



Original Article

Effects of Postprandial Moderate-intensity Continuous Exercise and High-intensity Interval Exercise on Blood Glucose, Blood Pressure, and Blood Lactate Levels in Men Aged 40-50s with Prediabetes and Prehypertension

Min-Gu Han, Won-Beom Park and Man-Gyoon Lee*

Kyung Hee University

Article Info

Received 2024. 12. 17.

Revised 2025. 03. 12.

Accepted 2025. 03. 26.

Correspondence*

Man-Gyoon Lee

mlee@khu.ac.kr

Key Words

MICE, HIIE, Prediabetes,
Blood glucose,
Blood pressure,
Blood lactate

PURPOSE This study investigated the effects of moderate-intensity continuous exercise (MICE) and high-intensity interval exercise (HIIE), performed postprandially, on blood glucose, blood pressure, and blood lactate levels in men aged 40–50 with prediabetes and prehypertension. **METHODS** Twelve men with prediabetes and prehypertension were selected. After consuming a liquid meal, the participants participated in three trials: MICE, HIIE, and a non-exercise condition, with a one-week washout period between each trial. The trials were conducted in a counter-balanced manner to ensure equal energy expenditure across conditions. The intensity of the MICE trial was set at 70% of the heart rate reserve (HRR), whereas the HIIE trial alternated between 50% and 90% of HRR for 30 minutes. Blood glucose, blood pressure, and blood lactate levels were measured at various time points during each trial, and a two-way repeated-measures ANOVA was used for analysis. **RESULTS** 1) In the MICE trial, significant reductions were observed in blood glucose (at 15 and 30 minutes during exercise), systolic blood pressure (SBP) (at 50 minutes post-exercise), and diastolic blood pressure (DBP) (at 20, 40, 50, and 60 minutes post-exercise). 2) In the HIIE trial, significant reductions in blood glucose (at 15 and 30 minutes during exercise), SBP (at 40 minutes post-exercise), and DBP (at 40 minutes post-exercise) were observed. Blood lactate levels significantly increased. 3) When comparing the two exercise trials, blood glucose in the HIIE trials showed a recovery trend post-exercise, and blood lactate levels increased to a greater extent. **CONCLUSIONS** These findings suggest that both MICE and HIIE effectively lower blood glucose during exercise, but HIIE causes a more rapid post-exercise increase in blood glucose compared to MICE. In addition, MICE results in a smaller rise in blood lactate. Therefore, MICE is recommended for improving prediabetes and prehypertension. Future research should compare these effects in healthy individuals and examine long-term adaptations to repeated exercise.

서론

당뇨병은 현대 사회에서 가장 대표적인 만성 질환 중 하나이며, 심

혈관 질환, 신경병증, 그리고 신장 질환 등 다양한 합병증을 유발하여 삶의 질을 저하시키고(Kanaley et al., 2022), 이를 통해 기대수명까지도 단축시키는 것으로 보고되어왔다(Alam et al., 2021). 국내 30세 이상의 당뇨병 유병률이 2012년 기준 11.8%에서 2020년 기준 16.7%까지 증가되어 약 526만 명인 것으로 보고되었고(Kwon, 2023), 기준을 당뇨전단계로 확대하면 30세 이상 성인 10명 중 약 4명(44.3%)이 해당되는 것으로 보고되었다(Korean Diabetes

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Association, 2022).

당뇨전단계는 혈당 지표가 정상 기준보다 높고 당뇨병 진단 기준보다는 낮은 고혈당증 상태로서(Bansal, 2015), 공복 혈당 장애, 내당능 장애 또는 두 가지 모두를 포괄하는 비정상적 혈당을 특징으로 하는 상태이다(Echouffo-Tcheugui & Selvin, 2021). 당뇨병 발병 전 당뇨전단계에서부터 높은 수준의 인슐린저항성 및 베타세포 기능 감소가 동반될 수 있고(Bergman, 2013), 고혈당증으로 인한 혈관 손상 및 다양한 합병증의 원인으로 작용될 수 있다(Portero et al., 2014). 특히, 조절되지 않은 혈당은 고혈압을 일으키는 원인으로도 작용되며, 증가된 혈당은 췌장의 베타세포 장애를 유발해 고인슐린혈증을 초래하여 교감신경계 항진과 나트륨 배출을 감소시켜 고혈압을 유발한다(Brownlee et al., 2005). 이에 당뇨병으로의 진행을 예방하기 위해서는 당뇨전단계에서의 적극적인 관리가 필수적이다(Pratley, 2013).

당뇨병을 개선시키기 위한 대표적인 방법으로 약물요법, 식이요법, 그리고 운동요법이 있다(Lingvay et al., 2022). 이 중 약물요법은 저혈당증, 체중 증가, 위장 장애, 말초 부종 및 잠재적인 심혈관 질환의 발현과 같은 부작용을 일으킬 수 있고(Tarry-Adkins et al., 2021), 식이요법은 필수 영양소의 결핍과 같은 부정적인 영향을 동반할 수도 있기 때문에(Churuangsuk et al., 2019) 많은 주의가 필요하다.

운동요법은 비교적 부작용 없이 안전하게 수행 가능한 방법으로서 목적에 따라 다양한 방법으로 시행할 수 있으며, 당뇨병을 개선하는데 가장 핵심적인 방안으로 제시되어 왔다(Kanaley et al., 2022). 다양한 유형의 운동 중 특히 유산소운동은 활동대사량의 증가 및 지방축적의 억제를 통해 인슐린 저항성을 완화시키고(Zanuso et al., 2010), 이를 통한 혈당 조절 및 당뇨병 예방에 매우 효과적인 것으로 보고되어왔다(Frampton et al., 2021). 특히, 식사 후 혈당 조절 능력을 평가할 수 있는 식후 혈당을 개선시키는데도 효과적인 것으로 보고되었다(Bellini et al., 2021). 식후 혈당의 증가는 인슐린 저항성을 악화시켜 제2형 당뇨병의 주요 발병 원인이 될 수 있으며(Hiyoshi et al., 2017), 혈관 내벽의 손상과 염증을 유발해 심혈관 질환 발병의 위험을 증가시킬 수 있기 때문에 유산소운동을 통한 식후 혈당 조절은 당뇨병 환자에게 필수적인 조치가 될 것이다(Lambadiari et al., 2020).

당뇨병 환자를 대상으로 실시하는 유산소운동은 식후 혈당 관리에 매우 효과적이며(Schwaab et al., 2020), 당뇨병 환자의 혈압 조절에도 매우 효과적인 것으로 보고되었다(Heberle et al., 2021). 이와 관련하여 미국대학스포츠의학회(American College of Sports Medicine: ACSM)에서는 성인 제2형 당뇨병 환자에게 주당 150분 이상의 중강도 유산소운동을 권장하고 있다(Kanaley et al., 2022). 중강도의 운동 참여로도 긍정적인 효과를 볼 수 있지만, 고강도로 실시할 경우 더욱 효과가 높은 것으로 보고되었다(Alpsoy, 2020). 이와 같은 결과는 교감신경 항진에 따른 부교감신경 활성 증가 및 혈관 확장과 같은 생리학적 반응에 의한 운동 후 저혈압(post-exercise hypotension: PEH)이 더욱 강하게 유도되기 때문이다(Farinatti et al., 2022). 이러한 고강도 유산소운동은 혈당 조절과 관련해서도 더욱 효과적인 것으로 검증되어 왔다(Silva et al., 2022).

