017). Effects of resistance training with blood flow restriction on hemodynamics: a systematic review. *in Physiol Funct Imaging*, 37(6):567-574.
- Neto, G. R., Sousa, M. S., Costa e Silva, G. V., Gil, A. L., Salles, B. F., & Novaes, J. S. (2016). Acute resistance exercise with blood flow restriction effects on heart rate, double product, oxygen saturation and perceived exertion. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 36(1), 53-59.
- Neto, G. R., Sousa, M., Costa, P. B., De Salles, B. F., Novaes, G., & Novaes, J. (2015). Hypotensive effects of resistance exercises with blood flow restriction. *J Strength Cond Res*. 29(4), 1064-1070.
- Nichols, W. W., & O'Rourke, M. F. (1998). McDonald's blood flow in arteries: theoretical, experimental, and clinical principles. 5th ed. Hodder Arnold, London.
- Nielsen, J. L., Aagaard, P., Prokhorova, T. A., Nygaard, T., Bech, R. D., Suett, C., et al. (2017). Blood flow restricted training leads to myocellular m

- acrophage infiltration and upregulation of heat shock proteins, but no apparent muscle damage. *J. Physiol.* 595, 4857–4873.
- Nordstrand, N., Gjevestad, E., Dinh, K. N., Hofso, D., Roislien, J., Saltvedt, E., Os, I., & Hjelmessaeth, J. (2011). The relationship between various measures of obesity and arterial stiffness in morbidly obese patients. *BMC Cardiovascular Disorders*, 11, 7.
- Ohta, H., Kurosawa, H., Ikeda, H., Iwase, Y., Satou, N., & Nakamura, S. (2003). Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthopaedica*, 74, 62–68.
- Okamoto, T., Masuhara, M., & Ikuta, K. (2009). Upper but not lower limb resistance training increases arterial stiffness in humans. *Eur J Appl Physiol*, 107, 127–134.
- O’Leary, D. S. (1993). Autonomic mechanisms of muscle metaboreflex control of heart rate. *Journal of Applied Physiology*, 74, 1748–1754.
- O’Rourke, M. (1990). Arterial stiffness, systolic blood pressure, and logical treatment of arterial hypertension. *Hypertension*, 15(4), 339–347.
- Otsuki, T., Maeda, S., & Iemitsu, M. (2007). “Relationship between arterial stiffness and athletic training programs in young adult men,” *American Journal of Hypertension*, 20(9), 967–973.
- Paton, C. D., Addis, S. M., & Taylor, L. A. (2017). The effects of muscle blood flow restriction during running training on measures of aerobic capacity and run time to exhaustion. *European journal of applied physiology*, 117(17), 2579–2585.
- Patterson, S. D., & Brandner, C. R. (2018). The role of blood flow restriction

- training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *Journal of Sports Sciences*, *36*(2), 123-130.
- Patterson, S. D., & Ferguson, R. A. (2010). Increase in calf post-occlusive blood flow and strength following short-term resistance exercise training with blood flow restriction in young women. *European Journal of Applied Physiology*, *108*(5), 1025-1033.
- Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., & Loenneke, J. (2019). Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, *Application, and Safety*. *Front. Physiology*, *15*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>.
- Pierce, J. R., Clark, B. C., Ploutz-Snyder, L. L., & Kanaley, J. A. (2006). Growth hormone and muscle function responses to skeletal muscle ischemia. *Journal of Applied Physiology*, *101*(6), 1588-1595.
- Poleszczuk, J., Debowska, M., Dabrowski, W., Wojcik-Zaluska, A., Zaluska, W., & Waniewski, J. (2018). Subject-specific pulse wave propagation modeling: Towards enhancement of cardiovascular assessment methods. *PLoS ONE*, *13*, e0190972.
- Pope, Z. K., Willardson, J. M., & Schoenfeld, B. J. (2013). Exercise and blood flow restriction. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27*(10), 2914-2926.
- Position-Stand. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *41*(3), 687-708.
- Poton, R., & Polito, M. D. (2016). Hemodynamic response to resistance exerci

