



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

김 영 주 교수 지도

석사학위 청구 논문

트레드밀과 자전거 에르고미터의

운동 방법 설정이

심근부담률과 운동자각도에 미치는 영향

2025

성신여자대학교 생애복지대학원

건강운동관리학과

배 주 원

트레드밀과 자전거 에르고미터의
운동방법에 따른
심근부담률과 운동자각도에 미치는 영향

김 영 주 교수 지도

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2025년 05월

성신여자대학교 생애복지대학원
건강운동관리학과
배 주 원

인 준 서

배주원의 석사학위 논문으로 인준함

2025년 7월

심사위원장 성 은 숙 (서명 또는 인)

심사위원 김 영 주 (서명 또는 인)

심사위원 윤 은 선 (서명 또는 인)

성신여자대학교 생애복지대학원

논문개요

본 연구는 심혈관질환이 없는 건강한 20대 남성들을 대상으로, 운동기구별 운동 설정에 따른 심근부담률(rate pressure product, RPP)과 운동자각도(rating of perceived exertion, RPE)에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 트레드밀(Treadmill, TM)에서는 경사도를 0°와 10°로, 자전거 에르고미터(bicycle ergometer, BE)에서는 안장 높이를 조절하여 무릎 최대 신전 각도를 25°와 35°로 설정하고, 각 기구별로 최대 심박수(maximum heart rate, HR_{max})의 50%, 70%, 90% 수준에서 운동을 수행하였다. 운동 중 수축기 및 이완기 혈압, 심박수, 심근부담률, 운동자각도를 측정하고 그 차이를 분석하였다.

연구 결과, 저강도 운동(50%HR_{max})에서는 트레드밀과 자전거 에르고미터 간 수축기 혈압, 심근부담률, 운동자각도에서 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 이완기 혈압은 자전거 에르고미터 조건에서 트레드밀보다 유의하게 낮았다. 반면, 중강도(70%HR_{max}) 운동에서는 트레드밀 0°보다 자전거 에르고미터에서 운동할 시 수축기 혈압이 유의하게 높았으며, 트레드밀보다 자전거 에르고미터에서 운동할 시 이완기 혈압이 유의하게 낮았다. 심근부담률과 운동자각도 수치는 트레드밀 0°보다 자전거 에르고미터에서 운동할 시 유의하게 높았다. 고강도(90%HR_{max}) 운동에서는 트레드밀 0°보다 트레드밀 10°에서 운동할 때, 그리고 자전거 에르고미터에서 운동할 때 유의하게 높은 수축기 혈압을 나타내었다. 또한 트레드밀 10°와 자전거 에르고미터 무릎각도를 25°로 설정하여 운동할 때보다 자전거 에르고미터에서 무릎 각도를 35°로 설정하여 운동할 시 수축기 혈압이 유의하게 높았다. 이완기 혈압은 트레드밀보다 자전거 에르고미터 운동환경에서 유의하게 더 낮았으며 심근부담률은 트

레드밀 0° 보다 트레드밀 10° 와 자전거 에르고미터에서 운동할 시 유의하게 높았다. 마지막으로 운동자각도는 트레드밀 0° 보다 자전거 에르고미터 운동 시 유의하게 높았으며 트레드밀 10° 보다 자전거 에르고미터 무릎각도 35° 일 때 유의하게 높았다.

이러한 결과는 운동강도가 높아질수록 동일한 심박수 기반 운동강도에서도 운동기구의 종류 및 사용 자세, 그리고 그에 따른 세부 설정에 따라 심혈관계 생리 반응이 다르게 나타날 수 있음을 시사한다. 따라서 보다 효과적이고 안전한 고강도 인터벌 트레이닝과 같은 고강도의 운동환경 조성을 위해 운동기구의 적절한 선택뿐 아니라, 경사도나 안장 높이와 같은 변수에 대한 정밀한 세부 설정이 필수적으로 고려되어야 한다. 특히 심혈관 질환자의 경우 과도한 심근 부담률을 낮추어 안전하게 운동하기 위해서는 고강도 운동 시 트레드밀에서는 경사도를 높이기보단 평지에서 진행하는 것을 권장하고, 자전거 에르고미터 운동 시에는 안장 높이를 보다 높게 하여 무릎의 최대 굴곡 각도를 적게 하는 것을 권장한다. 본 연구는 심혈관질환 예방과 재활 운동 처방 시보다 정밀하고 안전한 운동 강도 설정을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

목 차

논문개요

I. 서론	1
1. 연구의 필요성.....	1
2. 연구 목적.....	5
3. 연구 가설.....	6
4. 용어 정의.....	7
5. 연구의 제한점.....	9
II. 이론적 배경	10
1. 심장의 구조 (일반인, 선수별, 심장질환자).....	10
2. 심근부담률과 혈압.....	11
3. 운동강도	14
4. 고강도 인터벌 트레이닝	15
III. 연구방법	17
1. 연구대상자.....	17
2. 연구 절차.....	19
3. 연구 기간.....	20
4. 측정 도구.....	21
5. 실험 과정.....	24

1) 실험 절차.....	24
2) 신체검사: 신장(cm), 체중(kg), BMI(kg/m ²)	25
3) 운동부하 검사.....	25
4) 운동 중 심박수 측정	27
5) 운동 중 혈압 측정	27
6) 심근부담률	28
7) 운동자각도	28
8. 자료 처리.....	30

IV. 연구결과..... 31

1. 50%HR _{max} 에서의 비교.....	31
1) 50%HR _{max} 에서의 SBP(수축기 혈압) 비교.....	31
2) 50%HR _{max} 에서의 DBP(이완기 혈압) 비교.....	33
3) 50%HR _{max} 에서의 RPP(심근부담률) 비교.....	35
4) 50%HR _{max} 에서의 RPE(운동자각도) 비교.....	37
2. 70%HR _{max} 에서의 비교.....	39
1) 70%HR _{max} 에서의 SBP(수축기 혈압) 비교.....	39
2) 70%HR _{max} 에서의 DBP(이완기 혈압) 비교.....	41
3) 70%HR _{max} 에서의 RPP(심근부담률) 비교.....	43
4) 70%HR _{max} 에서의 RPE(운동자각도) 비교.....	45
3. 90%HR _{max} 에서의 비교.....	47
1) 90%HR _{max} 에서의 SBP(수축기 혈압) 비교.....	47
2) 90%HR _{max} 에서의 DBP(이완기 혈압) 비교.....	49

3) 90%HR _{max} 에서의 RPP(심근부담률) 비교	51
4) 90%HR _{max} 에서의 RPE(운동자각도) 비교	53

V. 논의	55
-------------	----

VI. 결론	61
--------------	----

참고문헌

ABSTRACT

표 목 차

표 1. 연구 대상자의 일반적 특성	18
표 2. 연구대상자의 운동강도 별 목표심박수 평균	18
표 3. 연구 기간	20
표 4. 측정 도구	21
표 5. 운동 유형에 따른 50%HR _{max} 의 SBP 차이 비교	32
표 6. 운동 유형에 따른 50%HR _{max} 의 DBP 차이 비교	34
표 7. 운동 유형에 따른 50%HR _{max} 의 RPP 차이 비교	36
표 8. 운동 유형에 따른 50%HR _{max} 의 RPE 차이 비교	38
표 9. 운동 유형에 따른 70%HR _{max} 의 SBP 차이 비교	40
표 10. 운동 유형에 따른 70%HR _{max} 의 DBP 차이 비교	42
표 11. 운동 유형에 따른 70%HR _{max} 의 RPP 차이 비교	44
표 12. 운동 유형에 따른 70%HR _{max} 의 RPE 차이 비교	46
표 13. 운동 유형에 따른 90%HR _{max} 의 SBP 차이 비교	48
표 14. 운동 유형에 따른 90%HR _{max} 의 DBP 차이 비교	50
표 15. 운동 유형에 따른 90%HR _{max} 의 RPP 차이 비교	52
표 16. 운동 유형에 따른 90%HR _{max} 의 RPE 차이 비교	54

그림 목 차

그림 1. 연구 절차.....	19
그림 2. GM-1000 신장체중계 (neoGMTEC, Korea)	22
그림 3. Apple Watch SE2 MRE13KH/A (Apple Inc., USA)	22
그림 4. 아네로이드식 청진혈압계(HS-2000, HONSUN[Nantong] Co., LTD., china)	22
그림 5. 트레드밀 (Model MT750, MOTUS, South Korea)	22
그림 6. 입식 사이클(M660BU, Motus, Korea)	23
그림 7. 관절각도기 EZ Read Jamar Goniometer (Performance Health, USA)	23
그림 8. 호흡가스분석 장치 (Quark CPET system with 12-lead ECG module, Cosmed Co, Italy)	23
그림 9. 트레드밀 (COSMED Treadmill T170 DE, Cosmed Co. Italy)	23
그림 10. Borg의 15단계 척도(Borg, 1970)	29
그림 11. 운동 유형에 따른 50%HR _{max} 의 SBP 차이 비교	32
그림 12. 운동 유형에 따른 50%HR _{max} 의 DBP 차이 비교	34
그림 13. 운동 유형에 따른 50%HR _{max} 의 RPP 차이 비교	36
그림 14. 운동 유형에 따른 50%HR _{max} 의 RPE 차이 비교	38
그림 15. 운동 유형에 따른 70%HR _{max} 의 SBP 차이 비교	40
그림 16. 운동 유형에 따른 70%HR _{max} 의 DBP 차이 비교	42
그림 17. 운동 유형에 따른 70%HR _{max} 의 RPP 차이 비교	44

그림 18. 운동 유형에 따른 70%HR _{max} 의 RPE 차이 비교	46
그림 19. 운동 유형에 따른 90%HR _{max} 의 SBP 차이 비교	48
그림 20. 운동 유형에 따른 90%HR _{max} 의 DBP 차이 비교	50
그림 21. 운동 유형에 따른 90%HR _{max} 의 RPP 차이 비교	52
그림 22. 운동 유형에 따른 90%HR _{max} 의 RPE 차이 비교	54

I. 서론

1. 연구의 필요성

현대사회의 주요 사망 원인으로 심장질환, 뇌혈관질환, 폐렴, 암 등이 보고되고 있으며(통계청, 2022), 최근 5년간 심혈관질환의 유병률은 지속적으로 증가하고 있다(건강보험심사평가원, 2022). 신체활동 부족은 이러한 심뇌혈관질환의 주요 위험 요인 중 하나이다.(ACSM, 2018). 규칙적인 유산소 운동은 부교감신경을 활성화하고 교감신경을 억제함으로써 심박수를 낮추고 심근 부담을 줄이는 데 기여하며(Carter et al, 2003), 안정 시 심박수 및 심근산소 소비량 감소를 통해 심혈관계 건강 유지에 도움을 준다(김철 등, 2000).

이러한 유산소성 운동은 심혈관질환 환자의 조기사망을 예방하고 건강을 개선하는 데 있어서 효과적인 심장재활운동으로 간주된다(Whiteson JH. 2007). AACVPR(American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation)에서 발표된 지침에서는 유산소 운동을 심혈관 환자에게 적극적으로 적용할 것을 권고하고 있으며(AACVPR, 2020), 심혈관질환자의 운동재활은 심장 근육에 적절한 자극을 제공하여 심혈관 위험요인을 관리하고 개별적인 요구에 맞춰 건강교육을 해야 한다고 보고했다(Richardson et al., 2019). 따라서 개인에게 요구되는 가장 효과적인 운동을 위해서는 운동 방법과 강도를 세부적으로 설정하는 것이 중요하다.

운동 방식에 따라 유발되는 생리적 반응에는 명확한 차이가 존재한다. 실제로 기존 연구에 의하면 따르면 트레드밀 운동 시 동일한 운동자각도(RPE) 하에서도 평지보다 경사 10° 조건에서 유의미하게 높은 산소소비량과 심박수가 나타났다고 보고하였다(Green et al., 2002). 또한 Holmes(1994)는 자전

거 운동 시 크랭크 하단에서 무릎 각도를 25° ~35° 로 유지하는 것이 부상 예방에 효과적이라 하였으나, Peveler et al. (2008)의 연구에서는 무릎 각도(25° , 35°)에 따른 산소소비량 차이가 확인되었고, 심박수나 RPE에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다(Peveler et al., 2008). 이처럼 운동 방식에 따른 생리적 반응의 차이를 다룬 선행 연구들은 지속적으로 보고되고 있으나, 그 중 심근 부담률과 관련된 연구는 제한적이다. 특히 고혈압, 심혈관질환자를 대상으로 한 연구에서는 다양한 운동 기구 혹은 기구별 설정에 따른 생리적 반응에 대한 체계적인 검토가 부족한 실정이다.

운동 강도에 대해서, 미국스포츠의학회(ACSM, 2021)에 따르면 심장재활 프로그램에서 트레드밀을 활용한 운동부하검사(graded exercise test, GXT)를 통해 객관적인 심박수 자료로 예비심박수의 50~85% 범위 내에서 운동할 것을 권장하고 있다. (Abell et al., 2017). 그러나 최근에는 지속적 중강도 훈련 방식 외에도 고강도 인터벌 트레이닝(High-intensity interval training)을 심혈관질환자에게 적용하기도 한다(Yue et al., 2022; Gayda et al., 2016). HIIT는 고강도 운동과 회복 구간을 번갈아 수행하는 방식으로, 심혈관 건강을 개선할 수 있는 것으로 평가된다(Tabata et al., 1996; Laursen et al., 2002; Weston et al., 2014). Kessler et al. (2012)은 HIIT가 고혈압 등의 심혈관계 대사질환 위험인자 완화에 기여한다고 밝혔다. Molmen et al. (2012)의 연구에서는 고혈압 환자에게 HIIT를 적용한 결과 수축기혈압은 12mmHg, 이완기혈압은 8mmHg 감소하는 현상이 관찰되었다. 이처럼 HIIT는 혈압을 낮추고 심혈관계 위험요소를 줄이는데 효과적인 운동 방법으로 간주된다(Molmen et al., 2012).

이와 같이 심장재활 프로그램에서 적용되는 운동 강도는 중강도에서 고강도 까지 다양한데, 이를 설정할 때 기반이 되는 것이 카보넨(Karvonen) 공식이다(Karvonen, Kentala & Mustala, 1957). 이 공식은 [(최대심박수 - 안정

시심박수) × 목표운동강도] + 안정시심박수로 구성되어 있으며, 이를 통해 심박수 목표치, 즉 정확한 강도 설정을 제시할 수 있는 장점이 있다 (Karvonen, Kentala & Mustala, 1957). 그러나 해당 공식은 심박수만을 중심으로 설정되기 때문에, 베타차단제와 같은 약물을 복용하는 심혈관질환자에게 적용하기에는 한계가 있다(권만근, 김영주, 2017). 베타차단제는 심박수 반응을 둔화시키므로, 운동부하 검사를 통한 최대심박수를 토대로 카보넨 공식에 대입하더라도, 운동 강도 설정은 부정확할 수 있다.

또한 최근 연구들에서는 트레드밀에서 얻어진 심박수 기준을 자전거 에르고미터 같은 다른 운동기구에 적용했을 때 심혈관 반응이 다르게 나타남을 지적했다. 예를 들어, Reed J. (2007)의 연구에서는 고정된 심박수 하에서 사이클링 운동이 트레드밀 운동과 비교하여 혈압 반응에 있어 차이를 보인다는 결과를 제시하였다.