고강도로 실시 가능한 대표적인 운동방법으로 고강도 간헐적 운동(high-intensity interval exercise: HIIE)이 있다. Liu & Wang(2021)은 HIIE가 중강도 지속적 운동(moderate-intensity continuous exercise: MICE)에 비하여 당뇨전단계 환자의 신체 구성, 혈당 및 혈압 조절에 더 효과적이라고 보고하였고, 이와 같은

결과는 RezkAllah & Takla(2019)의 연구에서도 일치하였다. 또한, Lopes et al.(2021)의 연구에서는 HIIE가 수축기 혈압(systolic blood pressure: SBP)의 유의한 감소를 유도한 반면, MICE에서는 유의한 감소가 나타나지 않았다.

이와 같이 혈당 및 혈압에 대한 HIIE의 효과는 다양한 연구들을 통해 검증되어 왔다. 그러나 혈압 조절과 관련된 HIIE의 높은 수준의 영향은 MICE와 비교하여 운동 중 매우 증가된 혈압과 관련된 반사 반응에 의해 나타나기 때문에 위험성이 존재한다(Souza Mesquita et al., 2023). 이와 관련하여 Teles et al.(2022)은 HIIE가 혈당 및 혈압 조절 효과에서 더 우수한 반면, MICE는 운동 참여 중 대상자의 위험요인이 낮고 적응이 용이한 것으로 보고하였다. 추가적으로 두 가지 운동 방법을 비교한 연구들을 살펴보면, Abdelbasset et al.(2020)의 연구에서는 MICE와 HIIE가 당뇨병 환자에게 미치는 효과 간에 유의한 차이가 나타나지 않았으며, Fayh et al.(2018)의 연구에서는 혈당과 혈압에 관련하여 MICE와 HIIE 간의 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이와 같이 선행 연구들의 결과가 일치하지 않고, 혈당과 혈압 개선을 위한 적합한 운동 처방을 제시하지 못한 이유는 대부분의 연구가 운동 중 혈압 및 혈당 변화를 고려하지 않고 운동 후 결과만을 비교하였기 때문이다. 따라서 두 가지 운동 형태의 적합성과 효과성을 판단하기 위해서는 운동 중 반응을 포함하여 전반적인 변화를 비교하는 연구가 필요하다.

전술한 내용들을 종합해보면 유산소운동은 당뇨병 환자의 혈당과 혈압 수준을 개선시키는데 효과적이며, 일회성 운동만으로도 환자의 혈당과 심혈관 질환 위험 요인을 개선시킬 수 있는 것으로 보고되어 왔다. 그러나 선행 연구들마다 운동강도에 대한 결과가 상이하였으며, 운동강도가 혈당과 혈압에 미치는 효과와 관련하여 두 가지 운동강도 간에 효과를 비교 검증한 연구가 매우 한정적이다. 또한 식후 혈당의 변화를 반영하지 못한 상태에서 실험이 진행되는 등의 제한이 있었으며, 운동 중 혈압 상승과 같은 위험성을 고려한 연구는 부족한 실정이다. 이와 더불어 혈중 젖산 농도의 분석을 통한 피로도와 강도 설정에 대한 적합성을 검토한 연구는 더욱 부족한 실정이다. 이에 이 연구는 선행 연구들의 단점을 보완하여 당뇨전단계에 해당되는 40~50대 남성에게 MICE와 HIIE 처치를 통해 혈당과 혈압을 관리하기 위한 최적의 운동강도를 규명하고자 하였다.

이 연구의 목적은 40~50대 당뇨전단계와 고혈압전단계 남성을 대상으로 식사 후 실시한 MICE와 HIIE 처치가 혈당, 혈압 및 혈중 젖산 농도에 미치는 영향을 규명하는 것이다.

연구 방법

연구 대상자

이 연구의 대상자는 G도 S시에 거주하며, 생애주기 중 중년에 해당되는(Lachman et al., 2015) 40~50대 당뇨전단계와 고혈압전단계에 해당되는 남성이다. 당뇨전단계의 기준은 공복 혈당 100~125 mg·dl⁻¹로 하였고(Echouffo-Tcheugui et al., 2023), 고혈압전단계의 기준은 SBP 120~139 mmHg 또는 이완기혈압(diastolic blood pressure: DBP) 80~89 mmHg로 하였다(Chobanian et al., 2003). 아울러 최근 6개월 이내에 체계적인 운동 경험이 없고, 연구에 영향을 줄 수 있는 심혈관계 또는 근골격계 질환 소견이 없으며, 심혈관 변인에 영향

Table 1. Physical characteristics of participants ($M \pm SD$)

Variables	$n = 12$
Age (yrs)	46.08±4.51
Height (cm)	174.50±6.95
Body weight (kg)	83.27±7.96
Body mass index ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	27.36±2.44
Skeletal muscle mass (kg)	35.18±3.56
Body fat mass (kg)	21.48±6.38
Body fat percentage (%)	25.26±6.13

을 주는 약물을 복용하지 않는 비흡연자로 제한하였다.

이 연구의 대상자 수를 선정하기 위해 G*Power 3.1을 사용하여 산출하였다(Faul et al., 2009). 효과 크기 0.4, 유의수준 5%, 그리고 검정력(β) 80%를 적용하여 산출한 결과 이 연구에 필요한 대상자 수는 12명으로 나타났으며(Hong et al., 2022), 탈락률을 고려하여 총 15명의 대상자를 모집하였다. 이 연구가 시작되기 전 K대학교 생명윤리위원회로부터 모든 연구 계획에 대한 승인을 받았고(승인번호: KHGIRB-24-297), 참여 전 연구 목적과 절차에 대하여 충분한 설명 후 자발적으로 참여를 원하는 대상자로부터 동의서를 받고 실험을 진행하였으며, 실험 진행 중 3명의 탈락자가 발생하여 총 12명의 결과를 최종 분석하였다. 이 연구 대상자의 신체적 특성은 <Table 1>에 제시된 바와 같다.

연구 설계와 절차

이 연구는 당뇨전단계와 고혈압전단계의 40~50대 남성을 대상으로 운동 중 에너지 소비량이 동일한 수준으로 확인된 MICE와 HIIE 처치가 식사 후 혈당, 혈압 및 혈중 젖산 농도에 미치는 영향을 규명하기 위해 설계되었다.

측정 항목과 방법

이 연구의 모든 실험은 G도 S시에 소재한 T운동센터에서 진행하였으며, 대상자들은 실험을 위해 총 3회 방문하였다. 대상자들은 방문 48시간 전부터 음주와 격렬한 신체활동을 금하고, 24시간 전부터 카페인 섭취를 제한하였으며, 최소 7시간 이상의 충분한 수면과 8시간 이상의 공복 상태를 유지하도록 통제하였다. 구체적인 측정 항목과 측정 방법은 다음과 같다.