- se with and without blood flow restriction in healthy subjects. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 36(3), 231-236.
- Ramis, T. R., Muller, C. H. L., Boeno, F. P., Teixeira, B. C., Rech, A., Pompe rmayer, M.G., Medeiros, N. D. S., Oliveira, Á. R., Pinto, R. S., Ribeiro, J. L. (2020). Effects of Traditional and Vascular Restricted Strength Training Program With Equalized Volume on Isometric and Dynamic Strength, Muscle Thickness, Electromyographic Activity, and Endothelial Function Adaptations in Young Adults. *J Strength Cond Res*, 34(3):689-698.
- Raven, P. B. (2012). Neural control of the circulation: exercise. *Experimental Physiology*, 97, 10-13.
- Renzi, C. P., Tanaka, H., & Sugawara, J. (2010). Effects of leg blood flow restriction during walking on cardiovascular function. *Med Sci Sports Exerc*. 42(4), 726-32.
- Rossow, L. M., Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Sherk, V. D., Abe, T., & Bemben, M. G. (2012). Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 32(5), 331-337.
- Rossow, L. M., Fahs, C. A., Sherk, V. D., Seo, D. I., Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2011). “The effect of acute blood-flow-restricted resistance exercise on post exercise blood pressure,” *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 31(6), 429-434.
- Sato, Y. (2005). The history and future of Kaatsu training. *International Journal of Kaatsu Training Research*, 1(1), 1-5.
- Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise with blood flow restriction: an updated evidence based approach for enhanced muscular development. *Sports Medicine*, 45(3), 313-325.

- Scott, B. R., Slattery, K. M., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2014). Hypoxia and resistance exercise: a comparison of localized and systemic methods. *Sports Medicine*, *44*(8), 1037-1054.
- Smith, D. L., & Fernhall, B. (2011). *Advanced Cardiovascular Exercise Physiology*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Spranger, M. D., Krishnan, A. C., Levy, P. D., O'Leary, D. S., & Smith, S. A. (2015). Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex: a call for concern. *American Physiological Society*, *309*, H1440-H1452.
- Stratton, J. R., Levy, W. C., Cerqueira, M. D., Schwartz, R. S., & Abrass, I. B. (1994). "Cardiovascular responses to exercise: effects of aging and exercise training in healthy men," *Circulation*, *89*(4), 1648-1655.
- Strock, P., & Majno, G. (1969). Microvascular changes in acutely ischemic rat muscle. *Surgery, Gynecology & Obstetrics*, *129*(6), 1213.
- Suga, T., Okita, K., Takada, S., Morita, N., Yokota, T., Hirabayashi, K., Horiuchi, M., Takada, S., Takahashi, M., Omokawa, M., Kinugawa, S., & Tsutsui, H. (2009). Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *Journal of Applied Physiology*, *106*(4), 1119-1124.
- Suga, T., Okita, K., Takada, S., Omokawa, M., Kadoguchi, T., Yokota, T., Hirabayashi, K., Takahashi, M., Morita, N., Horiuchi, M., Kinugawa, S., & Tsutsui, H. (2012). Effect of multiple set on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*, *112*, 3915-3920.
- Sumide, T., Sakuraba, K., Ohmura, H., & Sawaki, K. (2007). Effect of resistance exercise training combined with relatively low vascular occlusion. *Journal of Applied Physiology*, *97*, 1115-1122.

- Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 107-112.
- Tai, Y. L., Gerhart, H., Mayo, X., & Kingsley, J. D. (2016). Acute resistance exercise using free weights on aortic wave reflection characteristics. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38, 145-150.
- Tai, Y. L., Marshall, E. M., Parks, J. C., & Kingsley, J. D. (2021). Hemodynamic response and pulse wave analysis after upper- and lower-body resistance exercise with and without blood flow restriction. *European journal of sport science*, 10, 1-10.
- Takano, H., Morita, T., Iida, H., Asada, K., Kato, M., Uno, K., Hirose, K., A., Katsu Takenaka, M., Hirata, Y., Eto, F., Nagai, R., Sato, Y., & Nakajima, T. (2005). Hemodynamic and hormonal responses to a short term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *European Journal of Applied Physiology*, 95, 65-73.
- Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(12), 2035-2039.
- Tanaka H., Dinunno F. A., Monahan K. D., Clevenger C. M., DeSouza C. A., & Seals D. R. (2000) Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*, 102, 1270-5.
- Tanaka, H., & Safar, M. E. (2005). Influence of lifestyle modification on arterial stiffness and wave reflections. *American Journal of Hypertension*, 18(1), 137-144.
- Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Loenneke, J. P., Kim, D., Mouser, J. G., Beck, T. W., Bemben, D. A., Larson, R. D., & Bemben, M. G. (2016). Effects of age on arterial stiffness and central blood pressure af