실제로 심혈관질환자의 운동 중에는 다양한 생리적 지표를 관찰할 수 있으나, 이 중 특히 주목해야 할 변인은 심근부담률(rate pressure product)이다 (김철, 임시웅, 이성민, 안재기, 2000). 심근부담률은 심박수와 수축기 혈압의 곱으로 나타내며, 심근의 산소 요구량과 관상동맥의 혈류 반응을 간접적으로 반영하는 지표로 활용된다(White, WB et al., 1999). 정상 범위는 일반적으로 7,000~12,000 mmHg · bpm로 설정되어 있다(White WB, et al., 1999). 즉 심박수 혹은 혈압 둘 중 하나의 수치가 높아진다면 심근부담률이 상승하게 되는데, 이 수치가 상승할 경우, 허혈성 심혈관질환자에게는 심근허혈이 발생할 가능성이 높아진다(Naughton, 1988). 김철(2006) 등의 연구에 따르면, 운동 중 심근부담률의 증가는 심근허혈성과 밀접하게 연관된다고 보고한 바 있다. 따라서 심혈관질환자에게 있어 심근부담률이 높은 상태에서 운동을 지속하도록 유도하는 것은 심각한 합병증을 유발할 수 있으므로, 반드시 이를 고려한 운동 처방이 이루어져야 한다.

심혈관질환자를 대상으로 운동기구별 생리적 반응을 비교한 연구가 일부 이루어졌으며, 김영주와 김철현(2008)은 고혈압을 동반한 환자에서 자전거 에르고미터 사용 시 일반 심혈관질환자보다 심근부담률이 높다고 보고하였다. 이는 운동기구의 종류에 따라 심근 부담이 달라질 수 있음을 의미한다. 그러나 트레드밀의 경사도나 자전거 에르고미터의 무릎 각도와 같은 세부 설정에 따른 심근부담률 차이를 비교한 연구는 부족하며, 기존 연구들은 주로 폐기능(최정희 등, 1995)이나 근활성도(황보상호, 2020)에 초점을 두고 있어 심근부담률에 대한 논의는 제한적이다.

이에 본 연구는 심박수를 기반으로 하여 동일한 운동강도로 운동을 진행할 때, 트레드밀 경사도와 자전거 에르고미터 무릎 최대 신전 각도와 같은 운동기구의 세부 설정이 심근부담률과 운동자각도에 어떤 영향을 미치는지를 비교 분석하고자 한다. 이를 통해 개별 대상자의 생리적 특성과 운동 반응에 적합한 운동 환경 설정에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 연구 목적

본 연구의 목적은 심혈관계 질환이 없는 건강한 20대(만19세~28세) 일반인 남성 9명의 목표 심박수별(50%, 70%, 90%)운동에서 트레드밀 속도와 경사도, 자전거 에르고미터의 무릎 최대 신전 각도를 다르게 설정하여 운동시 나타나는 수축기 혈압, 이완기 혈압, 심근부담률, 운동자각도의 변화를 알아보는 것이다. 이를 통해 운동 유형과 방식에 따른 심근의 과도한 부담을 밝히고 보다 안전한 운동방법을 규명하고자 하였다.

3. 연구 가설

본 연구의 가설은 다음과 같다.

1) $50\%HR_{max}$ 운동강도에서 트레드밀 경사도를 0° 로 설정했을 때와 10° 로 설정했을 때, 그리고 자전거 에르고미터의 안장 높이를 무릎 각도 25° 와 35° 로 설정했을 때 나타나는 혈압, 심근부담률, 운동자각도의 차이가 있을 것이다.

2) $70\%HR_{max}$ 운동강도에서 트레드밀 경사도를 0° 로 설정했을 때와 10° 로 설정했을 때, 그리고 자전거 에르고미터의 안장 높이를 무릎 각도 25° 와 35° 로 설정했을 때 나타나는 혈압, 심근부담률, 운동자각도의 차이가 있을 것이다.

3) $90\%HR_{max}$ 운동강도에서 트레드밀 경사도를 0° 로 설정했을 때와 10° 로 설정했을 때, 그리고 자전거 에르고미터의 안장 높이를 무릎 각도 25° 와 35° 로 설정했을 때 나타나는 혈압, 심근부담률, 운동자각도의 차이가 있을 것이다.

4. 용어 정의

1) 혈압 (Blood Pressure)

혈압은 심장의 좌심실이 수축하면서 혈액이 대동맥을 통해 박출할 때 동맥 내에서 발생하는 압력을 의미한다. 심장이 수축할 때 혈압이 가장 높아지며, 이를 수축기 혈압(Systolic Blood Pressure, SBP)이라 한다. 반대로 심장이 이완되는 동안 혈압은 낮아지며, 이 시기의 혈압은 이완기 혈압(Diastolic Blood Pressure, DBP)이라 부른다. SBP와 DBP는 심장의 기능과 혈관 저항을 간접적으로 파악할 수 있는 중요한 생리학적 지표이다(이충일, 2002).

2) 최대심박수 (Maximum Heart Rate, HR_{max})

심박수는 1분 동안 심장이 수축과 이완을 반복하는 횟수를 의미하며, 심장 주기의 빈도를 나타내는 핵심적인 생명징후 중 하나이다. 체온, 호흡수, 혈압과 더불어 현대의학에서 심박수는 건강 상태를 판단하는 기본 지표로 간주된다. 최대심박수(HR_{max})는 개인이 격렬한 운동 중 도달할 수 있는 가장 높은 심박수로 정의되며, 일반적으로 '220 - 나이'의 공식으로 추정된다(Fox, Naughton, & Haskell, 1971). 이 계산식은 Fox와 Haskell에 의해 제안되었으며, 간편한 추정 방식으로 널리 사용되고 있다. 그러나 실제 적용 시 개인차가 존재하므로 정확한 수치를 위해서는 개별 평가가 필요하다(김혜정, 나희영, 이효진, 김선형, 2014; Robergs & Landwehr, 2002).

3) 심근부담률 (rate pressure roduct, RPP)

심근부담률은 심박수와 수축기 혈압을 곱한 값으로, 심근의 산소소모량을 간접적으로 추정하는 데 사용되는 지표이다. 이 수치는 심장에 가해지는 부담의 정도를 나타내며, RPP가 높아질수록 심근의 에너지 효율은 저하되고, 심근허혈의 가능성은 높아진다. 또한 관상동맥의 혈류 공급 반응을 예측하는 데에도 활용되며, 심혈관질환자의 운동 강도 조절에 중요한 역할을 한다(신경아, 2018; 김영주 등, 2002).

4) 운동자각도 (rating of perceived exertion, RPE)

운동자각도는 개인이 운동 중 느끼는 주관적인 힘듦의 정도를 수치로 표현한 척도로, Borg가 개발한 6점에서 20점까지의 등간척도이다(Borg, 1970). 이 척도는 운동 강도에 대한 개인의 체감 반응을 평가하는 데 유용하며, 특히 고위험군이나 심혈관질환자에게 안전하고 효율적인 운동 처방을 제공할 수 있도록 돕는다. 운동자각도는 낮을수록 편안한 상태를, 수치가 높을수록 극도로 힘든 상태를 의미하며, 생리적 지표(심박수, 혈압 등)와 병행하여 운동 강도를 조절하는 데 활용된다(Borg, 1970).

5. 연구의 제한점

1) 연구 대상이 심혈관계 질환이 없는 건강한 20대 남성들로 한정되어 연구의 결과를 모든 연령대의 심혈관계 질환이 없는, 혹은 심혈관계 질환이 있는 환자들에게 적용하는 것에 제한이 있다.

2) 실험 기간 중 본 연구에서 진행되는 운동 외 추가적인 운동 혹은 실험 전 날 술과 담배를 하지 않도록 사전 교육을 진행하였으나 일상생활에서 이루어지는 신체활동, 식이 등에 대해 통제할 수 없었다.

II. 이론적 배경

1. 심장의 구조

심장의 구조는 2개의 심방과 2개의 심실로 이루어져 있다. 좌·우심방 사이에는 심방중격(interatrial septum)과 좌·우심실 사이에는 심실중격(interventricular septum)이 있고, 좌방실구에는 2개의 판막인 승모판과 우방실구에는 3개의 판막인 삼첨판이 있으며, 대동맥구와 폐동맥구에는 반월판이 있어 심장이 펌프작용을 할 때 혈액의 역류 현상을 막아 한쪽 방향으로만 혈류를 원활하게 흐르게 한다(한갑수, 1980).

심장의 주기는 수축과 이완에 의한 반복적인 패턴에 의해 설명할 수 있다. 수축단계를 수축기라 하며, 심장이 수축할 때 혈압에는 수축기 혈압 또는 최고혈압이라 하고, 이완할 때 혈압에는 이완기 혈압 또는 최저혈압이라 한다. 최고혈압과 최저혈압의 차이를 맥압이라 하고 두 혈압의 평균 치를 평균혈압이라 하며(Powers, Howley, 2001), 성인의 안정시 최고혈압은 120mmHg, 최저혈압은 80mmHg, 평균혈압은 100mmHg, 맥압은 40mmHg이다. 혈압이 140/90mmHg이상은 고혈압으로 100/60mmHg이하면 저혈압으로 분류한다(대한고혈압학회, 2019). 혈압은 연령에 따라 변화를 보이는 데, 이 외에 변화요인으로 말초저항, 운동자세, 체중, 식사, 흡연, 환경적요인(온도·습도), 혈류역학적 요인, 유전적 요인 등이 있다(김형철 등, 2010). 고혈압에는 본태성 고혈압과 이차성 고혈압 두 가지가 있다(대한고혈압학회, 2019).

반면 운동 선수들에게서도 심장 구조의 변화가 일어난다. 이는 심혈관 질환으로 인한 병리학적 변화 기전과는 다른 양상이다. 스포츠 심장이란 장시간 지속적인 운동에 의해 심장이 비대해 지는 것을 말하며, 이것은 장기간 운동

이 심장에 누적부하가 되어 형성되는 일종의 생리적 적응이라고 하였다. 안정 시 심박수가 낮고 1회 박출량이 증가하며, 운동 후 회복이 빨라지며 심장 기능이 향상되는데, 이는 규칙적인 운동의 결과로 확장기말과 수축기말 좌심실 내경, 심실 중격, 후벽두께 등의 심장 구조가 현저하게 증가하는 것이라고 보고되었다(Fagard 등, 1984).

운동 종목에 따라 운동 선수의 심실은 다르게 변화한다. 동적 지구성 운동에 적응된 장거리선수나 사이클 선수들은 좌심실의 벽두께보다는 확장기말 내경이 커지며, 이러한 운동은 좌심실에 많은 혈액이 요구되므로 용량부하가 증가하고 좌심실에 대한 전부하가 증가한다. 이와 같이 심실 내경이 증가하는 좌심실 비대를 편심성 비대라고 한다(Vinereanu et al., 2002).

또한 근력훈련에 적응된 역도, 보디빌딩, 레슬링 선수들은 좌심실 확장기말내경은 변화가 없으며, 심실 중격과 좌심실 후벽의 비후가 나타난다. 이러한 운동은 혈압의 상승이 현저하고 심장에는 전 부하가 주로 걸리게 되며, 심장의 높은 후부하에 저항하여 구혈하기 때문에 심장의 벽이 비후해진다. 이와 같은 좌심실 벽의 비대를 동심성 비대라 한다(Pluim et al, 2000).

2. 심근부담률과 혈압

심근부담률(RPP)은 심장에 가해지는 부담의 정도를 나타내는 대표적인 생리학적 지표로, 심박출량(cardiac output)을 직접 측정하기 어려운 상황에서 비침습적 방법으로 손쉽게 활용할 수 있다. RPP는 심근의 산소 소비량을 간접적으로 평가할 수 있는 지표로 작용하며, 이를 통해 심장의 대사적 요구량과 운동 강도, 그리고 심장 기능 상태를 종합적으로 파악할 수 있다(Gobel 등, 1978).

일반적으로 심근부담률은 심박수와 수축기 혈압의 곱으로 산출된다. 이 두 생리 변수는 운동 중 밀접하게 상호작용하며, 동시에 상승하게 되면 심근부담률 역시 함께 증가하는 경향을 보인다(Gobel 등, 1978). 실제로 Pluim, B 등(2000)은 규칙적인 신체활동을 하는 선수 집단이 운동 제한이 있는 일반인보다 유의미하게 낮은 심박수를 보이며, 심박출량 증가와 심장 효율성 향상을 나타낸다. 이러한 생리적 적응은 심근부담률 감소하는데 기여한다고 보고하였다.

심박수는 심장이 1분 동안 수축하는 횟수를 나타내며, 이는 심장에 가해지는 부하를 반영하는 주요 지표로서의 역할을 한다. 운동 시 근육의 산소 요구량이 증가함에 따라 심박수는 이에 비례하여 상승하게 된다. 특히 운동 시작 직후 심박수가 급격히 증가하는 이유는 활동 근육과 관절 부위의 감각수용체들이 신경 반응을 유도하기 때문이다. 이 과정은 심장 운동 중추에 영향을 주어 부교감신경계의 억제를 유도하고, 결과적으로 교감신경계 활성화를 통해 심박수를 증가시킨다(권양기 등, 2001; 정일규, 윤진환, 2005). 초기 심박수 증가는 주로 근육의 기계적 수축과 정맥혈 환류, 경동맥 및 대동맥에 위치한 화학수용체의 반사 작용에 의해 발생한다(엄규환, 1988).

성인의 안정 시 심박수는 남성의 경우 평균 65~75회/분, 여성은 70~80회/분으로 보고된다(구근희, 2018).

한편, 혈압은 혈액이 혈관 내벽에 가하는 압력으로 정의되며, 심근 부담에 직접적인 영향을 미치는 요인 중 하나이다. 이 중 수축기 혈압은 심장이 수축할 때 대동맥에 가해지는 최대 압력을 의미하고, 이완기 혈압은 심장이 이완 중일 때 나타나는 최소 혈압 값을 말한다(대한고혈압학회, 2019). 운동 시에는 활동 근육의 혈관이 확장되면서 말초 저항이 감소하고, 비활동 조직에서는 혈관 수축으로 인해 저항이 증가하게 되며, 그 결과 심박출량이 증가하여 혈압 상승을 초래한다(오수찬, 2023). 혈압 조절은 단기적으로 교감신경계의 활성

을 통해, 장기적으로는 신장의 레닌-안지오텐신-알도스테론계 (renin-angiotensin-aldosterone system, RAAS)를 통해 이루어진다. 이 시스템은 체내 혈액량 조절을 통해 전신 혈압을 안정적으로 유지하는 데 핵심적 역할을 한다(Courneya & Parker, 2011).

운동 중에는 골격근의 반복적인 수축, 심박출량의 증가, 그리고 교감신경계의 활성화 등 다양한 생리적 기전에 의해 수축기 혈압과 심박수가 동반 상승하게 된다. 이완기 혈압은 일반적으로 큰 변화가 없거나, 말초 혈관의 확장으로 인해 다소 감소할 수도 있다(Powers 등, 2007). 일반적으로 건강한 성인의 정상 혈압은 미국 고혈압 가이드라인(Joint National Committee, JNC) 기준 수축기 혈압 120mmHg 미만, 이완기 혈압 80mmHg 미만으로 정의된다(Chobanian, 2003).

운동 중 심박수와 수축기 혈압이 함께 상승하면서 심근부담률도 동반 증가하게 되며, 이는 운동 강도와 심장 부하를 평가하는 중요한 기준이 된다(이중호, 2005). 무리한 운동은 과도한 심박수 및 수축기 혈압 상승을 유발하고, 결과적으로 심근부담률 또한 비정상적으로 증가한다. 일반적으로 운동 중 심근의 산소소모량은 평상시보다 약 4배가량 증가하여 1,000ml/min에 달하며, 안정 시에는 약 250ml/min 수준으로 보고된다. 이때 심근은 동맥혈의 약 70%를 사용하게 된다(오수찬, 2023). 심근부담률은 심실의 크기와 용적, 수축 시간, 관상동맥 혈류량, 수축기 혈압, 심박수 등 다양한 요인의 영향을 받는다(오수찬, 2023). 따라서 운동 중 과도하게 증가한 심박수와 수축기 혈압, 그리고 이에 따른 심근부담률의 증가는 심장질환자에게 있어 과도한 운동에 의한 부정맥이나 심근 허혈을 유발할 수 있기 때문에 협심증 환자에서 심근 부담률은 신체활동 중 주요한 고려사항이다(Gobel 등, 1978; 이중호, 2005; Kim, C. 등, 2014).