1. 체격과 신체구성

신장은 수동식 신장계(Samhwa, 한국)로 측정하였고, 생체전기저항법 장비(Inbody 270, 인바디, 한국)로 체중, 골격근량, 체지방량 및 체지방률을 측정하였다. 체중(kg)을 신장의 제곱(m^2)으로 나누어 체질량지수(body mass index: BMI)를 산출하였다.

2. 혈당

혈당은 공복시, 식후 15분, 식후 30분, 처치중 15분, 처치중 30분(운동 직후), 처치후 15분, 처치후 30분, 처치후 45분 및 처치후 60분에 측정하였고, 연속혈당측정기(FreeStyle Libre2, 대웅제약, 한국)

를 사용하여 측정하였다. 실험 당일 제공되는 식사를 한 후 2시간 동안의 혈당 수치를 MICE 처치, HIIE 처치, 그리고 NE 처치에서 비교하였다(Nakayama et al., 2022).

3. 혈압

혈압은 자동식 전자혈압계(HEM-7121, Omron, Japan)를 사용하여 측정하였다. 공복시 혈압 측정은 대상자가 실험실 도착 후 의자에 앉아 30분간 휴식을 취한 상태에서 실시하였고, SBP와 DBP를 1분 간격으로 2회 측정 후 평균값을 산출하였다. 처치후 혈압은 처치후 10분, 처치후 20분, 처치후 30분, 처치후 40분, 처치후 50분 및 처치후 60분에 공복시 혈압 측정과 동일한 방법으로 측정하였다(Bonsu & Terblanche, 2016).

4. 혈중 젖산 농도

혈중 젖산 농도 측정은 젖산 분석기(Stat Strip Express Lactate, Nova Biomedical, USA)로 측정하였다. 혈중 젖산 농도 측정을 위해 검지와 중지에서 finger tip 방법을 이용하여 채혈하였다. 손가락 끝을 알콜솜으로 소독한 후 채혈한 첫 번째 혈액이 아닌 두 번째 혈액 한 방울을 분석에 사용하였으며, 공복시와 처치후 5분에 채혈하여 분석하였다(Yoo et al., 2014).

이상에서 기술한 측정 방법을 토대로 측정 절차를 도식화하면 <Figure 1>과 같다. 각 대상자는 MICE, HIIE, 그리고 NE 처치에 counter-balanced order에 따라 반복 참여하였고, 각 처치 간에 1주일의 wash out 기간을 두고 처치를 수행하였으며, 각 처치 내 종속 변인별 측정 시점은 <Figure 2>에 제시된 바와 같다.

처치 방법

모든 대상자가 실험 전날 저녁에 동일한 식사를 하도록 통제하였고, 실험 당일 아침에는 탄수화물 52.1%, 지방 32.4%, 그리고 단백질 15.5%로 구성된 유동식(Ensure Plus, Ensure, USA)을 체중 당 9kcal에 맞춰 상대적인 양을 계산하여 제공하였다(Lee, 2010).

MICE와 HIIE 처치의 처치 간 운동강도는 예비 심박수(heart rate reserve: HRR)를 이용하여 설정한 목표심박수(target heart rate: THR)로 결정하였고(Da Cunha et al., 2011), HRR은 Karvonen & Vuorimaa(1988)의 추정식을 이용해 산출하였다.

▶ $\text{THR} = (\text{HRR} \times 60\sim70\%) + \text{안정시 심박수}$

참가자들은 제공된 유동식을 섭취한 후 의자에 앉아 30분간 안정을 취한 뒤 각 처치에 참여하였다. MICE 처치는 HRR의 70% 강도로 30분간 실시 후 60분간 의자에 앉아 휴식한 뒤 실험을 종료하였고, HIIE 처치는 HRR의 50% 강도로 2분, HRR의 90%와 50% 강도로 4분씩 번갈아 가며 30분간 실시 후 60분간 의자에 앉아 휴식한 뒤 실험을 종료하였으며, NE 처치는 식사를 한 후 120분간 앉아서 휴식을 취한 뒤 실험을 종료하였다(Cho et al., 2016). 처치 간 참가자들의 심박수는 심박수 측정기(H10, Polar, Finland)를 활용하여 모니터링 하였다. MICE와 HIIE 처치중 에너지 소비량을 확인하기 위하여 휴대용 호흡가스 분석기(PNOE, ENDO Medical, USA)를 활용하여 대상자별로 각 운동 중 1회씩, 총 2회 측정하여 분석하였다. MICE와 HIIE 처치중의 에너지 소비량을 비교한 결과 유의한 차이가 없는 것으로 확인되었으며(Table 2), 이에 따라 이 연구에서는 처치 간 에너지 소비량이 동질화된 것으로 간주하여 분석을 진행하였다.



Fig. 1. Experimental procedure

MICE: moderate-intensity continuous exercise; HIIE: high-intensity interval exercise; NE: non exercise

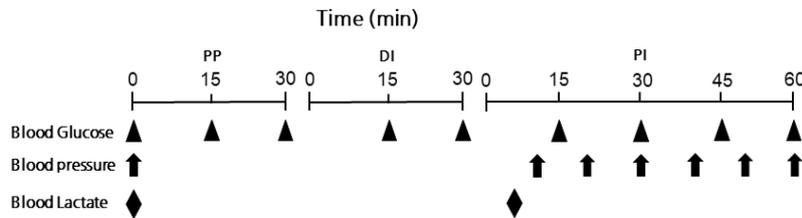


Fig. 2. Measurement time points by dependent variables

0 of PP: preprandial; PP: postprandial; DI: during intervention; PI: post intervention.

자료처리 방법

이 연구에서 얻은 데이터를 SPSS PC⁺ for Windows(version 28.0) 프로그램을 이용하여 분석하였다. 기술통계량을 제시하기 위하여 평균(mean: *M*)과 표준편차(standard deviation: *SD*)를 산출하였다. 두 처치 간, 그리고 각 시기 간 종속변인의 평균 차이를 분석하기 위하여 반복 이원분산분석(two-way repeated measures ANOVA)을 실시하였다. 처치의 주효과, 시기의 주효과, 또는 처치와 시기의 상호작용이 유의하게 나타난 경우, 처치 내 시기 간 평균 차이를 반복 일원분산분석(one-way repeated measures ANOVA)으로 분석하였고, 시기 내 처치 간 평균 차이는 일원분산분석(one-way ANOVA)으로 분석하였다. 사후 검증을 위하여 최소 유의차 검증법(least significant difference: LSD)을 실시하였다. 모든 통계분석의 유의수준(α)을 .05로 설정하였다.

연구 결과

혈당

MICE와 HIIE, 그리고 NE 처치에 따른 혈당의 변화는 <Table 3>에 제시된 바와 같으며, 시기의 주효과 및 처치와 시기의 상호작용이 유의하게 나타났다.

Table 2. Energy expenditure during exercise (*M*±*SD*)

Variables	MICE	HIIE	p
EE (kcal)	329.36±51.61	329.81±43.52	.596

M: mean; *SD*: standard deviation; EE: energy expenditure; MICE: moderate-intensity continuous exercise; HIIE: high-intensity interval exercise.