- ter an acute bout of resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 116(1), 39-48.
- Thiebaud, R. S., Yasuda, T., Loenneke J. P., & Abe, T. (2013). Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on indices of exercise-induced muscle damage. *Interventional Medicine and Applied Science*, 5, 53-59.
- Thomson, J. S., Watson, P. E., & Rowlands, D. S. (2009). Effects of nine weeks of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on strength and body composition in resistance trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(3), 827-835.
- Tomschi, F., Koster, P., Predel, H., Lay, D., Bloch, W & Grau, M. (2018). Acute effects of lower and upper body-resistance training on arterial stiffness, peripheral, and central blood pressure in young normotensive women. *Sport sciences health*, 14, 357-363.
- Umpierre, D., & Stein, R. (2007). Hemodynamic and vascular effects of resistance training: implications for cardiovascular disease. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 89(4), 256-262.
- van de Laar, R. J., Ferreira, I., van Mechelen, W., Prins, M. H., Twisk, J. W., & Stehouwer, C. D. (2011). Habitual physical activity and peripheral arterial compliance in young adults: the Amsterdam growth and health longitudinal study. *American Journal of Hypertension*, 24(2), 200-208.
- Van Den Bos, G. C., Westerhof, N., Elzinga, G., & Sipkema, P. (1976). Reflection in the systemic arterial system: effects of aortic and carotid occlusion. *Cardiovascular Research*, 10(5), 565-573.
- van Popele, N. M., Grobbee, D. E., Bots, M. L., Asmar, R., Topouchian, J.,

- Reneman, R., Hoeks, S. P., van der Kuip, D. A., Hofman, A., & Witteman, J. C. (2001). Association between arterial stiffness and atherosclerosis: the Rotterdam Study. *Stroke*, *32*(2), 454-460.
- Vechin, F. C., Libardi, C. A., Conceicao, M. S., Damas, F. R., Lixandrão, M. E., Ricardo P B Berton, Tricoli, V. A. A., Roschel, H. A., Cavaglieri, C. R., Chacon-Mikahil, M. P. T., & Ugrinowitsch, C. (2015). Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *29*, 1071-1107.
- Vieira, P. J., Chiappa, G. R., Umpierre, D., Stein, R., & Ribeiro, J. P. (2012). Hemodynamic responses to resistance exercise with restricted blood flow in young and older men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *27*(8), 2288-2294.
- Vilaça-Alves, J., Neto, G., & Morgado, N. (2016). Acute Effect of Resistance Exercises Performed by the Upper and Lower Limbs with Blood Flow Restriction on Hemodynamic Responses. *Journal of Exercise Physiology Online*, *19*(3), 100-109.
- Vivodtzev, I., Minet, C., Minet, B., Borel, J., Vottero, G., Monneret, D., Baguet, J., Levy, P & ., Pepin, L. (2010). Significant improvement in arterial stiffness after endurance training in patients with COPD. *Chest*, *137*(3), 585-592.
- Vlachopoulos, C., Aznaouridis, K., Terentes-Printzios, D., Ioakeimidis, N., & Stefanadis, C. (2012). Prediction of Cardiovascular Events and All-Cause Mortality With Brachial Ankle Elasticity Index A Systematic Review and M