3. 운동 강도

운동 강도는 유산소 운동 프로그램의 효과를 결정짓는 핵심적인 요소로 간주되며, 특히 심혈관질환자에게 있어 적절한 강도 설정은 치료적 운동의 안전성과 효과를 좌우하는 중요한 변수이다. 미국스포츠의학회(American College of Sports Medicine, ACSM)는 개인의 심폐 체력 수준에 따라 운동 강도를 정량적으로 설정할 수 있도록 구체적인 지침을 제공하고 있으며, 특히 유산소 체력 증진을 위한 운동 강도 결정 시 최대 심박수 대비 백분율 또는 예비 심박수(heart rate reserve, HRR)을 기반으로 한 계산법을 활용할 것을 권고하고 있다(Dalleck & Dalleck, 2008).

예비 심박수는 개인의 최대 심박수에서 안정 시 심박수(Resting Heart Rate, RHR)를 뺀 값으로, 운동 중 심박수의 변동 가능성을 보다 세밀하게 반영할 수 있는 지표로 간주된다. 예비 심박수 기반의 운동 강도 설정 방식은 다음과 같은 수식을 통해 목표 심박수를 산출한다:

$$\text{목표 심박수} = (\text{HR}_{\max} - \text{RHR}) \times \text{운동 강도}(\%) + \text{RHR}.$$

이 방법은 동일한 최대 심박수를 가진 사람이라도 안정 시 심박수의 차이에 따라 운동 중 느끼는 실제 부담에 차이가 발생할 수 있음을 고려한 접근이다. 따라서 예비 심박수를 활용한 처방은 보다 정교하고 개인 맞춤형 운동 강도 조절을 가능하게 한다.

ACSM, 2021에서는 일반적으로, 예비 심박수를 기준으로 중간 강도 유산소 운동을 40~59% 범위, 운동을 60~89% 범위로 제시하고 있다. 이러한 범위는 대상자의 연령, 질병 이력, 체력 수준, 운동 경험 등에 따라 조정 가능하며, 특히 고위험군이나 노년층의 경우에는 낮은 강도에서 출발하여 점진적으로 운동 강도를 높여가는 방식이 보다 안전한 접근으로 권장된다.

그러나 실제 임상 및 피트니스 현장에서는 이러한 과학적 기준이 일관되게

적용되지 않는 경우가 많다. 예컨대, 최대 심박수의 추정치를 계산하는 데 흔히 사용되는 ‘220 - 나이’ 공식이 개인의 생리적 특성을 고려하지 않고 무비판적으로 적용되는 사례가 많으며, 이러한 방식은 실제 운동 수행 중의 생리 반응과 불일치할 가능성을 높인다. 결과적으로, 과소 혹은 과도한 운동 강도를 초래하여 운동 효과의 저하 또는 잠재적 위험을 유발할 수 있다.

따라서 운동 강도는 단순한 연령 기반의 추정식에 의존하기보다, ACSM이 제안하는 예비 심박수 기반의 정량적 기준을 활용하는 것이 바람직하다. 이를 통해 심혈관질환자를 포함한 다양한 집단에게 보다 안전하고 효과적인 맞춤형 운동 처방을 제공할 수 있을 것이다(Dalleck, 2008).

4. 고강도 인터벌 트레이닝(High Intensity Interval Training, HIIT)

고강도 인터벌 트레이닝(High-Intensity Interval Training, HIIT)은 20세기 중반, 운동선수들의 체력 향상을 목적으로 개발된 훈련 방식으로, 그 기원은 1952년 헬싱키 하계 올림픽까지 거슬러 올라간다. 당시 체코의 장거리 육상 선수 에밀 자토페크(Emil Zatopek)가 HIIT 방식의 훈련을 통해 올림픽에서 금메달을 획득하면서 이 트레이닝 방식은 세계적으로 주목을 받기 시작하였다(Ross et al, 2016). 이후 HIIT는 일반인 뿐 아니라, 심혈관질환자들을 위한 효율적인 운동 처방의 하나로 점차 그 적용 범위를 넓혀가고 있다(Rognmo et al., 2004; Tijnna et al., 2008).

HIIT는 일정 시간 동안 고강도 운동과 저강도 운동 또는 활동적 회복을 반복 수행하는 방식으로 구성되며, 대표적인 프로토콜은 최대 심박수의 85~95% 강도에서 4분간 운동 후 최대 심박수의 50~60% 강도에서 3분간 회복을 하는 식으로 구성되며, 이를 총 4회 반복하는 방식이 일반적으로 사용

된다. 이러한 방식은 순환계 및 호흡계의 기능을 극대화시킬 수 있도록 설계된 고효율 훈련법이다(Ross et al., 2016). HIIT의 회복 구간은 완전한 휴식이 아닌 중간 강도의 활동(예: 걷기 등)으로 구성되어 있으며, 이는 폐와 심장에 지속적인 자극을 제공함으로써 근육량 향상, 체지방률 감소, 최대산소섭취량 향상에 기여한다(Tabata, I et al., 1996; Costigan et al., 2015).

이 훈련 방식의 생리적 특징 중 하나는 운동 구간에 따라 다양한 에너지 대사 시스템이 동원된다는 점이다. 고강도 구간에서는 주로 ATP-PC 시스템 및 해당과정(glycolysis)이 에너지원으로 사용되며, 반면 회복 구간에서는 ATP-PC 시스템의 회복과 젖산 제거가 활발히 이루어진다. 이 과정은 무산소성 및 유산소성 에너지 대사가 교대로 작동하며, 전신 대사능력과 순환계 기능 향상에 기여하게 된다(김경배, 2015; 김은진, 2019; Trapp, Chisholm, Freund, & Boutcher, 2008).

선행연구들은 HIIT가 중강도 지속성 운동(MICT: Moderate Intensity Continuous Training)과 비교하였을 때 심혈관 기능, 유산소성 체력, 그리고 삶의 질 측면에서 보다 높은 개선 효과를 가져온다고 보고하였다(Guiraud et al., 2012). Burgomaster et al. (2005)은 성인을 대상으로 2주간 HIIT를 적용한 결과, 중강도 지속성 운동 대비 지질 대사 및 심폐지구력의 개선 효과가 더욱 크다고 보고하였다. 더불어, HIIT는 경기력 향상뿐 아니라 재활의 목적으로도 활용되었는데, 1959년 독일의 심장 전문의 Reindell과 Roskamm은 심장병 환자의 재활 훈련으로 HIIT를 최초로 적용한 사례로 알려져 있다(Laursen & Jenkins, 2002).

Ⅲ. 연구 방법

1. 연구대상자

효과 크기(Effect size 0.42, 제 1종 오류는 0.05, 검증력 및 제 2종 오류(Power)는 80%, 1집단으로 검사는 3회 반복측정 변량분석(Repeated-measure anova)으로 계산한 결과 검증력 80.9%로, 총 사례 수가 15명이 적합하였다. 그러나 탈락률 20%를 고려해 총 사례 수를 18명으로 모집하고자 하였다. 서울/경기권에 거주하는 20대 남성 18명 모집 이후 제외 기준에 따라 스크리닝하여 9명을 최종 선정하였으며, 심폐질환, 정형외과적 질환이 없는 건강한 참여자들로 구성하였다. 연구대상자 제외 기준은 다음과 같다.

신체적 질병이나 문제로 인해 운동, 측정이 불가능한 자, 3개월 내 수술 경력이 있는 자, 운동선수, ACSM운동지침에 따른 운동부하검사 금기사항에 해당하는 자이다. 실험 전 연구의 목적 및 실험 절차를 설명하였고 자발적으로 동의서에 서명한 후 실험을 실시하였다.

본연구는 사전에 성신여자대학교 생명 윤리 위원회의 승인(승인 번호 : SSWUIRB-2023-023)을 받은 후 시행되었다. 연구 대상자의 일반적 특성은 표 1과 같다.

표1. 연구대상자의 일반적 특성

	나이 (year)	신장 (cm)	체중 (kg)	BMI	RHR	RSBP	RDBP
남자 (n=9)	26.98 ±1.43	172.44 ±4.64	71.63 ±5.25	24.13 ±2.032	83.56 ±15.46	125.44 ±2.19	84.33 ±3.51

BMI: body mass index, RHR: resting heart rate,

RSBP: resting systolic blood pressure, RDBP: resting diastolic blood pressure

그리고 9명의 운동강도 별 목표심박수 평균은 표2에 나타낸 바와 같다.

표2. 연구대상자의 운동강도 별 목표심박수 평균

	50%HR _{max}	70%HR _{max}	90%HR _{max}
남자 (n=9)	96.28 ±4.75	134.79 ±6.65	173.30 ±8.55

HR_{max}: maximal heart rate.

2. 연구 절차

본 연구의 절차는 그림 1과 같다.

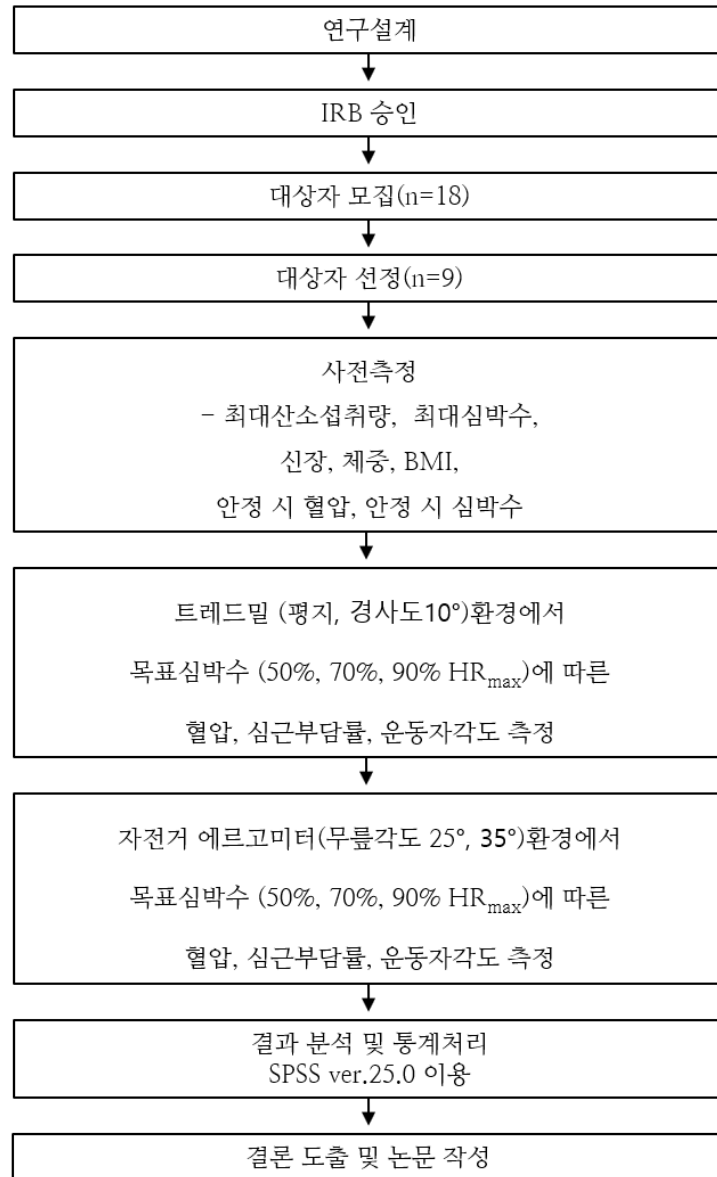


그림 1. 연구 절차

3. 연구 기간

본 연구의 기간은 표 2와 같다.

표 2. 연구 기간

내용	기간
주제 설정 및 계획 수립	2022.01. ~ 2022. 01.
참고 문헌 조사	2022. 01. ~ 2022. 03.
성신여자대학교 IRB 승인	2022. 04. ~ 2025. 03.
대상자 모집	2023. 07.
사전 측정	2023. 10.
트레드밀 경사도 및 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 따른 심박수별 혈압 측정	2023. 11. ~ 2023. 11.
결과 분석 및 통계 처리	2024. 09. ~ 2024. 09.
결론 도출 및 논문 작성	2025. 03. ~ 2025. 07.

4. 측정 도구

본 연구의 측정 도구는 표 3과 같다.

표 3. 측정 도구

측정 항목	모델명(제조사, 제조국)
신장	GM-1000 신장체중계 (neoGMTEC, Korea)
체중	
운동 시 심박수	Apple Watch SE2 MRE13KH/A (Apple Inc., USA)
혈압	아네로이드식 청진혈압계(HS-2000, HONSUN[Nantong] Co., LTD., china)
운동강도 설정	트레드밀 (Model MT750, MOTUS, South Korea) 입식 사이클(M660BU, Motus, Korea)
무릎 각도	관절각도기 (Goniometer, Jamar, New Jersey, USA)
운동부하검사 최대산소섭취량, 심전도, 최대심박수	호흡가스 분석장치(Quark CPET system with 12-lead ECG module Cosmed, Rome, Italy)
운동 강도 설정	트레드밀(COSMED Treadmill T170 DE, Cosmed Co. Italy)



그림 2. GM-1000 신장체중계
(neoGMTEC, Korea)



그림 3. Apple Watch SE2 MRE13KH/A
(Apple Inc., USA)



그림 4. 아네로이드식 청진혈압계
(HS-2000, HONSUN[Nantong]
Co., LTD., china)



그림 5. 트레드밀
(Model MT750, MOTUS, South Korea)



그림 6. 입식 사이클
(M660BU, Motus, Korea)



그림 7. 관절각도기
EZ Read Jamar Goniometer
(Performance Health, USA)



그림 8. 호흡가스분석 장치
(Quark CPET system with 12-lead ECG module,
Cosmed Co, Italy)



그림 9. 트레드밀
(COSMED Treadmill T170 DE,
Cosmed Co. Italy)

1) 실험 절차

사전 측정 시에는 운동부하검사와 신체 측정을 통해 생리적 기초 지표를 수집했다. 실제 목표심박수($50\%HR_{max}$, $70\%HR_{max}$, $90\%HR_{max}$)를 산출하기 위해 운동부하 검사를 통한 최대심박수를 측정했다. 운동부하검사는 bruce protocol을 사용하여 진행했다. 본 측정 시 실험으로 인한 신체적 영향을 최소화하기 위해 일주일 간격으로 총 4번 성신여자대학교를 방문하여 선행 연구를 토대로 경사도와 무릎 각도를 달리하여 운동을 진행하였다(Green et al., 2002)(서정우 등, 2012). 트레드밀 경사도 0° , 10° 환경, 자전거 에르고미터에서 무릎 최대 신전각도 25° , 35° 환경에서 운동 중 목표심박수에 대한 혈압을 측정하였다. 의자에 앉아 5분 휴식하며 안정 시 심박수와 혈압을 측정하고, 5분 내로 각 목표심박수에 도달할 것을 목표로 하여 운동강도를 높이기 위해 점진적으로 속도를 높였다. 처음 $50\%HR_{max}$ 에 30초간 해당 상태를 유지할 시 혈압을 측정하고 운동자각도를 측정하였다, 이어서 5분 내로 $70\%HR_{max}$ 에 도달할 것을 목표로 하여 속도를 증가시켰다. $70\%HR_{max}$ 를 30초간 유지할 수 있을 때 혈압과 운동자각도를 측정했다. 혈압 측정 후 이어서 마지막으로 5분 내로 $90\%HR_{max}$ 도달을 목표로 하여 다시 속도를 점진적으로 증가시켰으며, 30초간 해당 심박수를 유지할 시 혈압과 운동자각도를 측정한 후 쿨다운을 실시하였다. 측정된 목표심박수 별 혈압을 토대로 심근부담률을 산출하고, 측정된 수축기 혈압, 이완기 혈압, 심근부담률, 운동자각도가 운동 기구, 운동방법에 따라 유의한 차이가 있는지 비교하였다.