MICE 처치는 공복시와 비교하여 식후 15분, 식후 30분, 처치중 15분, 처치후 15분, 처치후 30분, 처치후 45분 및 처치후 60분에 혈당이 유의하게 증가되었으며, HIIE 처치는 공복시와 비교하여 식후 30분, 처치중 15분, 처치후 15분, 처치후 30분, 처치후 45분 및 처치후 60분에 혈당이 유의하게 증가되었다. NE 처치는 공복시와 비교하여 식후 15분, 식후 30분, 처치중 15분, 처치중 30분, 처치후 15분, 처치후 30분, 처치후 45분 및 처치후 60분에 혈당이 유의하게 증가되었다. MICE 처치에서는 NE 처치와 비교하여 처치중 15분과 처치중 30분에 유의한 차이가 나타났으며, HIIE 처치에서는 NE 처치와 비교하여 처치중 15분과 처치중 30분 및 처치후 45분에 유의한 차이가 나타났다.

혈압

MICE와 HIIE, 그리고 NE 처치에 따른 혈압의 변화는 <Table 4>에

Table 3. Blood glucose at preprandial and during experiment*(M±SD)*

Variables	Trials	Preprandial	Time (min)								<i>p</i>		
			PP 15	PP 30	DI 15	DI 30	PI 15	PI 30	PI 45	PI 60			
BG (mg·dl ⁻¹)	MICE	107.91 ±11.99	119.58 ±22.30 *	149.08 ±20.91 *	135.58 ±38.59 *	105.33 ±28.98	134.50 ±22.75 *	154.50 ±18.53 *	152.50 ±22.83 *	142.83 ±23.78 *	Time	<.001	+++
	HIIE	105.83 ±14.65	115.00 ±18.07	147.08 ±23.26 *	136.75 ±26.36 *	100.92 ±25.40	128.08 ±23.74 *	152.17 ±22.18 *	158.50 ±21.22 *	150.58 ±23.24 *	Trial	.494	
	NE	107.50 ±16.09	118.08 ±18.59 *	149.00 ±25.60 *	170.08 ±26.26 *#	161.33 ±32.01 *#	148.17 ±32.03 *	141.42 ±29.58 *	136.17 ±22.17 *\$	137.08 ±22.13 *	Time × Trial	<.001	+++

M: mean; *SD*: standard deviation; MICE: moderate-intensity continuous exercise; HIIE: high-intensity interval exercise; NE: non exercise; BG: blood glucose; PP: postprandial; DI: during intervention; PI: post intervention. +++*p*<0.001: Significant main effect and/or interaction. *: Significantly different from preprandial value. #: Significantly different from MICE and HIIE in time. \$: Significantly different from HIIE in time.

Table 4. Blood pressure at preprandial and during experiment*(M±SD)*

Variables	Trials	Preprandial	Time (min)						<i>p</i>		
			PI 10	PI 20	PI 30	PI 40	PI 50	PI 60			
SBP (mmHg)	MICE	129.67 ±5.66	128.75 ±9.41	126.41 ±8.92	126.41 ±8.92	126.58 ±11.40	125.42 ±7.20 *	127.25 ±8.93	Time	.134	
	HIIE	129.67 ±5.80	127.91 ±11.24	126.00 ±10.24	128.58 ±11.09	123.17 ±11.47 *	126.33 ±11.25	125.83 ±11.92	Trial	.595	
	NE	129.42 ±5.68	129.58 ±9.37	130.00 ±6.84	130.00 ±12.54	129.58 ±9.28	130.00 ±9.18	128.67 ±11.14	Time × Trial	.690	
DBP (mmHg)	MICE	86.75 ±8.24	87.33 ±9.59	84.25 ±7.78 *	84.00 ±8.74	82.92 ±9.12 *	83.25 ±7.71 *	83.83 ±8.38 *	Time	<.001	+++
	HIIE	87.41 ±11.29	86.92 ±11.05	85.58 ±10.00	84.83 ±10.74	82.33 ±10.08 *	84.17 ±10.32	84.33 ±9.56	Trial	.983	
	NE	86.75 ±6.70	84.75 ±9.19	83.08 ±9.58 *	82.25 ±9.98 *	84.00 ±10.95	85.75 ±9.50	84.50 ±12.12	Time × Trial	.635	

M: mean; *SD*: standard deviation; MICE: moderate-intensity continuous exercise; HIIE: high-intensity interval exercise; NE: non exercise; SBP: systolic blood pressure; DBP: diastolic blood pressure; PI: post intervention. +++*p*<0.001: Significant main effect and/or interaction. *: Significantly different from preprandial value.

Table 5. Blood lactate at preprandial and during experiment*(M±SD)*

Variables	Trials	Preprandial	Time (min)		<i>p</i>	
			PI 5			
Bla (mmol·l ⁻¹)	MICE	2.15±0.76	4.70±2.20 *	Time	<.001	+++
	HIIE	2.27±0.96	5.74±1.92 *	Trial	<.001	+++
	NE	1.91±0.81	2.21±0.67 #	Time×Trial	<.001	+++

M: mean; *SD*: standard deviation; MICE: moderate-intensity continuous exercise; HIIE: high-intensity interval exercise; NE: non exercise; Bla: blood lactate; PI: post intervention. +++*p*<0.001: Significant main effect and/or interaction. *: Significantly different from preprandial value. #: Significantly different from MICE and HIIE in time.

제시된 바와 같으며, DBP에서 시기의 주효과가 유의하게 나타났다.

MICE 처치는 SBP가 공복시와 비교하여 처치후 50분에 유의하게 감소되었고, DBP가 공복시와 비교하여 처치후 20분, 처치후 40분, 처치후 50분 및 처치후 60분에 유의하게 감소되었다. HIIE 처치에서 SBP가 공복시와 비교하여 처치후 40분에 유의하게 감소되었고, DBP가 공복시와 비교하여 처치후 40분에 유의하게 감소되었다. NE 처치는 DBP가 공복시와 비교하여 처치후 20분과 처치후 30분에 유의하게 감소되었다.

혈중 젖산 농도

MICE와 HIIE, 그리고 NE 처치에 따른 혈중 젖산 농도의 변화는 <Table 5>에 제시된 바와 같으며, 처치의 주효과, 시기의 주효과 및 처치와 시기의 상호작용이 유의하게 나타났다.

MICE 처치와 HIIE 처치는 공복시와 비교하여 처치후 5분에 유의하게 증가되었고, NE 처치와 비교하여 유의한 차이가 나타났다.

논의

혈당의 변화

혈당 조절의 기본 상태를 평가하는 공복 혈당과 달리 식후 혈당은 식사 후 혈당 조절 능력을 평가하는 주요 지표이며(Bellini et al., 2021), 식후 고혈당은 다양한 합병증의 발생과 유의한 상관관계가 있기 때문에 식후 운동을 통한 관리가 매우 중요하다(Takao et al., 2021). 특히, 유산소운동은 인슐린 민감성을 높여 혈당을 매우 효과적으로 조절하는 것으로 보고되었으며(Balducci et al., 2014), 운동 중 및 운동 후 회복기 중에 혈당을 감소시켜 당뇨병 관리와 예방에 있어 효과적인 것으로 보고되었다(Teo et al., 2020). 그러나 운동강도와 그 실시 방식에 따라 혈당의 조절 기전(mechanism)과 회복 패턴의 차이가 있는 것으로 보고되어 왔으며, 이에 운동 방식의 차이에 따른 효과를 비교 분석하는 연구가 요청되어 왔다(Adams, 2013).