- eta-Analysis. *Hypertension*, *60*, 556–562.
- Volianitis, S., Krstrup, P., Dawson, E., & Secher, N. H. (2003). Arm blood flow and oxygenation on the transition from arm to combined arm and leg exercise in humans. *J Physiol*, *547*, 641–648.
- Volkman, A. W. (1841). Ueber die Bewegungen des Athmens und Schluckens, mit besonderer Berücksichtigung neurologischer Streitfragen. *In Medicine*, 332–360.
- Whitlock, M. C., & Hundley, W. G. (2015). Non-invasive imaging of flow and vascular function in disease of the aorta. *JACC: Journal of Cardiovascular Imaging*, *8*, 1094–1106.
- Wilkinson, I. B., Franklin, S. S., Hall, I. R., Tyrrell, S., & Cockcroft, J. R. (2001). Pressure amplification explains why pulse pressure is unrelated to risk in young subjects. *Hypertension*, *38*, 1461–1466.
- Williams, M. A., Haskell, W. L., & Ades, P. A. (2007). “Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism,” *Circulation*, *116*(5), 572–584.
- Yambe, T., Yoshizawa, M., Saijo, Y., Yamaguchi, T., Shibata, M., Konno, S., Nitta, S., & Kuwayama. (2004). Brachio-ankle pulse wave velocity and cardio-ankle vascular index(CAVI). *Biomedicine and Pharmacotherapy*, *58*(1), S95–S98. [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(04\)80015-5](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(04)80015-5).
- Yasuda, T., Brechue, W. F., Fujita, T., Shirakawa, J., Sato, Y., & Abe, T. (2009). Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. *Journal of Sports Sciences*, *27*(5), 479–489.

- Yasuda, T., Fukumura, K., & Fukuda, T. (2014). Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scand J Med Sci Sports*, *24*(5):799-806.
- Yasuda, T., Fukumura, K., Uchida, Y., Koshi, H., Iida, H., Masamune, K., Yamashiro, T., Sato, Y., & Nakajima, T. (2015). Effects of low-load, elastic band and resistance training combined with blood flow restriction on muscle size and arterial stiffness in older adults. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences & Medical Sciences*, *70*, 950-958.
- Younger, A. S., McEwen, J. A., & Inkpen, K. (2004). Wide contoured thigh cuffs and automated limb occlusion measurement allow lower tourniquet pressures. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, *428*, 286-293.

Abstract

Effects of acute upper and lower extremity resistance exercise through blood flow restriction on pulse wave velocity and cardiovascular hemodynamic response in adult women

Park, Choung-Hwa
Depart of Physical Education
(Exercise Physiology)
Graduated School of
SungShin Women' s Univ

The purpose of this study was to compare and contrast pulse wave velocity(PWV) and cardiovascular hemodynamic responses during acute upper and lower resistance exercise and resting with or without blood flow restriction(BFR) in adult women. The subjects were 18 adult women(21.5 ± 2.0 yr) with regular menstrual cycle and no cardiovascular disease. The methodology of this study was a cross-over experimental design. This study consisted of arterial occlusion pressure verification for the right clavicle and femoral artery and two resistance exercises, and the wash-out period was performed at 72-hour intervals. Resistance exercise consisted of 20% 1-RM, 10 repetitions, and 4 sets. For upper extremity resistance exercise, arm curl and bench press exercise, and lower extremity resistance exercise squat and leg extension exercise were performed. As a result, there was an interaction

between PWV-R and PWV-L of the lower extremities according to BFR and non-BFR($p < .05$). Changes in hemodynamic response during exercise and recovery according to the presence or absence of BFR were different in upper extremity resistance exercise(diastolic blood pressure: DBP, mean arterial pressure: MAP, total peripheral resistance: TPR) and lower extremity resistance exercise(DBP, MAP, heart rate: HR, cardiac output: CO)($p < .05$). Changes in hemodynamic response during exercise and recovery of BFR were different in DBP, MAP, stroke volume: SV, HR, CO, and TPR($p < .05$). In non-BFR, DBP, MAP, SV, HR, CO, there was a difference in TPR($p < .05$). In conclusion, in resistance exercise with BFR applied, CO increased due to increase in HR and SV during exercise, and blood pressure response was stably returned due to a significant decrease in TPR during exercise. That could be the cause of the action of metabolic receptors due to BFR during resistance exercise. Therefore, it was judged that low-intensity resistance exercise with BFR had a positive effect on the hemodynamic response of the cardiovascular system during exercise and recovery.

key word: resistance exercise, blood flow restriction, pulse wave velocity, hemodynamic response