2) 신체검사: 신장(cm), 체중(kg), BMI(kg/m²)

대상자의 신체적 특성을 알아보기 위한 검사로서 진행된 신장과 체중의 측정은 GM-1000 신장체중계(neoGMTEC)을 사용하였으며 신발을 벗고 기계에 올라가 바르게 선 자세를 취한 뒤 시선은 정면을 바라보고 측정하였다. 신장과 체중의 값을 이용하여 BMI 산출 공식에 적용 후 BMI를 산출하였다.

3) 운동부하검사 : 생리적 기초 지표 측정

운동부하검사는 선행연구를 참고하여 진행하였다(정인숙, 2015). 운동부하검사(Graded Exercise Test, GXT)는 본 실험에 앞서 피험자의 생리적 기초 지표인 최대심박수, 최대산소섭취량(VO_2 max), 최고 수축기 혈압을 확인하기 위한 목적으로 실시하였다. 검사는 트레드밀(COSMED Treadmill T170 DE, Cosmed Co. Italy)을 이용하여 표준화된 최대운동부하검사 방법인 Bruce Protocol에 따라서 점진적 운동부하를 실시하였다. 3분 간격으로 경사도와 속도를 단계적으로 증가시키는 방식이다. 1단계에서는 시속 2.7km에 경사도 10%, 2단계는 시속 4.0km에 경사도 12%, 3단계는 시속 5.5km에 경사도 14%, 이후 단계마다 약 시속 1.3~1.5km/h 및 2%씩 경사도가 증가한다(ACSM, 2021). 운동부하검사 중단 기준은 미국스포츠의학회 지침에 따라 적용하였다. 피험자가 검사 중 다음과 같은 조건에 도달할 경우 즉시 검사를 중단하였다: 극심한 피로, 호흡곤란, 흉통, 실신 전 징조 등의 증상 발생, 운동 중 ST 분절의 1mm 이상 상승 또는 하강, 수축기 혈압이 10mmHg 이상 감소하거나 상승하여 250mmHg를 초과한 경우, 이완기 혈압이 115mmHg를 초과한 경우, 최대 심박수에 도달한 경우, 호흡교환율(RER)이 1.15 이상일

경우 등(Gibbons et al., 2002; ACSM, 2021).

심전도 측정은 심전도 전극 모듈이 포함된 호흡가스분석 장치(Quark CPET system with 12-lead ECG module, Cosmed Co, Italy)를 사용하여 실시하였다. 대상자의 흉부에 전극을 부착한 후 운동 시작 전부터 종료 후 회복기까지 연속적으로 심장의 전기적 활동을 기록하였으며, 운동 중 실시간 심박수를 추출하여 최대심박수로 정의하였다. 또한 이상 심장 리듬 발생 여부를 모니터링하여 운동 중단 기준에 반영하였다.

운동 중 산소섭취량 또한 호흡가스분석 장치 (Quark CPET system with 12-lead ECG module, Cosmed Co, Italy)를 사용하여 측정하였다. 운동 중 흡기 및 호기의 산소와 이산화탄소 농도를 분석하여, 운동 종료 전 기록된 가장 높은 산소섭취량을 최대 산소 섭취량으로 정의하였다.

혈압 측정은 안정 시와 운동 중, 회복기에 걸쳐 시행되었으며, 아네로이드식 청진혈압계(HS-2000, HONSUN[Nantong] Co., LTD., china)를 사용하였다. 정확한 혈압측정을 위해 마이크 폰을 상완동맥에 위치시키고 커버를 장착하여 실제 수축기 동맥음과 이완기 동맥음을 직접들으며 얻어진 수치를 측정하였다. 안정 시에는 의자에 앉아 5분간 눈을 감고 안정을 취한 3분 간격으로 2회 측정하고 그 평균값을 사용하였다. 운동 중 혈압은 Bruce Protocol에 따른 운동 단계별 2분에 측정하였으며, 회복기에는 운동 종료 직후부터 1, 2, 3, 4, 5분 시점에 반복 측정하였다.

운동자각도(Rating of Perceived Exertion, RPE)는 Borg의 15단계 척도(6-20점)를 사용하여 측정하였다. 각 피험자는 운동 전 해당 척도의 의미와 수치를 충분히 숙지한 후, 각 목표 심박수 도달 시점에 구두로 질문하여 응답을 기록하였다.

4) 운동 중 심박수 측정

대상자의 운동 강도를 설정하기 위해 진행된 검사로서 Apple Watch SE2 MRE13KH/A (Apple Inc., USA)를 사용하였다. 안정 시 심박수는 각 운동 전 피험자가 5분간 앉은 자세에서 안정을 취한 후, 측정된 수치를 기준으로 하였다. 이후 트레드밀(경사도 0°, 10°) 및 자전거 에르고미터(무릎 각도 25°, 35°) 운동을 시작하였고, 5분 내로 각 목표 심박수(Target Heart Rate, THR) 50%, 70%, 90%에 도달할 때까지 점진적으로 운동 강도를 증가시켰다. 각 강도에 도달한 시점부터 약 30초간 해당 심박수 범위가 유지되는지 확인하고 해당 시점에서 혈압을 측정하였다.

5) 운동 중 혈압 측정

본 연구에서는 수축기 및 이완기 혈압을 측정하기 위하여 청진법 기반 아네로이드 혈압계(HS-2000, HONSUN [Nantong] Co., Ltd., China)를 사용하였다. 연구 대상자는 각 운동 조건(트레드밀 경사도: 0°, 10°, 자전거 에르고미터 무릎 각도: 25°, 35°) 시작 전 5분간 안정을 취한 후, 안정 시 혈압을 측정하였다. 이후 각 목표 심박수(HTR)에 도달한 시점에서 30초간 해당 속도를 유지한 후, 즉시 혈압을 측정하였다.

운동 중 혈압은 대상자가 기구 위에서 자세를 유지한 상태에서 청진기를 통해 수축기 및 이완기 혈압을 각각 측정하였으며, 각 조건별로 두 차례 반복 측정한 뒤 그 평균값을 분석에 사용하였다. 측정된 수축기 혈압과 심박수는 심근부담률 산출에 활용되었다.

6) 심근부담률

심근부담률은 산출된 수축기혈압(SBP)과 심박수(HR)의 곱으로 간접 측정하였다. 자세한 계산식은 <수식 1>에 나타난 바와 같다.

$$\text{심근부담도(RPP)} = \text{수축기혈압(SBP)} \times \text{심박수(HR)}$$

수식 1. 심근부담률 계산식

7) 운동자각도

운동자각도 측정은 연구 대상자에게 사전 안내를 통해 숙지시킨 후 진행 하였으며, 각 목표심박수에 도달할 시 혈압을 잰 직후 연구 대상자에게 자각도를 질문하여 측정하였다. Borg의 15단계 척도를 이용하였으며(Borg, 1970), 운동자각도는 <그림 10>과 같다.

6	Exertion at all	전혀 힘들지 않다
7	Extremely light	매우 가볍다
8		
9	Very light	아주 가볍다
10		
11	Light	보통이다
12		
13	Somewhat hard	약간 힘들다
14		
15	Hard	힘들다
16		
17	Very Hard	아주 힘들다
18		
19	Extremely Hard	매우 힘들다
20	Maximal exertion	참기 힘들 정도로 힘들다

그림 10. Borg의 15단계 척도(Borg, 1970)

6. 자료 처리

본 연구에서 수집된 모든 자료는 SPSS(statistical package for social sciences) 26.0 통계 프로그램을 사용하였다. 총 9명의 대상자를 선정하였으며, 변수 별 기술통계는 평균(Mean)과 표준편차(Standard Deviation)를 산출하여 제시하였다.

트레드밀 경사도(0° , 10°)와 자전거 에르고미터 무릎 각도(25° , 35°)에 따른 세 가지 목표 심박수 강도(50%, 70%, 90%) 조건 간의 차이를 분석하기 위해 Shapiro-Wilk 검증을 통해 정규성검정을 수행하였으며, 정규성검정이 충족될 경우 일원반복분산분석(One-way Repeated Measures ANOVA)을 수행하였고 사후검증으로 Bonferroni 방식을 사용하였다. 정규성이 충족되지 않을 경우 Wilcoxon signed-rank test를 사용하여 검증하였다.

모든 통계 분석의 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였으며, 유의확률(p값)이 이 기준을 충족할 경우 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

IV. 연구 결과

본 연구는 트레드밀의 경사도와 자전거 에르고미터의 무릎 각도에 따른 목표 심박수별(HR_{max} 50%, 70%, 90%) 심근부담률, 운동자각도에 대한 차이를 알아보고자 한다.

1. 50% HR_{max} 에서의 비교

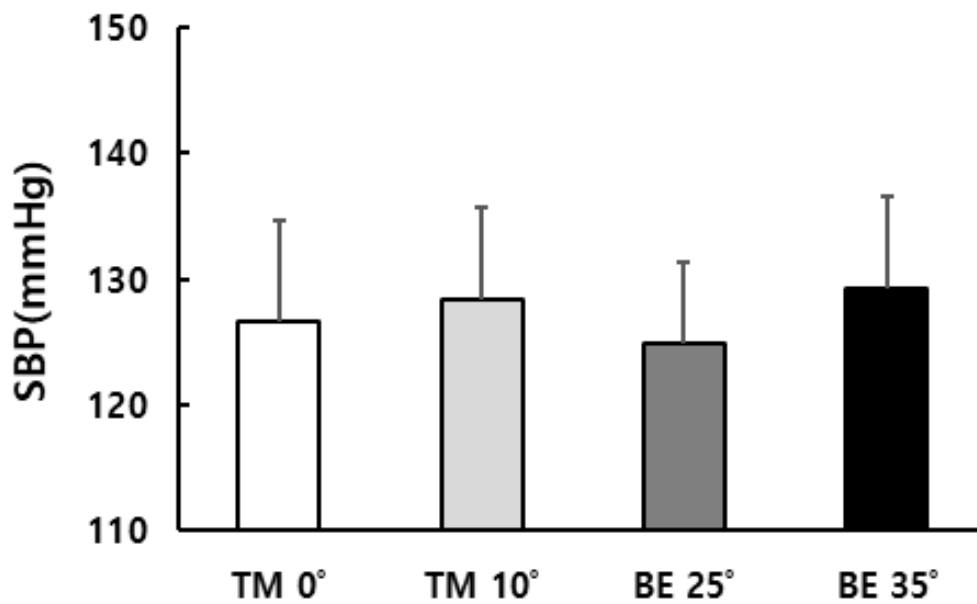
1) 50% HR_{max} 에서의 SBP(수축기 혈압) 비교

트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 50% HR_{max} 강도에서의 SBP를 각각 비교하였으며, 표<4>, 그림<11>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 TM 0° (126.6 ± 8.0), TM 10° (128.3 ± 8.0), BE 25° (124.8 ± 6.6), BE 35° (129.3 ± 7.3)로 각각 유의한 차이는 없었다.

표 4. 운동 유형에 따른 운동강도 50%의 SBP(mmHg)차이 비교

Type	SBP (mmHg)	<i>p</i>
TM 0°	126.6 ± 8.0	NS
TM 10°	128.3 ± 7.4	
BE 25°	124.8 ± 6.6	
BE 35°	129.3 ± 7.3	

M ± SD: Mean ± Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer, NS: no significant



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

그림 11. 운동 유형에 따른 운동강도 50%의 SBP 차이 비교

2) 50%HR_{max} 에서의 DBP(이완기 혈압) 비교

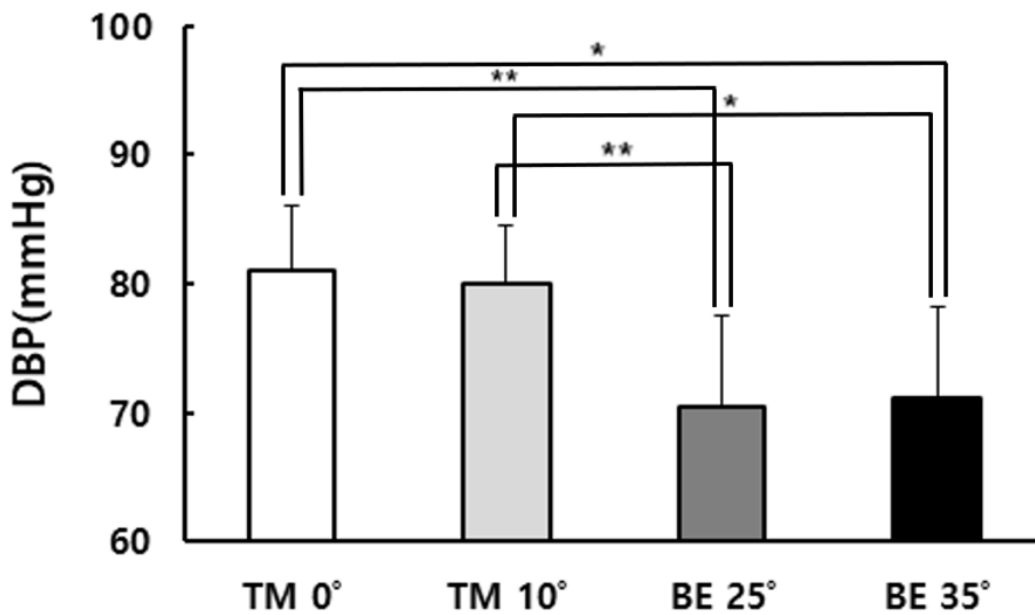
트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 50%HR_{max} 강도에서의 DBP를 각각 비교하였으며, 표<5>, 그림<12>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 TM0° (81.0±1.7)는 BE 25° (70.4±2.4)와 BE 35° (71.2±2.4)보다 각각 유의하게 높았다($p<.01$, $p<.05$). TM 10° (80.1±1.5)도 역시 BE 25° 와 BE 35° 보다 각각 유의하게 높았다 ($p<.01$, $p<.05$). 반면 TM0° 와 TM 10° , BE 25° 와 BE 35° 간에는 유의한 차이가 없었다.