이 연구에서는 아침에 식사를 한 후 MICE와 HIIE 처치를 실시하였으며, MICE와 HIIE 처치 모두 식후 증가된 혈당을 운동 처치가 진행되는 동안 감소시켰다. 특히, 식후 30분과 운동 처치중 30분의 혈당을 비교하였을 때 MICE 처치의 경우 29.35% 감소되었고, HIIE 처치의 경우 31.38% 감소되었으며, 처치중 15분과 처치중 30분에 운동을 하지 않은 NE와 유의한 차이가 나타났다. 이와 같은 결과는 NE에서 8.28% 증가된 것과 비교하여 두 처치 모두 혈당 상승을 억제하는데 효과적이었으며, 처치중 각 시점 별 혈당 변화에서 MICE와 HIIE 간의 유의한 통계적 차이가 확인되지 않았다.

반면, HIIE의 경우 처치후 45분에 NE와 비교하여 혈당이 유의하게 상승되었는데, 이것은 HIIE가 짧은 시간 동안 고강도 운동을 반복하며 혈당을 신속히 감소시키지만, 운동 후 혈당이 빠르게 회복되면서 큰 폭의 혈당 변동을 보이는 특성이 있다는 Abderrahman et al.(2018)의 결과로 일부 해석할 수 있다. HIIE에 의한 혈당 변화 양상은 증가된 카테콜아민(catecholamine)의 분비 증가와 관련 있으며(Sigal et al., 1996), 고강도 운동은 코티솔(cortisol)과 에피네프린(epinephrine)과 같은 카테콜아민의 분비를 증가시키는데

(Zouhal et al., 2008), 증가된 카테콜아민은 간에서의 포도당 방출을 증가시켜 혈당 조절에 부정적인 영향을 줄 수 있기 때문이다(Barth et al., 2007).

MICE에서도 NE와 비교했을 때 유의한 차이는 나타나지 않았지만, 운동 처치후 혈당이 상승하는 경향을 보였다. 중강도에서 수행되는 MICE도 카테콜아민의 분비를 증가시킬 수 있으며(Kruk et al., 2020), 이에 따라 일시적인 혈당 상승이 발생할 수 있다. 그러나 이는 운동에 따른 생리적 반응으로, 장기적으로는 인슐린 민감성을 증가시키고 혈당 조절 능력을 향상시키는 데 기여할 수 있다(Zouhal et al., 2008). 실제로 정상 혈당을 가진 사람에게도 운동 후 혈당 상승이 나타날 수 있으며, 이는 호르몬의 일시적 작용 때문으로 해석된다(Sacchetti et al., 2021). 그러나 반복적인 운동은 근육의 글루코스 수용체(glucose transporter type 4: GLUT-4) 발현을 증가시키고(Flores-Opazo et al., 2019), 근육 내 미토콘드리아 기능을 향상시키며, 인슐린 신호전달 경로를 개선함으로써 혈당 조절 능력을 강화한다(Vargas Mendoza et al., 2021). 따라서 NE보다 MICE 또는 HIIE가 장기적으로 혈당 조절에 효과적인 이유는 단순한 혈당 감소율이 아니라, 신체 대사의 적응을 유도하여 포도당 이용률을 증가시키고 인슐린 민감성을 지속적으로 향상시키는 데 있다. 이에 당뇨병 환자와 같이 혈당에 대한 변동이 큰 사람들은 운동을 수행할 때 호르몬 작용에 의한 일시적인 고혈당증이 더 쉽게 나타날 수 있으며(Jelleyman et al., 2015), 장기적인 혈당 관리를 위해서는 운동을 하는 것이 효과적인 것으로 보고되었다(Rynders et al., 2014).

전술한 내용들을 종합하면, MICE와 HIIE 모두 식사로 인하여 증가된 혈당을 운동을 통해 낮추는데 효과적이지만 처치후 혈당이 MICE보다 HIIE가 급격히 증가되는 결과를 보이기 때문에 안정적인 혈당 관리에 효과적인 MICE가 장기적으로 혈당을 안정시켜 당뇨병 환자들에게 권장된다(Iida et al., 2020). 이에 HIIE의 독립적인 처치는 혈당이 감소한 뒤 다시 급격하게 증가될 수 있기 때문에 안정적인 혈당 조절을 고려한다면 MICE와의 병행 또는 MICE의 독립적인 처치가 우선시되어야 할 것으로 판단된다. 그러나 이 연구에서는 반복적인 운동의 적응이 아닌 일회성 반응만을 검토하였기 때문에 향후 MICE와 HIIE의 트레이닝 효과를 규명하는 후속 연구가 요청된다.

혈압의 변화

PEH 반응은 운동 후 회복기 중 혈압이 안정시 수준 이하로 감소되어 지속되는 현상으로서, 자율신경계의 조절에 의해 운동 후 심장 박동 안정화 및 혈관 확장 등을 통하여 발생된다(Halliwill, 2001). 특히, 고혈압 환자에게서 크게 나타나며, 반복적인 PEH 반응은 지속적으로 혈압을 감소시키는 적응 효과로 발전되기 때문에 혈압 관리에 있어 유산소운동이 가지는 중요한 이점을 보여준다(Pescatello et al., 1991).

이 연구의 SBP 결과를 해석해보면, MICE 처치의 경우 공복시와 비교하여 처치후 50분에서 유의하게 감소되었고, HIIE 처치는 공복시와 비교하여 처치후 40분에서 유의하게 감소되었다. 이와 같은 결과는 운동강도의 차이가 PEH 반응 시점을 변경할 수 있다는 MacDonald et al.(1999)의 연구 결과로 설명된다. 고강도 운동은 교감신경계를 활성화시켜 심박수와 혈압의 급격한 상승을 유발시키며, 운동이 종료되면 혈관 확장 기전이 활성화되어 혈압이 빠르게 감소된다(Forjaz et al., 1998). 또한, 고강도 운동은 산화질소의 합성

을 촉진하는 것으로 보고되었으며(Goto et al., 2003), 이와 같은 작용은 혈관 이완을 통하여 말초혈관 저항의 감소를 유발시킬 수 있다(Gielen et al., 2010). 이 연구에서는 두 처치의 에너지 소비량이 동질화되었지만 운동강도가 높은 HIIE 처치가 교감신경계의 활성화와 산화질소 합성을 더 강하게 유도함으로써 운동 후 혈관 확장 및 말초 저항의 감소를 더 크게 유발하여 PEH 반응을 더 뚜렷하게 유발한 것으로 해석할 수 있다(Kapilevich et al., 2020). 혈압의 즉각적인 감소가 고혈압의 개선에 도움된다는 Pescatello et al.(2004)의 연구와 MICE 처치의 경우 교감신경계 반응과 산화질소 합성이 상대적으로 완만하게 나타나고 운동 후 점진적으로 혈관 확장이 일어나 PEH 반응이 비교적 느리게 나타난다는 Marcal et al.(2021)의 연구를 종합적으로 분석해 보면, HIIE와 같은 고강도 운동을 통한 PEH 반응의 강화가 40~50대 남성의 고혈압 관리에 보다 효과적일 것으로 판단된다.