표 5. 운동 유형에 따른 50%HR_{max}의 DBP(mmHg)차이 비교

Type	DBP (mmHg)	<i>p</i>
TM 0°	81.00±1.7	
TM 10°	80.11±1.5	TM 0° > BE 25 ^{**} , BE 35 ^{**}
BE 25°	70.44±2.4	TM 10° > BE 25 ^{**} , BE 35 ^{**}
BE 35°	71.22±2.4	

M±SD: Mean±Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

^{**}*p*<.01, ^{*}*p*<.05



M±SD: Mean±Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

^{**}*p*<.01, ^{*}*p*<.05

그림 12. 운동 유형에 따른 50%HR_{max}의 DBP 차이 비교

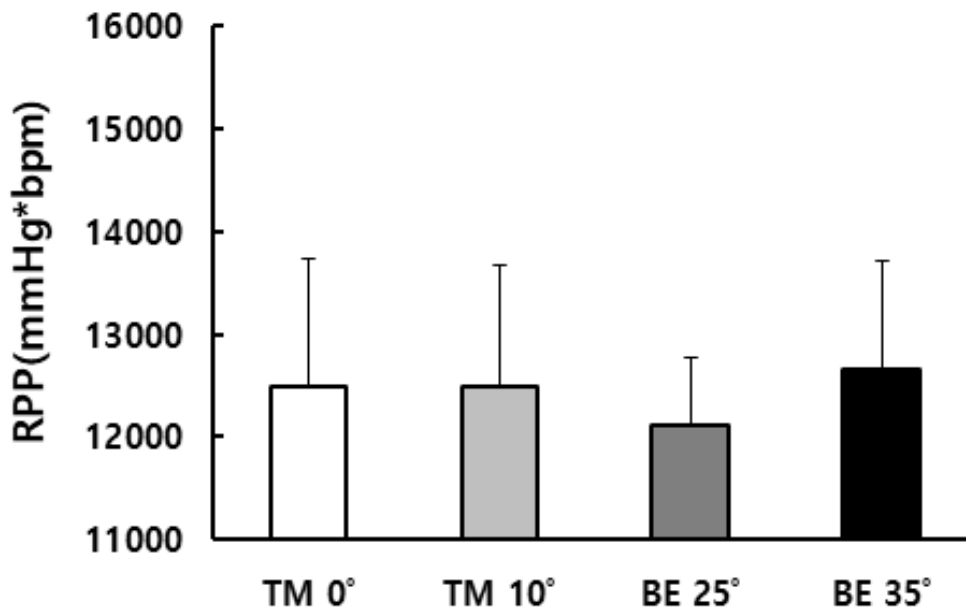
3) 50%HR_{max} 에서의 RPP(심근부담률) 비교

트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 50%HR_{max} 강도에서의 RPP를 각각 비교하였으며, 표<6>, 그림<13>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 RPP는 BE 35° (12652.9±1070.4), TM 10° (12481.2±1197.9), TM 0° (12488.4±1250.6), BE 25° (12110.8±655.9)로, 유의미한 차이는 없었다.

표 6. 운동 유형에 따른 50%HR_{max}의 RPP(mmHg*bpm) 차이 비교

Type	RPP (mmHg*bpm)	<i>p</i>
TM 0°	12488.4 ± 1250.6	NS
TM 10°	12481.2 ± 1197.9	
BE 25°	12110.8 ± 655.9	
BE 35°	12652.9 ± 1070.4	

M ± SD: Mean ± Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

그림 13. 운동 유형에 따른 운동강도 50%의 RPP 차이 비교

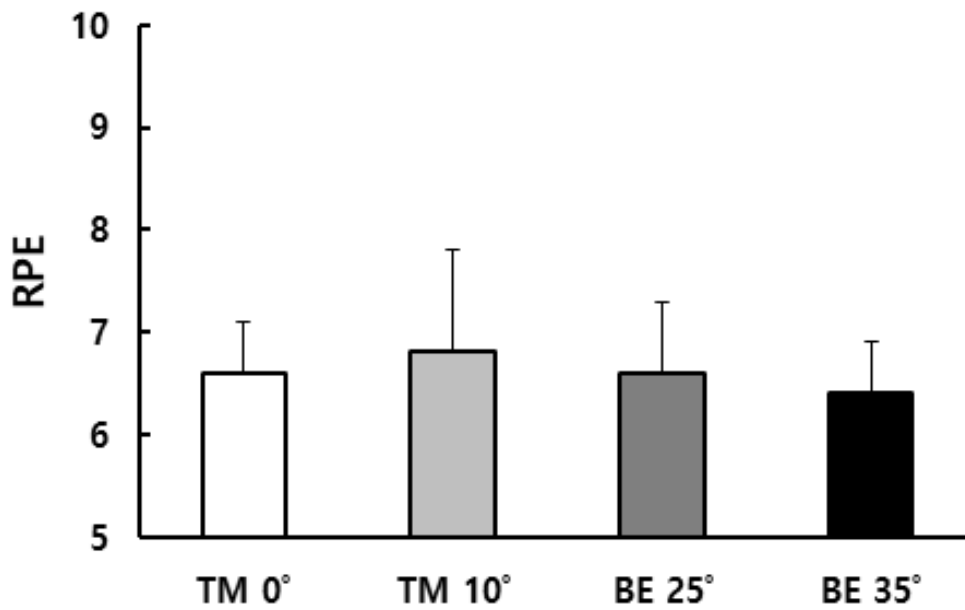
4) 50%HR_{max} 에서의 RPE(운동자각도) 비교

트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 50%HR_{max} 강도에서의 RPE를 각각 비교하였으며, 표<7>, 그림<14>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 RPE는 TM 10° (6.8±0.3), TM 0° (6.6±0.2)와 BE 35° (6.6±0.2), BE 25° (6.4±0.2)로, 유의미한 차이는 없었다.

표 7. 운동 유형에 따른 50%HR_{max}의 RPE 차이 비교

Type	RPE	<i>p</i>
TM 0°	6.6 ± 0.2	NS
TM 10°	6.8 ± 0.3	
BE 25°	6.4 ± 0.2	
BE 35°	6.6 ± 0.2	

M ± SD : Mean ± Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer, NS: No significant



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

그림 14. 운동 유형에 따른 운동강도 50%의 RPE 차이 비교

2. 70%HR_{max}에서의 비교

1) 70%HR_{max}에서의 SBP(수축기 혈압) 비교

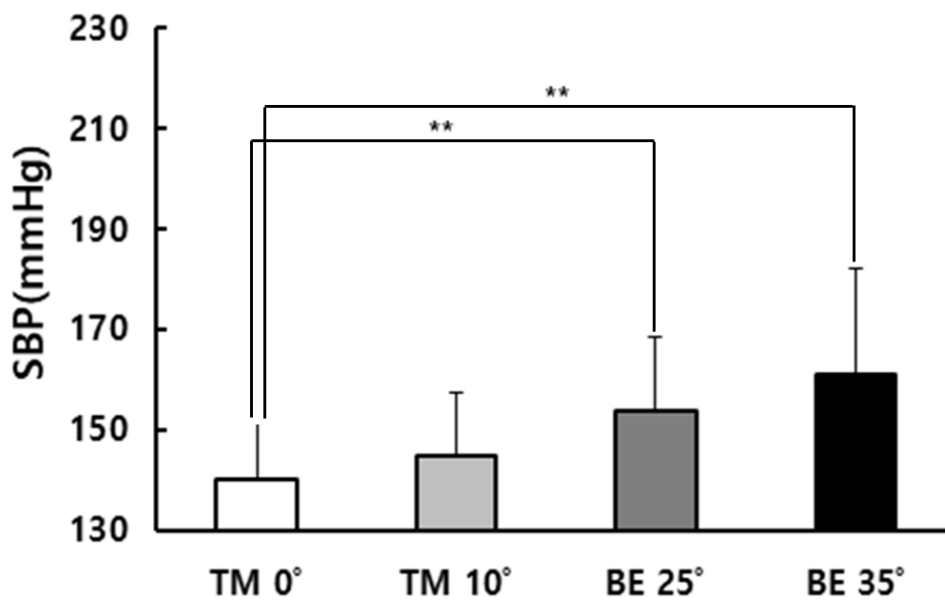
트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 70%HR_{max} 강도에서의 SBP을 각각 비교하였으며, 표<8>, 그림<15>에서 나타난 바와 같다. BE 25° (153.7±4.9)와 BE 35° (160.9±7.0)은 TM 0° (140.1±3.8)보다 각각 유의하게 높았다($p<.01$). 반면 TM 0° 와 TM 10° (144.6±4.3), TM, 10° 와 BE 25° 와 BE 35° , BE 25° 와 BE 35° 간에는 유의한 차이가 없었다.

표 8. 운동 유형에 따른 70%HR_{max}의 SBP(mmHg) 차이 비교

Type	SBP (mmHg)	<i>p</i>
TM 0°	140.1 ± 3.8	
TM 10°	144.6 ± 4.3	
BE 25°	153.7 ± 4.9	TM 0° < BE 25 ^{***} , BE 35 ^{***}
BE 35°	160.9 ± 7.0	

M ± SD : Mean ± Standard Deviation TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

^{**}*p* < .01



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

^{**}*p* < .01

그림 15. 운동 유형에 따른 운동강도 70%의 SBP 차이 비교

2) 70%HR_{max}에서의 DBP(이완기 혈압) 비교

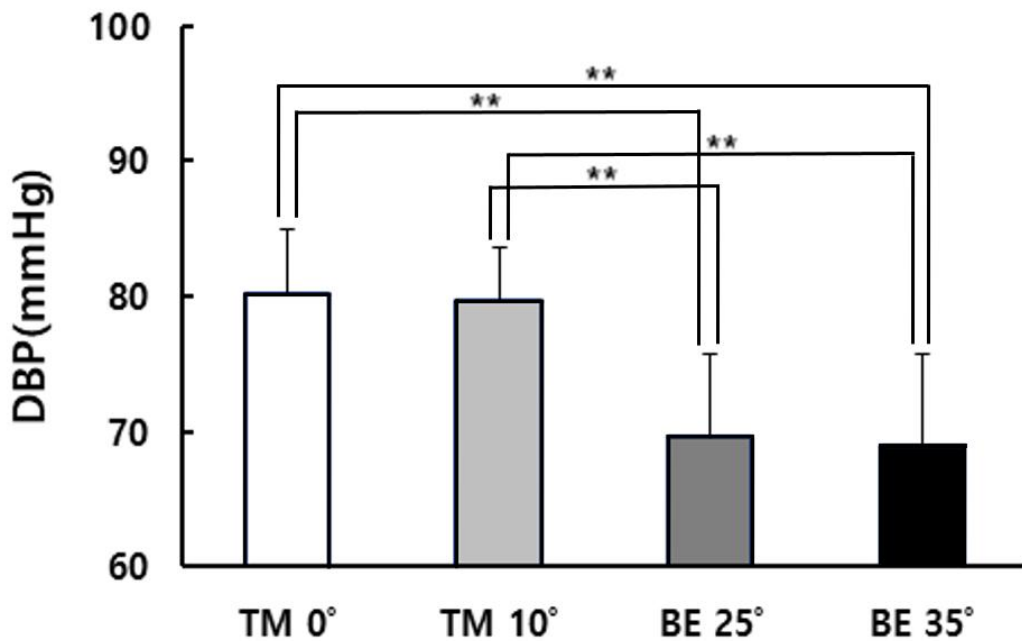
트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 70%HR_{max} 강도에서의 DBP를 각각 비교하였으며, 표<9>, 그림<16>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 DBP는 TM 0° (80.1±1.6)는 BE 25° (69.6±2.0)와 BE 35° (68.9±2.3)보다 각각 유의하게 높았다($p<.01$). 반면 TM 0° 와 TM 10° (79.6±1.3)간에는 유의한 차이가 없었다. TM 10° 는 BE 25° 와 BE 35° 보다 각각 유의하게 높았다($p<.01$). 반면 BE 25° 와 BE 25° 간에는 유의한 차이가 없었다.

표 9. 운동 유형에 따른 70%HR_{max}의 DBP(mmHg) 차이 비교

Type	DBP (mmHg)	<i>p</i>
TM 0°	80.1 ± 1.6	
TM 10°	79.6 ± 1.3	TM 0° > BE 25 ^{***} , BE 35 ^{***}
BE 25°	69.6 ± 2.0	TM 10° > BE 25 ^{***} , BE 35 ^{***}
BE 35°	68.9 ± 2.3	

M ± SD : Mean ± Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

***p* < .01



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

***p* < .01

그림 16. 운동 유형에 따른 운동강도 70%의 DBP 차이 비교

3) 70%HR_{max}에서의 RPP(심근부담률) 비교

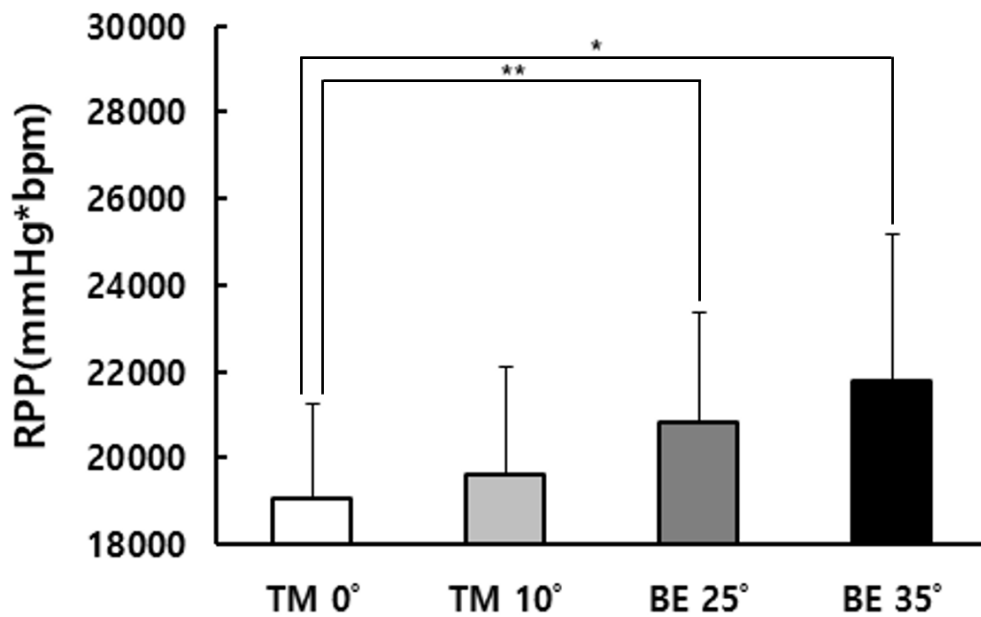
트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 70%HR_{max} 강도에서의 RPP를 각각 비교하였으며, 표<10>, 그림<17>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 BE 25° (20839.0±834.6)와 BE 35° (21764.6±1129.8)은 TM 0° (19045.2±729.7)보다 각각 유의하게 높았다($p<.01$, $p<.05$). 반면 TM 0° 와 TM 10° (19627.3±830.3), TM 10° 와 BE 25° , TM 10° 와 BE 35° , BE 25° 와 BE 35° 간에는 유의한 차이가 없었다.

표 10. 운동 유형에 따른 70%HR_{max}의 RPP(mmHg*bpm) 차이 비교

Type	RPP (mmHg*bpm)	<i>p</i>
TM 0°	19045.2 ± 729.7	
TM 10°	19627.3 ± 830.3	
BE 25°	20839.0 ± 834.6	TM 0° < BE 25°**, BE 35°*
BE 35°	21764.6 ± 1129.8	

M ± SD : Mean ± Standard Deviation TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

***p* < .01, **p* < .05



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

***p* < .01, **p* < .05

그림 17. 운동 유형에 따른 운동강도 70%의 RPP 차이 비교

4) 70%HR_{max} 에서의 RPE(운동자각도) 비교

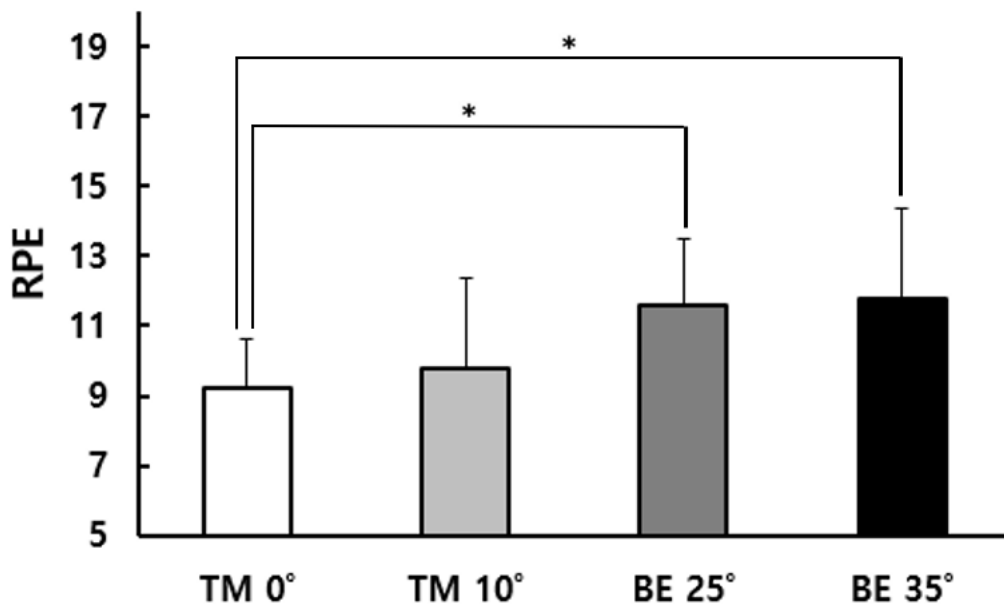
트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 70%HR_{max} 강도에서의 RPE를 각각 비교하였으며, 표<11>, 그림<18>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 BE 25° (11.8±0.9)와 BE 35° (11.6±0.6)는 TM 0° (9.2±0.5)보다 각각 유의하게 높았다($p<.05$). 반면 TM 0° 와 TM 10° (9.8±0.9), TM 10° 와 BE 25° , TM 10° 와 BE 35° , BE 25° 와 BE 35° 간에는 유의한 차이가 없었다.

표 11. 운동 유형에 따른 70%HR_{max}의 RPE 차이 비교

Type	RPE	<i>p</i>
TM 0°	9.2±0.5	
TM 10°	9.8±0.9	
BE 25°	11.8±0.9	TM 0° < BE 25°, BE 35°*
BE 35°	11.6±0.6	

M±SD : Mean±Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

**p*<.05



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

**p*<.05

그림 18. 운동 유형에 따른 운동강도 70%의 RPE 차이 비교

3. 90%HR_{max} 에서의 비교

1) 90%HR_{max} 에서의 SBP(수축기 혈압) 비교

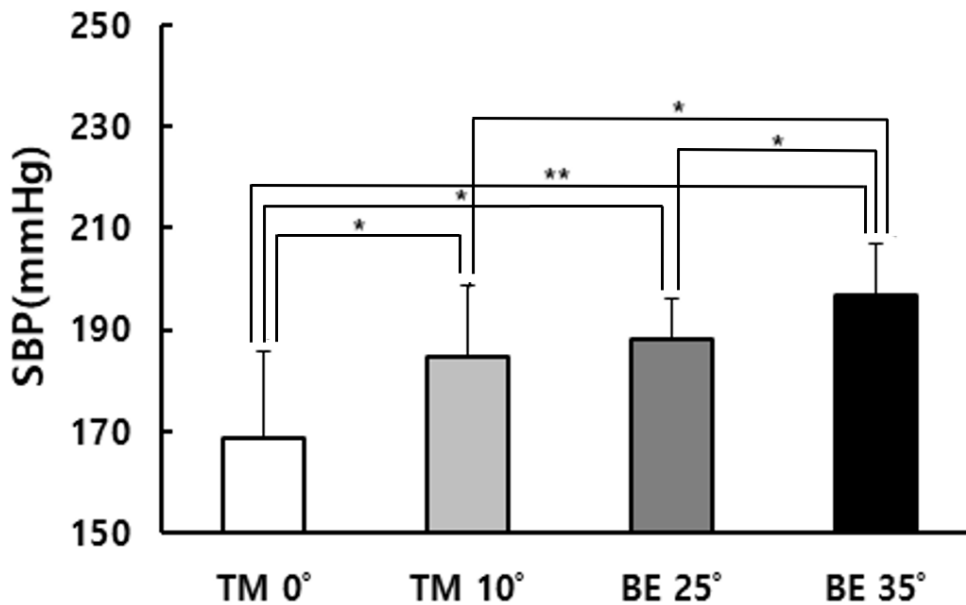
트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 90%HR_{max} 강도에서의 SBP를 각각 비교하였으며, 표<12>, 그림<19>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 TM 10° (184.4±4.7), BE 25° (187.9±2.8), BE 35° (196.8±3.3)는 TM 0° (168.6±5.7)에 비해 각각 유의하게 높았다 ($p<.05$, $p<.05$, $p<.01$). 또한 BE 35° 는 TM 10° 에 비해 유의하게 높았지만 ($p<.05$), BE 25° 와 TM 10° 는 유의한 차이가 없었다. BE 35° 는 BE 25° 에 비해 유의하게 높았다 ($p<.05$).

표 12. 운동 유형에 따른 운동강도 90%의 SBP(mmHg) 비교

Type	SBP (mmHg)	<i>p</i>
TM 0°	168.6 ± 5.7	
TM 10°	184.4 ± 4.7	TM 0° < TM 10°, BE 25°, BE 35** TM 10° < BE 35*
BE 25°	187.9 ± 2.8	BE 25° < BE 35*
BE 35°	196.8 ± 3.3	

M ± SD : Mean ± Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

***p* < .01, **p* < .05



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

***p* < .01, **p* < .05

그림 19. 운동 유형에 따른 운동강도 90%의 SBP 차이 비교

2) 90%HR_{max}에서의 DBP(이완기 혈압) 비교

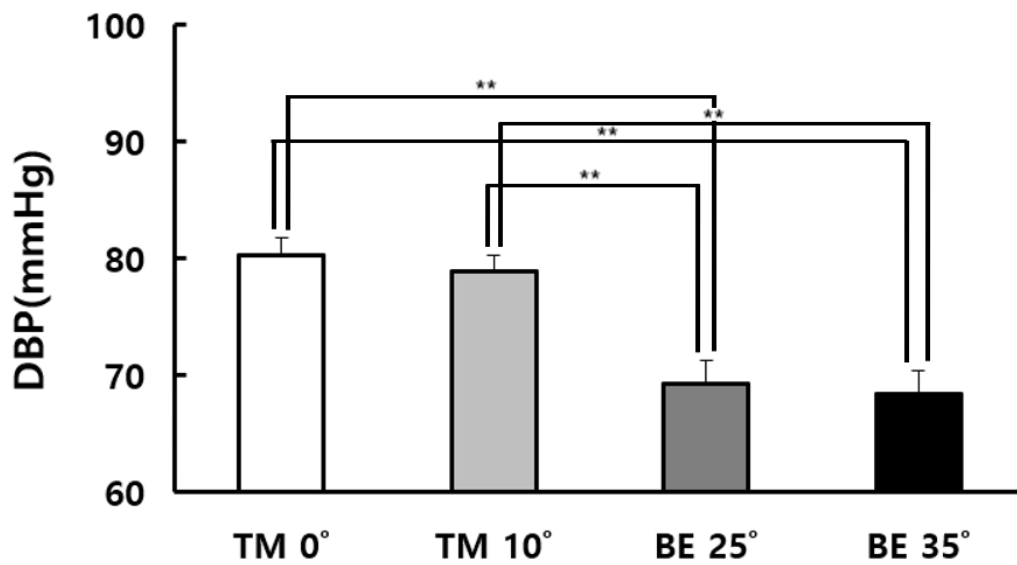
트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 90%HR_{max} 강도에서의 DBP를 각각 비교하였으며, 표<13>, 그림<20>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 DBP는 TM 0° (80.2±1.5)는 BE 25° (69.3±2.0)와 BE 35° (68.4±2.0)보다 각각 유의하게 높았다($p<.01$). 반면 TM 0° 은 TM 10° (78.9±1.3)과 유의한 차이가 없었다. TM 10° 은 BE 25° 와 BE 35° 보다 유의하게 높았다($p<.01$). BE 25° 와 BE 25° 간의 차이는 유의하지 않았다.

표 13. 운동 유형에 따른 운동강도 90%의 DBP(mmHg) 차이 비교

Type	DBP (mmHg)	<i>p</i>
TM 0°	80.2±1.5	
TM 10°	78.9±1.3	TM 0° > BE 25 ^{***} , BE 35 ^{***}
BE 25°	69.3±2.0	TM 10° > BE 25 ^{***} , BE 35 ^{***}
BE 35°	68.4±2.0	

M±SD: Mean±Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

***p*<.01



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

***p*<.01

그림 20. 운동 유형에 따른 운동강도 90%의 DBP 차이 비교

3) 90%HR_{max} 에서의 RPP(심근부담률) 비교

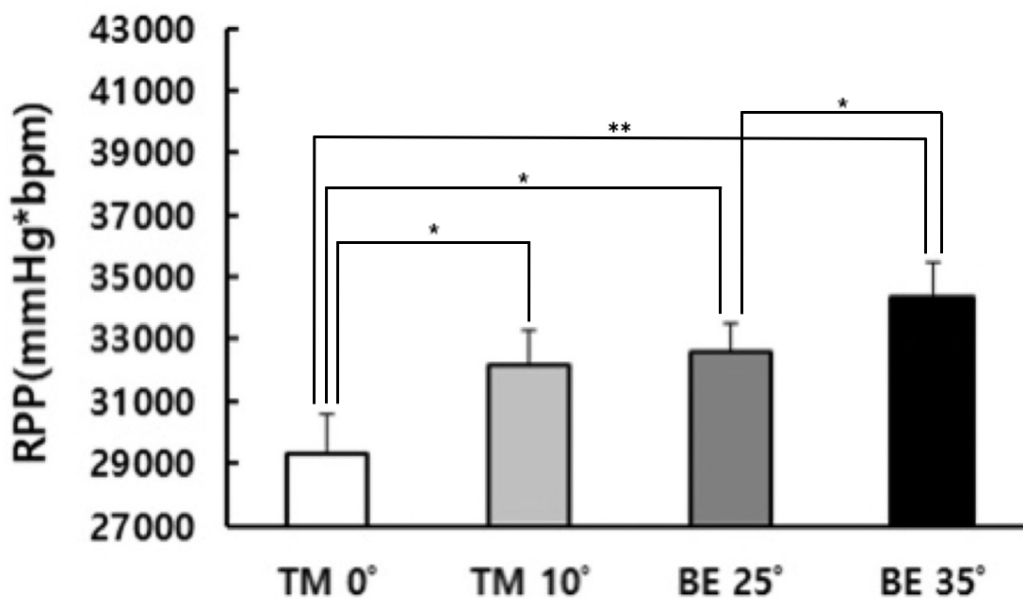
트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 90%HR_{max} 강도에서의 RPP를 각각 비교하였으며, 표<14>, 그림<21>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 TM 10° (32182.2±1091.4), BE 25° (32607.2±893.2), BE 35° (34382.2±1089.6)는 TM 0° (29315.3±1306.0)에 비해 각각 유의하게 높았다($p<.05$, $p<.05$, $p<.01$). 반면 TM 10° 은 BE 25° , BE 35° 와 유의한 차이가 없었다. BE 35° 는 BE 25° 보다 유의하게 높았다($p<.05$).

표 14. 운동 유형에 따른 90%HR_{max}의 RPP(mmHg*bpm) 차이 비교

Type	RPP (mmHg*bpm)	<i>p</i>
TM 0°	29315.3 ± 1306.0	
TM 10°	32182.2 ± 1091.4	TM 0° < TM 10°, BE 25°, BE 35 ^{**}
BE 25°	32607.2 ± 893.2	BE 25° < BE 35 [*]
BE 35°	34382.2 ± 1089.6	

M ± SD: Mean ± Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

^{**}*p* < .01, ^{*}*p* < .05



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

^{**}*p* < .01, ^{*}*p* < .05

그림 21. 운동 유형에 따른 운동강도 90%의 RPP 차이 비교

4) 90%HR_{max} 에서의 RPE(운동자각도) 비교

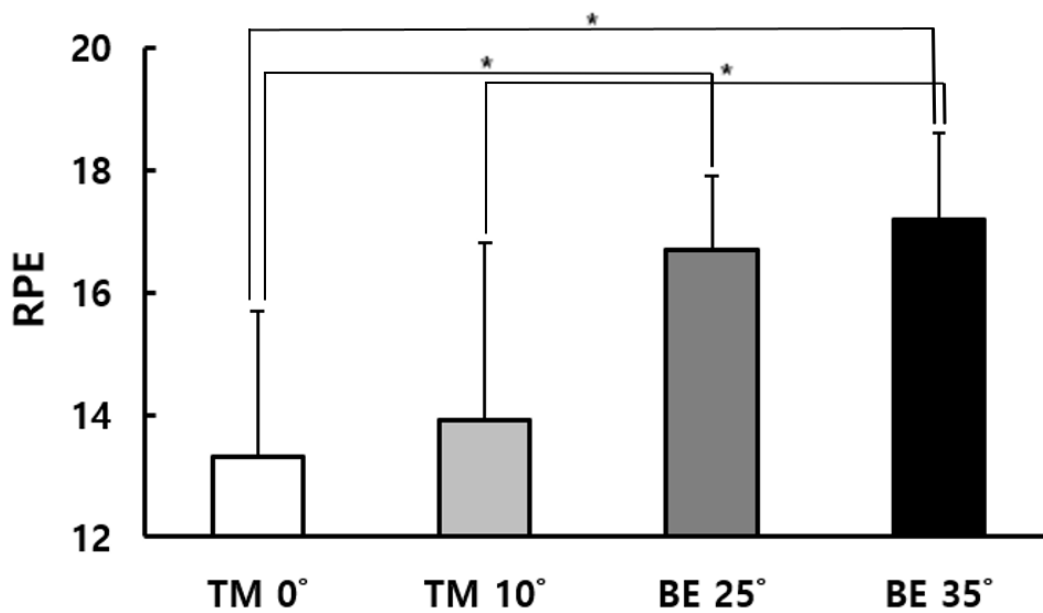
트레드밀 경사도, 자전거 에르고미터 무릎 각도 설정에 90%HR_{max} 강도에서의 RPE를 각각 비교하였으며, 표<15>, 그림<22>에서 나타난 바와 같다. 운동 중 RPE에서 BE 25° (16.7±0.4)와 BE 35° (17.2±0.5)는 각각 TM 0° (13.3±0.8)에 비해 각각 유의하게 높았다(p<.05). 반면 TM 10° (13.9±1.0)와는 유의한 차이가 없었다. BE 35° 은 TM 10° 보다 유의하게 높았지만(p<.05), BE 25° 는 TM 10° 와 비교할 시 유의한 차이가 없었다. 그리고 BE 25° 와 BE 35° 간의 차이는 유의하지 않았다.

표 15. 운동 유형에 따른 운동강도 90%의 RPE 차이 비교

Type	RPE	<i>p</i>
TM 0°	13.3±0.8	
TM 10°	13.9±1.0	TM 0° < BE 25°, BE 35°*
BE 25°	16.7±0.4	TM 10° < BE 35°*
BE 35°	17.2±0.5	

M±SD: Mean±Standard Deviation, TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

**p*<.05



TM: Treadmill, BE: Bicycle Ergometer

**p*<.05

그림 22. 운동 유형에 따른 운동강도 90%의 RPE 차이 비교

V. 논의

본 연구는 심혈관계 질환이 없는 건강한 20대(만19세~28세) 일반인 남성 9명의 목표 심박수별(HR_{max} 의 50%, 70%, 90%)운동에서 트레드밀 속도와 경사도, 자전거 에르고미터의 무릎 각도를 다르게 설정하여 운동할 때 나타나는 심근부담률, 운동자각도의 변화를 알아보고자 하였다. 연구 결과에 대한 논의는 다음과 같다.