이 연구의 MICE와 HIIE 두 처치에서 시기에 따른 SBP의 반응을 비교해 본 결과 두 처치 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 유산소 운동 후 고혈압전단계 환자의 PEH 반응은 다양하게 보고되었으며, 고혈압전단계 남성을 대상으로 에너지 소비량이 동질화된 MICE와 HIIE의 효과를 비교한 Hong et al.(2022)의 연구에서는 두 처치 모두 PEH 반응이 유의하게 나타났으나 처치 간에 유의한 차이는 없었다. 이와 같은 결과는 PEH 반응을 유발하는데 있어서 운동의 강도보다 운동의 총량이 더 중요하다는 Eicher et al.(2010)의 주장을 통해 해석할 수 있다. 이는 고혈압전단계 환자에게 있어서 PEH 반응을 강화시키기 위해서는 운동강도도 중요하지만 운동의 총량이 더욱 중요하며, 각 개인의 반응성에 따라 PEH 반응이 제한적으로 나타날 수 있다는 것을 시사한다.

한편, DBP의 변화를 살펴보면, MICE 처치의 경우 공복시와 비교하여 처치후 20분, 처치후 40분, 처치후 50분 및 처치후 60분에서 유의하게 감소되었고, HIIE에서는 처치후 40분에서 유의하게 감소되었으며, NE에서도 처치후 20분과 30분 시점에 혈압이 유의하게 감소되었다. 그러나 이와 같은 결과는 일부 대상자의 한정된 반응(12명 중 3명)으로 도출되었기 때문에, 해당 현상에 대한 추가적인 검증과 후속 연구가 필요하다.

이상의 내용을 종합해 보면, 식후저혈압 상태에서 중강도 이하의 운동은 교감신경계를 과도하게 자극하지 않으면서 혈관 이완과 말초 저항 감소를 안정적으로 유지하게 하여 더 유의한 PEH 반응을 나타낼 수 있지만, SBP와 DBP의 증감에 대한 추가적인 후속 연구를 통해 더 깊이 연구할 필요가 있을 것으로 판단된다.

혈중 젖산 농도의 변화

혈중 젖산 농도는 운동강도가 증가되면서 함께 증가되는 정적 상관관계를 보이며(Gladden, 2004), 따라서 혈중 젖산 농도는 피로도를 평가하는 지표로서 활용될 수 있다(Halson, 2014). 피로 지표로서의 젖산 축적을 감소시키기 위한 다양한 방안이 요구되어 왔으며, 이것을 고려한 운동 프로그램 설계는 운동 수행 능력과 피로 저항력을 향상시키는 데 효과적이다(Kubukeli et al., 2002).

특히, HIIE에 지속적으로 참여하는 훈련 프로그램은 근육 내 젖산 제거 효율과 회복 능력을 향상시키는 데 효과적이고(Weltman et al., 1977), 고강도 운동에서의 피로감을 줄이며, 심폐지구력을 증가시키는 데 긍정적인 영향을 주는 것으로 보고되어 왔다(Cuddy et al., 2019). 그러나 체력이 낮거나 젖산역치가 낮은 사람의 경우 고강도

운동에 참여하면 피로가 빠르게 유발될 수 있고, 이에 따라 과훈련 증후군(overtraining syndrome)이 유도될 수 있으므로 주의가 필요하다(Kreher & Schwartz, 2012). 단일 처치로는 고강도 운동이 심폐지구력을 포함한 체력의 개선에 효과적인 방법일 수 있지만, 중강도로 진행되는 운동만으로도 심폐지구력을 유의하게 개선시킬 수 있고, HIIE와 MICE를 병행하여 실시할 경우 심폐지구력을 가장 크게 증가시킬 수 있는 것으로 보고되었기 때문에 이를 고려한 운동 전략과 다양한 방법론의 검증이 요구된다(Milanović & Weston, 2015).

이 연구에서는 MICE와 HIIE 처치후 혈중 젖산 농도의 유의한 변화가 관찰되었으나 NE 처치에서는 변화가 없었다. 특히, HIIE 처치에서 MICE 처치보다 더 높은 증가율이 관찰되었으며, 이와 같은 결과는 MICE 처치와 HIIE 처치 모두 혈중 젖산 농도의 증가를 유발하였지만(Gladden, 2004), 강도가 더 높은 HIIE가 상대적으로 더 많은 젖산을 생성시킨다는 선행 연구의 결과와 일치한다(Jacob et al., 2023). 이와 같은 결과는 HIIE가 대사 및 근육에 더 큰 부담을 주고 MICE보다 회복 과정에 더 큰 부담을 주는 것으로 해석할 수 있다(Garber et al., 2011). 혈중 젖산 농도가 낮다는 것은 피로의 축적 감소 및 빠른 회복의 가능성을 시사하므로 운동으로 인한 피로 누적이 적어 장기간 지속 가능하다는 것을 의미한다. 고강도 운동을 할 때는 충분한 회복 시간이 필요한 반면 중강도 운동은 비교적 안정적인 반응을 보여주기 때문에, MICE가 건강 증진이 목적인 일상생활에서의 운동처방에 더욱 적합한 것으로 판단된다.

전술한 내용들을 종합하면, 이 연구에서 두 가지 운동 방식의 비교를 위하여 설정한 운동강도가 연구 목적에 부합되었으며, 두 처치에서 혈당과 혈압의 변화 양상의 차이가 유의하지 않았다면 신체 부담을 줄이기 위하여 MICE를 통해 지속적으로 운동 참여를 하는 것이 권장된다. 다만, HIIE의 반복적인 참여가 젖산역치의 증가를 유도하고 유산소운동 능력을 증가시킬 수 있기 때문에 HIIE의 효과를 부정적으로만 해석하는 것은 주의해야 할 것이다. 또한 이 연구에서 관찰된 혈당, 혈압, 그리고 혈중 젖산 농도의 변화는 질환이 없는 건강한 대조군과 비교를 하지 않았기 때문에 이와 같은 결과를 해당 질환의 특성으로 분류하여 해석할 수 없다. 다만, 운동에 참여하지 않은 NE와의 비교를 통해 운동의 효과로는 해석이 가능하다. 향후 반복적이고 지속적인 운동 참여를 통하여 두 처치의 혈중 젖산 농도 변화와 유산소운동 능력의 변화 등을 비교 분석하는 후속 연구와 건강한 대조군과의 비교를 통한 운동 반응과 질환 특성 간의 영향을 명확히 규명하는 후속 연구가 요청된다.

결론

이 연구에서는 40~50대 당뇨전단계와 고혈압전단계 남성을 대상으로 식사 후 실시한 MICE와 HIIE 처치가 혈당, 혈압 및 혈중 젖산 농도에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 이 연구에서 얻은 결과를 요약하여 기술하면 다음과 같다.