1) 목표 심박수별 운동에서 트레드밀 경사도와 자전거 에르고미터의 무릎 각도 설정에 따른 수축기 혈압 비교

수축기 혈압은 심장이 수축할 때 혈관에 가해지는 최고 압력으로, 운동 중 심장 부담을 반영하는 중요한 지표이다. 본 연구에서는 동일한 심박수 조건에서 운동 환경에 따라 수축기 혈압이 어떻게 반응하는지를 분석하였다. 50% HR_{max} 강도에서는 유의한 차이가 없었으나, 70% HR_{max} 에서는 트레드밀 0°보다 자전거 에르고미터에서 수축기 혈압이 유의하게 높았다. 90% HR_{max} 에서는 자전거 에르고미터와 트레드밀 10° 모두에서 트레드밀 0°보다 수축기 혈압이 유의하게 높았다. 또한 자전거 에르고미터 35°에서 트레드밀 10°보다 수축기 혈압이 유의하게 높았으며, 자전거 에르고미터 35°에서 25° 수축기 혈압이 유의하게 높았다.

운동유발성 혈관경련 협심증 환자를 대상으로 트레드밀과 고정식 자전거 운동 중 혈압 반응을 비교한 연구에서, 최대 운동 시 수축기 및 이완기 혈압이 자전거에서 더 높게 나타났다고 보고하였다(Kasai et al., 1991). 또한 심근허혈 반응의 발생은 트레드밀에서 더 빈번하게 관찰되었다. 또한 관상동맥 경련 환자를 대상으로 한 연구에서 자전거 운동이 트레드밀에 비해 혈압 상승이 더

두드러졌고, 반면 심박수의 증가는 상대적으로 낮게 나타났다고 보고하였다 (Yamakado et al., 1991). 관상동맥 증후군 환자를 대상으로 운동강도 60% 및 85% 조건에서 트레드밀과 자전거를 비교한 연구에서도, 자전거 운동 시 수축기 및 이완기 혈압이 더 크게 상승하는 경향을 보였다(김영주 등, 2012). Reed(2007)의 연구에서는 좌식 생활습관을 가진 아프리카계 미국 여성들을 대상으로 HR_max 40%와 60% 수준의 운동 강도에서 고정식 자전거와 트레드밀 운동 간 혈압 반응을 비교한 결과, 고정식 자전거에서 수축기 및 이완기 혈압 모두 유의하게 더 높은 수치를 보였으며, 이는 본 연구 결과와 일치하는 경향을 보인다. 이러한 생리학적 반응의 원인으로서는 고정식 자전거가 트레드밀에 비해 운동하지 않는 부위의 혈관 수축 반응이 더 크고, 기계적 효율성이 낮아 동일한 운동 작업 시에도 근육 내 혈류 저항이 더 크게 나타나는 점이 지적된다. 또한 자전거 운동은 미주신경 자극이 감소되고, 하체 근육의 긴장도와 상체의 등척성 수축이 상대적으로 더 커져 혈압 상승을 유발할 수 있다 (Franklin, 1985; Blomqvist et al., 1981; Bunker et al., 1992; Tulppo et al., 1999).

앞서 서술한 바와 같이 HIIT는 심혈관질환자에게도 효과적인 운동 방법으로 다수의 연구에서 긍정적으로 평가되어 왔다(Molmen et al., 2012). Wewege et al.(2018)은 심혈관질환자를 대상으로 HIIT를 적용한 23개 연구의 통합 분석 결과, 총 17,083회의 훈련 세션(약 11,333시간의 누적 훈련 시간) 동안 운동과 직접적으로 관련된 심혈관계 이상반응(cardiovascular adverse event)은 단 1건만 발생하였으며, 이는 매우 낮은 발생률로 HIIT의 안전성을 뒷받침한다고 하였다.

그럼에도 불구하고 HIIT는 고강도 운동이 포함되어 있기 때문에 심혈관질환자에게 적용 시 각별한 주의가 요구된다. 운동 중단 기준을 명확히 숙지하고, 운동 중 신체 반응을 세밀히 관찰하는 것이 필수적이다. ACSM(2021)의 운

동 검사 및 처방 지침에 따르면, 고혈압 환자의 경우 운동 중 수축기 혈압은 220mmHg 이하, 이완기 혈압은 105mmHg 이하로 유지되어야 하며, 일반적인 운동 중단 기준으로는 협심증 증상, 수축기 혈압 250mmHg 초과, 이완기 혈압 115mmHg 초과와 같은 과도한 혈압 상승이 포함된다.

그러나 실제 임상 현장에서는 운동 강도의 기준을 대부분 심박수에만 의존하는 경우가 많아, 심혈관질환자에게 중요한 지표 중 하나인 혈압, 즉 심근부담률의 구성 요소 중 하나를 간과하는 경향이 있다. 따라서 HIIT와 같은 고강도 운동을 심혈관질환자에게 안전하고 효과적으로 적용하기 위해서는 반드시 수축기 혈압 반응을 포함한 전반적인 심혈관 생리 반응을 고려한 개별 맞춤형 처방이 필요하다.

2) 목표 심박수별 운동에서 트레드밀 경사도와 자전거 에르고미터의 무릎 각도 설정에 따른 이완기 혈압 비교

이완기 혈압은 수축기에 박출된 혈액이 말초로 이동할 때 생기는 압력으로, 본 연구에서는 운동 환경에 따른 차이를 분석하였다. HR_{max} 의 50%, 70%, 90% 환경에서는 모든 트레드밀에서 모든 자전거 에르고미터 환경보다 유의하게 더 높은 이완기 혈압을 나타냈다.

심근경색 환자를 대상으로 한 연구에서는 트레드밀과 자전거 운동을 실시한 결과, 목표 심박수(HR_{max} , 40%, 60%, 85%)에서 자전거 운동 시 이완기 혈압이 트레드밀보다 유의하게 높게 나타났다고 보고한 바 있다(김영주 등, 2002). 또한 Kasai 등은 운동 유발성 혈관경련 협심증 환자를 대상으로 한 연구에서, 최대 운동 강도 시 트레드밀에 비해 고정식 자전거에서 이완기 혈압이 유의하게 상승한다고 하였다. 이는 본 연구의 결과와는 다소 상반된 양상을 보이나, 본 연구에서는 두 운동 사이에 일주일의 간격을 두어 선행 운동

의 영향을 최소화하였다는 점이 이완기 혈압의 차이를 초래한 원인일 수 있을 것으로 사료된다.

3) 목표 심박수별 운동에서 트레드밀 경사도와 자전거 에르고미터의 무릎 각도 설정에 따른 심근부담률 비교

심근부담률은 HR과 SBP의 곱으로 계산되며, 본 연구에서는 $70\%HR_{max}$ 와 $90\%HR_{max}$ 에서 자전거 에르고미터 운동의 심근부담률이 유의하게 높은 경향을 보였다. $50\%HR_{max}$ 에서는 운동 환경 간 유의미한 차이가 없었고, $70\%HR_{max}$ 에서는 트레드밀 0° 보다 자전거 에르고미터가 유의하게 $90\%HR_{max}$ 에서는 트레드밀 0° 보다 자전거 에르고미터와 트레드밀 10° 에서 모두 심근부담률이 높았다. 또한 자전거 에르고미터 내에서 무릎 각도 35° 가 25° 보다 높은 심근부담률을 나타냈다.

이러한 결과는 자전거 에르고미터 운동 시 운동에 참여하지 않는 부위인 상체와 같은 부위에서 강한 말초혈관 수축 반응이 나타나고, 이로 인해 전신 혈류 저항이 증가하여 심장이 더 높은 압력을 발생시켜야 하기 때문에 심근부담률이 상승하는 것으로 해석된다(Blomqvist et al., 1981). 더불어 자전거 에르고미터는 트레드밀보다 기계적 효율성이 낮기 때문에 동일한 심박수 조건에서 운동하더라도 트레드밀에 비해 더 큰 에너지 소모와 심혈관 반응을 유발할 수 있고(Franklin, 1985), 하지에 국한된 근육 활동은 산소 수요 초과와 혈류 저항 증가를 유발하여 심장에 대한 부담을 가중시킨다(Bunker et al., 1992).

국내의 한 연구에서도 일치한 결과를 보인다. 평균 연령 53.7 ± 8.1 세의 심근경색 남성 환자 41명을 대상으로 하여 트레드밀 운동부하검사를 실시한 후, 트레드밀과 자전거 에르고미터에서 40%, 60%, 85%의 목표심박수를 기준으

로 유산소 운동을 시행하였다(김영주 등, 2002). 그 결과, 동일한 심박수 조건에서 자전거 에르고미터 운동 시 심근부담률이 트레드밀보다 유의하게 높게 나타났다. 이는 심근경색 환자의 트레드밀 기반의 운동부하검사 결과를 자전거 에르고미터에 그대로 적용할 경우 실제적인 운동 강도가 과도하게 설정될 위험이 있음을 시사한다. 따라서 심혈관질환자들을 위한 심장재활 프로그램 설계 시 운동기구 간의 혈액학적 반응 차이를 반드시 고려해야 하며, 생리학적 특성과 반응에 기반한 맞춤형 접근이 요구된다.

본 연구 결과는 동일한 심박수에서 운동하더라도 운동기구의 종류와 세부 설정에 따라 심근부담률이 유의하게 달라질 수 있음을 보여준다. 특히 트레드밀을 이용한 운동부하검사 결과를 기반으로 하여 운동강도를 설정하지만 자전거 에르고미터와 같은 다른 운동기구를 선택하거나, 해당 운동기구의 경사도 및 안장 높이 등 세부 설정을 달리할 경우, 실제 혈액학적 반응에 차이가 발생할 수 있으므로 세심한 주의가 필요하다. 심근부담률은 단순한 생리적 반응을 넘어서 심혈관질환자에게 있어 매우 중요한 위험 경고 신호로 간주되며, 운동강도 조절 시 반드시 고려되어야 하는 핵심 지표이다(Gobel 등, 1978). 이러한 상황에서 심혈관질환자를 대상으로 심장재활 프로그램을 실시할 때 단순 심박수만을 기준으로 운동 강도를 설정할 경우, 주요 핵심 지표인 수축기 혈압, 이완기 혈압, 심근부담률과 같은 주요 혈액학적 반응을 간과할 수 있다. 따라서 심혈관질환자에게 보다 안전한 운동 처방을 제공하기 위해서는 심박수 뿐만 아니라 심근부담률의 변화를 면밀히 관찰해야 하며, 자전거 에르고미터 운동 시에는 최대 무릎 굴곡각도를 보다 작게 설정할 필요가 있고, 하지의 혈류 저항을 상대적으로 적은 트레드밀을 사용하는 것이 보다 안전한 접근이 될 수 있다. 또한 고강도 운동 시에는 트레드밀의 경사도를 과도하게 높이지 않는 것이 심혈관계 부담을 최소화하는 데에 효과적일 수 있다.

4) 목표 심박수별 운동에서 트레드밀 경사도와 자전거 에르고미터의 무릎 각도 설정에 따른 운동자각도 비교

운동자각도는 주관적으로 인지하는 운동 강도로, 본 연구 결과 50%HR_{max}에서는 유의한 차이가 없었고, 70%HR_{max}에서는 트레드밀 0° 보다 자전거 에르고미터에서 RPE가 유의하게 높았으며, 90%HR_{max}에서 자전거 에르고미터가 트레드밀 0° 보다 높았다. 또한 트레드밀 10° 보다 자전거 에르고미터 35° 에서 유의하게 높았다. 무릎 각도 차이에 따른 유의한 차이는 없었다.

Abrantes et al. (2012)의 연구에 따르면, 동일한 운동 강도 조건에서 자전거 에르고미터 사용 시 자각되는 운동 강도(RPE)는 트레드밀 운동보다 유의하게 높은 수치를 나타내었으며, 트레드밀 운동은 실제보다 운동 강도가 낮게 인식되는 경향이 있음을 보고하였다. 이러한 결과는 Green et al. (2003)의 연구에서도 확인되었는데, 그들은 호흡 보상 역치 수준에서 평가된 전체 및 차별화된 운동자각도가 운동 방식에 따라 상이하게 나타났으며, 특히 트레드밀보다 자전거 에르고미터에서 더 높은 운동자각도를 보고하였다(Green et al., 2003).

또한 선행 연구에 따르면 동일한 상대적 운동 강도에서 트레드밀보다 고정식 자전거 에르고미터 운동 수행 시 심근산소요구량이 유의하게 증가하며, 이로 인해 주관적으로 인식되는 운동 강도(RPE) 역시 더 높게 나타날 수 있다고 제시하였다(김영주 등, 2009). 이는 본 연구에서 확인된 결과와도 일치하며, 운동 방식의 차이가 심혈관계 부담 및 주관적 운동자각도에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

VI. 결론

본 연구의 목적은 심혈관계 질환이 없는 건강한 20대(만19세~28세) 일반인 남성 9명의 목표 심박수별(HR_{max} 의 50%, 70%, 90%)운동에서 트레드밀 속도와 경사도, 자전거 에르고미터의 무릎 각도를 다르게 설정하여 운동할 시 나타나는 수축기 혈압, 이완기 혈압, 심근부담률, 운동자각도의 변화를 알아보는 것이다. 이를 통해 운동방식에 따른 심근의 과도한 부담을 밝히고 보다 안전한 운동방식을 규명하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 저강도 운동(50% HR_{max})에서는 트레드밀과 자전거 에르고미터 간 수축기 혈압, 심근부담률, 운동자각도에서 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 이완기 혈압은 자전거 에르고미터 조건에서 트레드밀보다 유의하게 낮았다.

2) 중강도(70% HR_{max}) 운동에서는 트레드밀 0° 보다 자전거 에르고미터를 이용해 운동할 시 수축기 혈압이 유의하게 높았으며, 이완기 혈압은 트레드밀 보다 자전거 에르고미터에서 유의하게 낮았다. 심근부담률, 운동자각도 수치는 트레드밀 0° 보다 자전거 에르고미터를 이용해 운동할 시 유의하게 높았다.

3) 고강도(90% HR_{max}) 운동에서는 트레드밀 0° 조건보다 트레드밀 10° 와 자전거 에르고미터를 이용하여 운동할 시 유의하게 높은 수축기 혈압을 나타내었다. 또한 트레드밀 10° 와 자전거 에르고미터 무릎 각도 25° 조건으로 운동할 때보다 자전거 에르고미터에서 무릎 각도를 35° 로 설정하여 운동할 시 수축기 혈압이 유의하게 높았다. 이완기 혈압은 트레드밀의 운동 환경보다 자전거 에르고미터 운동 환경에서 유의하게 더 낮았으며 심근부담률은 트레드밀 0° 보다 트레드밀 10° 와 자전거 에르고미터에서 운동할 시 유의하게 높

았다. 마지막으로 운동자각도는 트레드밀 0° 보다 자전거 에르고미터 운동 시 유의하게 높았으며 트레드밀 10° 보다 자전거 에르고미터 무릎 각도 35° 일 때 유의하게 높았다.

이상의 결과는 동일한 심박수 조건이라도 운동기구의 설정 방식에 따라 심혈관계 생리 반응 및 주관적 운동 강도 인지가 실제로는 달라질 수 있음을 보여준다. 특히 고강도 환경에서는 그 차이가 더욱 뚜렷하게 나타났으며, 이는 심혈관계 부담을 최소화하는 개인별 맞춤형 운동처방이 필요함을 시사한다.

심혈관질환자에게 심장재활 프로그램으로서 고강도 인터벌 트레이닝을 적용할 경우 안전이 가장 중요하다. 그러나 고강도 운동일수록 심혈관계에 가해지는 부담이 크기 때문에, 단순 심박수를 이용한 운동강도 설정 및 모니터링은 안전을 보장하기에 부족하다. 뿐만 아니라 고강도에서는 같은 운동기구라도 운동 방식에 따라서 심혈관계 생리 반응이 달라질 수 있어 효과적인 고강도 인터벌 트레이닝을 안전하게 수행하기 위해 운동기구의 경사도, 안장 높이 등과 같은 세부 설정값을 정밀하게 조정하는 것이 필수적이다.