- 1) MICE 처치에서 혈당(처치중 15분, 처치중 30분 시점), SBP(처치후 50분 시점), 그리고 DBP(처치후 20분, 처치후 40분, 처치후 50분 및 처치후 60분 시점)에서 NE 처치와 유의한 차이가 나타났으며, 혈중 젖산 농도는 유의하게 증가되었다.
- 2) HIIE 처치에서 혈당(처치중 15분, 처치중 30분 및 처치후 45분

시점), SBP(처치후 40분 시점), 그리고 DBP(처치후 40분 시점)에서 NE 처치와 유의한 차이가 나타났으며, 혈중 젖산 농도는 유의하게 증가되었다.

- 3) 혈당에서는 HIIE가 더 높은 감소율을 보였으나 다시 회복되었고, 혈압에서는 MICE가 더 많은 시점에서 DBP의 감소를 보였으며, 혈중 젖산 농도의 증가율은 HIIE가 더 높은 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통하여 식후 실시한 MICE와 HIIE 처치가 모두 처치 중 혈당 감소에 효과적이었으나, HIIE 처치는 혈당 변동이 커 처치중 저혈당의 위험이 크고 처치후 혈당이 급격히 증가되는 현상이 발생한 것을 알 수 있었다. 반면, MICE 처치에서는 HIIE 처치에 비해 더 낮은 수준의 혈중 젖산 농도 증가를 보였다. 이와 같은 결과를 종합하면, 당뇨병전단계와 고혈압전단계의 개선을 위하여 MICE가 우선적으로 권장되어야 할 것으로 판단된다. 그러나 이 연구는 일회성 반응을 조사한 연구로서 장기적인 운동 트레이닝의 적응 효과를 확인하지 못하였으며, 건강한 대조군과의 비교를 통해 운동 반응과 질환 특성 간의 영향을 명확히 규명하지 못한 제한점이 있다. 따라서 향후 장기간의 트레이닝과 건강한 대조군과의 비교를 통해 MICE와 HIIE의 영향을 명확히 규명하는 후속 연구가 요청된다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: MG Han & MG Lee; Data curation: WB Park; Formal analysis: MG Han & WB Park; Methodology: MG Han & WB Park; Project administration: MG Lee; Visualization: MG Lee, Writing-original draft: MG Han, Writing-review & editing: MG Lee

참고문헌

- Abdelbasset, W. K., Tantawy, S. A., Kamel, D. M., Alqahtani, B. A., Elnegamy, T. E., Soliman, G. S., & Ibrahim, A. A. (2020). Effects of high-intensity interval and moderate-intensity continuous aerobic exercise on diabetic obese patients with nonalcoholic fatty liver disease: A comparative randomized controlled trial. *Medicine*, 99(10), 1-6.
- Abderrahman, A. B., Rhibi, F., Ouerghi, N., Hackney, A. C., Saiedi, A., & Zouhal, H. (2018). Effects of recovery mode during high-intensity interval training on glucoregulatory hormones and glucose metabolism in response to maximal exercise. *Journal of Athletic Enhancement*, 7(3), 1-20.
- Adams, O. P. (2013). The impact of brief high-intensity exercise on blood glucose levels. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, 6, 113-122.
- Alam, S., Hasan, M. K., Neaz, S., Hussain, N., Hossain, M. F., & Rahman, T. (2021). Diabetes Mellitus: Insights from epidemiology, biochemistry, risk factors, diagnosis, complications and comprehensive management. *Diabetology*, 2(2), 36-50.
- Alpsoy, Ş. (2020). Exercise and hypertension. *Physical Exercise for Human Health*, 153-167.
- Balducci, S., Sacchetti, M., Haxhi, J., Orlando, G., D'Errico, V., Falluca, S., Menini, S., & Pugliese, G. (2014). Physical exercise as therapy for type 2 diabetes mellitus. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 30(S1), 13-23.
- Bansal, N. (2015). Prediabetes diagnosis and treatment: A review. *World Journal of Diabetes*, 6(2), 296-303.
- Barth, E., Albuszies, G., Baumgart, K., Matejovic, M., Wachter, U., Vogt, J., & Calzia, E. (2007). Glucose metabolism and catecholamines. *Critical Care Medicine*, 35(9), S508-S518.
- Bellini, A., Nicolò, A., Bulzoni, R., Bazzucchi, I., & Sacchetti, M. (2021). The effect of different postprandial exercise types on glucose response to breakfast in individuals with type 2 diabetes. *Nutrients*, 13(5), 1-9.
- Bergman, M. (2013). Pathophysiology of prediabetes and treatment implications for the prevention of type 2 diabetes mellitus. *Endocrine*, 43(3), 504-513.
- Bonsu, B., & Terblanche, E. (2016). The training and detraining effect of high-intensity interval training on post-exercise hypotension in young overweight/obese women. *European Journal of Applied Physiology*, 116(1), 77-84.
- Brownlee, M. (2005). The pathobiology of diabetic complications: A unifying mechanism. *Diabetes*, 54(6), 1615-1625.
- Cho, H. S., Kim, H. J., & Lee, M. G. (2016). Comparative analysis of energy metabolism and excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) between moderate-intensity continuous exercise and high-intensity interval exercise. *Korean Journal of Physical Education*, 55(3), 577-588.
- Chobanian, A. V., Bakris, G. L., Black, H. R., Cushman, W. C., Green, L. A., Izzo Jr, J. L., Jones, D. W., Materson, B. M., Oparil, S., Wright, J. T., Roccella, E. J., & National High Blood Pressure Education Program Coordinating Committee. (2003). The seventh report of the joint national committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure: The JNC 7 report. *Journal of American Medical Association*, 289(19), 2560-2571.
- Churuanguk, C., Griffiths, D., Lean, M. E., & Combet, E. (2019). Impacts of carbohydrate restricted diets on micronutrient intakes and status: A systematic review. *Obesity Reviews*, 20(8), 1132-1147.
- Cuddy, T. F., Ramos, J. S., & Dalleck, L. C. (2019). Reduced exertion high-intensity interval training is more effective at improving cardiorespiratory fitness and cardiometabolic health than traditional moderate-intensity continuous training. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(3), 1-12.
- Da Cunha, F. A., Farinatti, P. D. T. V., & Midgley, A. W. (2011). Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(1), 46-57.
- Echouffo-Tcheugui, J. B., & Selvin, E. (2021). Prediabetes and what it means: The epidemiological evidence. *Annual Review of Public Health*, 42(1), 59-77.
- Echouffo-Tcheugui, J. B., Perreault, L., Ji, L., & Dagogo-Jack, S. (2023). Diagnosis and management of prediabetes: A review. *Jama*, 329(14), 1206-1216.
- Eicher, J. D., Maresh, C. M., Tsongalis, G. J., Thompson, P. D., & Pescatello, L. S. (2010). The additive blood pressure lowering effects of exercise intensity on post-exercise hypotension. *American Heart Journal*, 160(3), 513-520.
- Farinatti, P., Pescatello, L. S., Crisafulli, A., Taiar, R., & Fernandez, A. B. (2022). Post-exercise hypotension: Clinical applications and potential mechanisms. *Frontiers in Physiology*, 13, 1-3.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149-1160.
- Fayh, A. P. T., Matos, V. A. F., de Souza, D. C., dos Santos, V. O. A., da Silva Ramos Marinho, C., Serquiza, A. C., Friedman, R., & Costa, E. C. (2018). Effects of a single session of high-intensity interval exercise and moderate-intensity continuous exercise on biochemical cardiovascular risk factors in obese males. *Sport Sciences for Health*, 14, 323-330.
- Forjaz, C. L. D. M., Matsudaira, Y., Rodrigues, F. B., Nunes, N., & Negrão, C. E. (1998). Post-exercise changes in blood pressure, heart rate and rate pressure product at different exercise intensities in normotensive humans. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 31(10), 1247-1255.
- Flores-Opazo, M., Raajendiran, A., Watt, M. J., & Hargreaves, M. (2019). Exercise serum increases GLUT4 in human adipocytes. *Experimental Physiology*, 104(5), 630-634.