예를 들어, 트레드밀의 경우 고강도 환경에서는 경사도를 높이기보다 평지에서 운동하는 것이 심혈관 부담을 줄일 수 있으며, 자전거 에르고미터에서는 무릎 굴곡이 과도하지 않도록 안장을 높게 설정함으로써 혈압 상승 및 심근부담률 상승을 완화시킬 수 있다.

따라서 향후 운동프로그램을 진행할 때, 특히 고강도 운동 설계 시에는 대상자의 심박수, 혈압, 심근부담률 등 혈액학적 반응을 면밀히 평가하고, 운동기구의 세부 설정까지 반영한 개별화된 운동 계획 수립이 필요하다. 또한 기구별 심혈관 반응 차이를 고려한 정량적 가이드라인과 임상 기준 마련이 요구되며, 이는 향후 고위험군 대상자에 대한 고강도 운동 적용 시, 효과성과 안전성을 동시에 확보할 수 있는 기반 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 구근희. (2018). 수심에 따른 수중걷기와 수중스쿼트가 하지의 근활성도 및 심부담도에 미치는 영향 (석사학위논문). 단국대학교 대학원, 체육학과 운동생리학 전공.
- 김경배. (2015). 고강도 인터벌 트레이닝의 방법과 적용. 대한운동사협회 위크숍자료집, 42, 10-10.
- 김영주, 김철, 안재기, 임시웅, 김은경, 신영오, 오재근. (2002). 심근경색 환자의 6주 운동요법 수행시 트레드밀과 바이크 이용에 따른 심근산소소비량과 혈압 비교. 대한스포츠의학회지, 20(1), 1-10.
- 김영주, & 김철현. (2008). 심장재활에 참여한 급성 관상동맥증후군 환자에서 약물 반응과 운동 형태의 변화에 따른 심혈관과 운동지각도의 반응. 생명과학회지, 18(9), 1263-1270.
- 김영주, 김한수, & 지혜미. (2012). 트레드밀과 바이크 운동 순서에 따른 중, 고강도 운동처방이 심혈관질환자의 혈역학 반응에 미치는 영향. 한국스포츠학회, 10(3), 591-600.
- 김은진. (2019). 고강도 인터벌 트레이닝이 초등학생의 자기통제력 및 주의 집중력에 미치는 영향: Effects of High Intensity Interval Training on Self-control and Attention in Elementary School Students (석사학위논문). 한국교원대학교, 한국교원대학교 대학원
- 김철, & 김영주. (2009). 허혈성 심장병에서 운동방법에 따른 심근산소요구량 및 운동자각도 비교. 대한재활의학회지, 33(5), 1-4.
- 김철, 안재기, 방인결, 이건주, 김병옥, 소무철, ... & 정인탁. (2006). 관상동맥질환에서 운동능력 및 위험인자에 대한 심장재활의 효과. 대한재활의학

- 회지: 제, 30(1).
- 김철, 임시웅, 이성민, & 안재기. (2000). 심장질환 환자에서의 유산소 운동의 효과. 대한재활의학회지, 24(6), 1155-1161.
- 김혜정, 나희영, 이효진, & 김선형. (2014). 생체신호 측정 시스템 개발. In KIIT 학술대회 논문집 (pp. 429-433).
- 건강보험심사평가원. (2023). 심사평가원, ‘심장질환 진료 현황’ 발표.
- 서정우, 최진승, 강동원, 배재혁, & 탁계래. (2012). 사이클 페달링 시 안장 높이에 따른 하지관절 각도와 근육활성화의 상관관계. 한국운동역학회지, 22(3), 357-363.
- 신경아. (2018). 한국성인의 대사증후군 예방을 위한 운동부하 검사 시 단계별 심근부담률 적정 임계점. 임상검사과학회지, 50(2), 136-143.
- 안계택, 진선아, & 정진욱. (2019). 고혈압의 진단 및 치료: 대한고혈압학회 진료지침을 기반으로. 대한신경과학회지, 37(2), 123 - 134.
- 엄규환. (1988). 자연과학편: 운동부하 후 시간 경과별 심박수 및 산소 섭취량의 변화. 한국체육학회지, 27(1), 241-248.
- 오수찬. (2023). 준비운동 방법이 10RM 벤치프레스 운동 시 반복횟수 및 총운동량, 심부담도, 근활성도에 미치는 영향 [석사학위논문, 단국대학교 대학원]. 경기도.
- 이종호. (2005). 항고혈압제를 복용하는 고혈압환자의 유산소성 운동이 동맥 맥파속도와 혈관압력에 미치는 영향 [박사학위논문, 한양대학교 대학원]. 서울.
- 이충일. (2002). 씨킷 웨이트트레이닝이 성인 비만여성의 신체조성, 혈압 및 혈청지질에 미치는 효과. 한국사회체육학회지, 18(2), 1337-1346.
- 정일규, 윤진환 (2005). 휴먼 퍼포먼스와 운동생리학. 대경북스.
- 정인숙. (2015). 고강도 인터벌 트레이닝이 심혈관질환자의 QT dispersion

- 과 회복기 심박수에 미치는 영향 [석사학위논문, 한국체육대학교]. 서울.
- 최정희, 김형진, 양은경, 박윤엽, 박재식. (1995). 트레드밀 속도 및 경사도에 따른 운동선수와 비선수의 산소섭취량. *Korean Circulation Journal*, 25(6), 1175-1182.
- 통계청. (2022). 2022년 사망원인통계 결과. 통계청
- 한갑수. (1980). 인체해부학. 서울: 고문사
- 황보상호. (2020). 리컴번트(Recumbent) 에르고미터 운동 시 무릎각도가 다리근육의 활성화도에 미치는 영향 [석사학위논문, 동의대학교 대학원]. 부산.
- Abell, B., Glasziou, P., Briffa, T., & Hoffmann, T. (2017). Exercise training characteristics in cardiac rehabilitation programmes: A cross-sectional survey of Australian practice. *Open Heart*, 4(1)
- Abrantes, C., Sampaio, J., Reis, V., Sousa, N., & Duarte, J. (2012). Physiological responses to Treadmill and cycle exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 33(1), 26-30.
- American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. (2020). Guidelines for cardiac rehabilitation and secondary prevention programs (6th ed.). Human Kinetics.
- American College of Sports Medicine. (2018). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (10th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- American College of Sports Medicine. (2021). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (11th ed.). Wolters Kluwer.
- 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 muscle groups. *Circulation Research*,

48(2), 187-192.

- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 2(2), 92-98.
- Boutcher, S. H. (2011). High-intensity intermittent exercise and fat loss. *Journal of Obesity*, 2011, 868305.
- Bunker, C. H., Ukoli, F. A., Nwankwo, M. U., Omene, J. A., Currier, G. W., Holifield, K. L., ... & Kuller, L. H. (1992). Factors associated with hypertension in Nigerian civil servants. *Preventive Medicine*, 21(5), 710-722.
- Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J. F., Bradwell, S. N., & Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of Applied Physiology*, 98(6), 1985-1990.
- Burgomaster, K. A., Heigenhauser, G. J. F., & Gibala, M. J. (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 100(6), 2041-2047.
- Carter, J. B., Banister, E. W., & Blaber, A. P. (2003). The effect of age and gender on heart rate variability after endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(8), 1333-1340.
- Chobanian, A. V., Bakris, G. L., Black, H. R., Cushman, W. C., Green, L. A., Izzo, J. L., ... & Roccella, E. J. (2003). The seventh report of the Joint National Committee on prevention, detection,

- evaluation, and treatment of high blood pressure. *JAMA*, 289(19), 2560-2572.
- Costigan, S. A., Eather, N., Plotnikoff, R. C., Taaffe, D. R., & Lubans, D. R. (2015). High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: a systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 49(19), 1253-1261.
- Courneya, K. S., & Parker, R. (2011). Physical activity and cancer: An introduction. *Recent Results in Cancer Research*, 186, 1-10.
- Dalleck, L. C., & Dalleck, A. M. (2008). The ACSM exercise intensity guidelines for cardiorespiratory fitness: Why the misuse? *Journal of Exercise Physiology Online*, 11(4), 1-11.
- Fagard, R., Aubert, A., Staessen, J., Eynde, E. V., Vanhees, L., & Amery, A. N. T. O. O. N. (1984). Cardiac structure and function in cyclists and runners. *Comparative echocardiographic study. Heart*, 52(2), 124-129.
- Farnett, L., Mulrow, C. D., Linn, W. D., Lucey, C. R., & Tuley, M. R. (1991). The J-curve phenomenon and the treatment of hypertension: is there a point beyond which pressure reduction is dangerous?. *Jama*, 265(4), 489-495.
- Franklin, B. A. (1985). Exercise testing, training and arm ergometry. *Sports Medicine*, 2(2), 100-119.
- Gayda, M., Ribeiro, P. A., Juneau, M., & Nigam, A. (2016). Comparison of different forms of exercise training in patients with cardiac disease: Where does high-intensity interval training fit?

- Canadian Journal of Cardiology, 32(4), 485-494.
- Gibbons, R. J., Balady, G. J., Beasley, J. W., et al. (2002). ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: Summary article. *Circulation*, 106(14), 1883-1892.
- Gobel, F. L., Norstrom, L. A., Nelson, R. R., Jorgensen, C. R., & Wang, Y. (1978). The rate-pressure product as an index of myocardial oxygen consumption during exercise in patients with angina pectoris. *Circulation*, 57(3), 549-556.
- Green, J. M., Crews, T. R., Bosak, A. M., & Peveler, W. W. (2003). Overall and differentiated ratings of perceived exertion at the respiratory compensation threshold: effects of gender and mode. *European journal of applied physiology*, 89, 445-450.
- Green, J. M., Crews, T. R., Bosak, A. M., & Peveler, W. (2002). Physiological responses at 0% and 10% treadmill incline using the RPE estimation-production paradigm. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 42(1), 8.
- Guiraud, T., Nigam, A., Gremeaux, V., Meyer, P., Juneau, M., & Bosquet, L. (2012). High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports Medicine*, 42(7), 587-605.
- FOX III, S. M. (1971). Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res*, 3, 404-432.
- Huang, M., Long, L., Tan, L., Shen, A., Deng, M., Peng, Y., et al. (2022). Isolated diastolic hypertension and cardiovascular risk. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 8, 810105.

- Kasai, A., Yamakado, T., Masuda, T., Aoki, T., Futagami, Y., Hamada, M., & Nakano, T. (1991). Exercise-induced ST segment shift in vasospastic angina. *Journal of Cardiology*, 21, 215-220.
- Karvonen, M. J., Kentala, E., & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annales medicinae experimentalis et biologiae Fenniae*, 35(3), 307-315.
- Kessler, H. S., Sisson, S. B., & Short, K. R. (2012). The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. *Sports Medicine*, 42(6), 489-509.
- Kim, C., Kim, C. H., Jee, H., Lim, Y. J., & Kim, Y. J. (2014). Effects of exercise type on hemodynamic responses and cardiac events in ACS patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(4), 609-614.
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports medicine*, 32(1), 53-73
- Lea, J. W., O' Driscoll, J. M., Coleman, D. A., & Wiles, J. D. (2021). Validity and reliability of RPE as a measure of intensity during isometric wall squat exercise. *Journal of Clinical and Translational Research*, 7(2), 248.
- Molmen, K. S., Wisloff, U., Aamot, I. L., Stoylen, A., & Ingul, C. B. (2012). Aerobic interval training compensates age related decline in cardiac function. *Scandinavian Cardiovascular Journal*,

46(3), 163-171.

Naughton, J.(1988). Exercise Testing: Physiological, Biomechanical, and Clinical Principle. Mount Kisco, NY: Futura

Peveler, W. W. (2008). Effects of saddle height on economy in cycling. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(4), 1355-1359.

Pluim, B. M., Zwinderman, A. H., van der Laarse, A., & van der Wall, E. E. (2000). The athlete's heart: A meta-analysis. *Circulation*, 101(3), 336-344.

Reed, J. L. (2007). Blood pressure response of sedentary African American women during cycle and Treadmill exercise. *Ethnicity & Disease*, 17(1), 59-64.

Richardson, C. R., Franklin, B., Moy, M. L., & Jackson, E. A. (2019). Advances in rehabilitation for chronic diseases: improving health outcomes and function. *Bmj*, 365.

Robergs, R. A., & Landwehr, R. (2002). The surprising history of the "HRmax = 220 - age" equation. *Journal of Exercise Physiology Online*, 5(2), 1-10.

Rognmo, Ø., Hetland, E., Helgerud, J., Hoff, J., & Slørdahl, S. A. (2004). High-intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 11(3), 216-222.

- Ross, L. M., Porter, R. R., & Durstine, J. L. (2016). High-intensity interval training (HIIT) for patients with chronic diseases. *Journal of sport and health science*, 5(2), 139–144.
- Riebe, D., Ehrman, J. K., Liguori, G., & Magal, M. (2018). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. American College of Sports Medicine.
- Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M., & Yamamoto, K. (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO_2 max. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(10), 1327-1330.
- Tulppo, M. P., Makikallio, T. H., Laukkanen, R. T., & Huikuri, H. V. (1999). Differences in autonomic modulation of heart rate during arm and leg exercise. *Clinical Physiology*, 19(3), 294-299.
- Weston, K. S., Wisløff, U., & Coombes, J. S. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(16), 1227-1234.
- White, W. B., Black, H. R., Weber, M. A., Elliott, W. J., Bryzinski, B. S., & Fakouhi, T. D. (1999). Heart rate and the rate-pressure product as determinants of cardiovascular risk in patients with hypertension. *American Journal of Hypertension*, 12(S2), 50S-55S.

Whiteson JH. Cardiac Rehabilitation. In: Braddom RL, editor.

Physical medicine and Rehabilitation, 3th ed, Philadelphia:

Saunders Elsevier, 2007, 706–737

Yamakado, T., Kasai, A., Masuda, T., Futagami, Y., Kawasaki, A., Zhang, Y., & Nakano, T. (1991). Exercise-induced coronary spasm: Comparison of Treadmill and bicycle exercise in patients. *Journal of Cardiology*, 21, 215-220.

Yue, T., Wang, Y., Liu, H., Kong, Z., & Qi, F. (2022). Effects of high-intensity interval vs. moderate-intensity continuous training on cardiac rehabilitation in patients with cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9, 845225.

ABSTRACT

Effects of Exercise Methods Using Treadmill and Bicycle Ergometer on Rate Pressure Product and Rating of Perceived Exertion

Juwon Bae
Department of Health
and Exercise Management
Graduate School of
Lifetime Welfare

This study aimed to compare the effects of exercise equipment settings on rate pressure product (RPP) and rating of perceived exertion (RPE) in healthy males in their 20s without cardiovascular disease. Participants performed exercises on a Treadmill (TM) with inclines of 0° and 10° , and on a bicycle ergometer (BE) adjusted to knee extension angles of 25° and 35° , at target intensities corresponding to 50%, 70%, and 90% of their maximum heart rate (HRmax). During each exercise session, systolic and diastolic blood pressure, heart rate, RPP, and RPE were measured and compared.

At low intensity (50% HRmax), no significant differences in systolic blood pressure, RPP, or RPE were observed between the Treadmill and bicycle ergometer, although a significant difference was found in diastolic blood

pressure. However, at moderate (70% HRmax) and high (90% HRmax) intensities, significant differences were observed in all variables. Notably, the BE 35° condition elicited the highest RPP values.

These findings suggest that cardiovascular responses may differ depending on the type and settings of exercise equipment, even under the same heart rate conditions. For individuals with cardiovascular disease, selecting the appropriate exercise modality and equipment configuration is crucial for ensuring a safe exercise environment. Moreover, exercise intensity should not be determined solely by heart rate; blood pressure should also be monitored to account for myocardial workload. This study provides foundational data for prescribing more accurate and safer exercise intensities in cardiovascular disease prevention and rehabilitation.