- Frampton, J., Cobbold, B., Nozdrin, M., Oo, H. T., Wilson, H., Murphy, K. G., Frost, G., & Chambers, E. S. (2021).** The effect of a single bout of continuous aerobic exercise on glucose, insulin and glucagon concentrations compared to resting conditions in healthy adults: A systematic review, meta-analysis and meta-regression. *Sports Medicine*, *51*(9), 1949-1966.
- 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*(7), 1334-1359.
- Gielen, S., Schuler, G., & Adams, V. (2010).** Cardiovascular effects of exercise training: Molecular mechanisms. *Circulation*, *122*(12), 1221-1238.
- Gladden, L. B. (2004).** Lactate metabolism: A new paradigm for the third millennium. *The Journal of Physiology*, *558*(1), 5-30.
- Goto, C., Higashi, Y., Kimura, M., Noma, K., Hara, K., Nakagawa, K., Kawamura, M., Chayama, K., Yoshizumi, M., & Nara, I. (2003).** Effect of different intensities of exercise on endothelium-dependent vasodilation in humans: Role of endothelium-dependent nitric oxide and oxidative stress. *Circulation*, *108*(5), 530-535.
- Halson, S. L. (2014).** Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, *44*(Suppl 2), 139-147.
- Halliwill, J. R. (2001).** Mechanisms and clinical implications of post-exercise hypotension in humans. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *29*(2), 65-70.
- Heberle, I., de Barcelos, G. T., Silveira, L. M. P., Costa, R. R., Gerage, A. M., & Delevatti, R. S. (2021).** Effects of aerobic training with and without progression on blood pressure in patients with type 2 diabetes: A systematic review with meta-analyses and meta-regressions. *Diabetes Research and Clinical Practice*, *171*, 1-12.
- Hiyoshi, T., Fujiwara, M., & Yao, Z. (2017).** Postprandial hyperglycemia and postprandial hypertriglyceridemia in type 2 diabetes. *Journal of Biomedical Research*, *33*(1), 1-16.
- Hong, S. J., Cho, H. S., & Lee, M. G. (2022).** Effects of aerobic exercise intensity on post-exercise blood pressure and cardiovascular function in men in their 30s with borderline hypertension. *Journal of Sport and Exercise Science*, *33*(2), 169-179.
- Iida, Y., Takeishi, S., Fushimi, N., Tanaka, K., Mori, A., & Sato, Y. (2020).** Effect of postprandial moderate-intensity walking for 15 minutes on glucose homeostasis in type 2 diabetes mellitus patients. *Diabetology International*, *11*(4), 383-387.
- Jacob, N., So, I., Sharma, B., Marzolini, S., Tartaglia, M. C., Oh, P., & Green, R. (2023).** Effects of high-intensity interval training protocols on blood lactate levels and cognition in healthy adults: Systematic review and meta-regression. *Sports Medicine*, *53*(5), 977-991.
- Jelleyman, C., Yates, T., O'Donovan, G., Gray, L. J., King, J. A., Khunti, K., & Davies, M. J. (2015).** The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: A meta-analysis. *Obesity Reviews*, *16*(11), 942-961.
- Kapilevich, L. V., Kologrivova, V. V., Zakharova, A. N., & Mourot, L. (2020).** Post-exercise endothelium-dependent vasodilation is dependent on training status. *Frontiers in Physiology*, *11*(348), 1-8.
- Kanaley, J. A., Colberg, S. R., Corcoran, M. H., Malin, S. K., Rodriguez, N. R., Crespo, C. J., Kirwan, J. P., & Zierath, J. R. (2022).** Exercise/physical activity in individuals with type 2 diabetes: A consensus statement from the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *54*(2), 353-368.
- Karvonen, J., & Vuorimaa, T. (1988).** Heart rate and exercise intensity during sports activities. *Sports Medicine*, *5*(5), 303-311.
- Korean Diabetes Association. (2022).** Diabetes Fact sheet 2022.
- Kreher, J. B., & Schwartz, J. B. (2012).** Overtraining syndrome: A practical guide. *Sports Health*, *4*(2), 128-138.
- Kruk, J., Kotarska, K., & Aboul-Enein, B. H. (2020).** Physical exercise and catecholamines response: Benefits and health risk: Possible mechanisms. *Free Radical Research*, *54*(2-3), 105-125.
- Kubukeli, Z. N., Noakes, T. D., & Dennis, S. C. (2002).** Training techniques to improve endurance exercise performances. *Sports Medicine*, *32*, 489-509
- Kwon, H. S. (2023).** Prevalence and treatment status of diabetes mellitus in Korea. *Journal of the Korean Medical Association*, *66*(7), 1-4.
- Lachman, M. E., Teshale, S., & Agrigoroaei, S. (2015).** Midlife as a pivotal period in the life course: Balancing growth and decline at the crossroads of youth and old age. *International Journal of Behavioral Development*, *39*(1), 20-31.
- Lambadiari, V., Korakas, E., & Tsimihodimos, V. (2020).** The impact of dietary glycemic index and glycemic load on postprandial lipid kinetics, dyslipidemia and cardiovascular risk. *Nutrients*, *12*(8), 1-21.
- Lee, M. G. (2010).** Analysis of the clinical significance of submaximal exercise through measurements of excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) and the thermic effect of a meal (TEM). *Korean Journal of Sports Science*, *19*(4), 1079-1089.
- Lingvay, I., Sumithran, P., Cohen, R. V., & le Roux, C. W. (2022).** Obesity management as a primary treatment goal for type 2 diabetes: Time to reframe the conversation. *The Lancet*, *399*(10322), 394-405.
- Lopes, W. A., Locatelli, J. C., Simoes, C. F., & Okawa, R. T. P. (2021).** Does intensity really matter regarding aerobic exercise reductions in wave reflection and central hemodynamics? Commentary on "The effect of acute aerobic exercise on central arterial stiffness, wave reflections, and hemodynamics in adults with diabetes: A randomized cross-over design" by Way et al. *Journal of Sport and*

- Health Science*, 10(4), 507-509.
- Liu, X., & Wang, G. (2021).** The effect of high-intensity interval training on physical parameters, metabolomic indexes and serum ficolin-3 levels in patients with prediabetes and type 2 diabetes. *Experimental and Clinical Endocrinology and Diabetes*, 129(10), 740-749.
- MacDonald, J. R., MacDougall, J. D., & Hogben, C. D. (1999).** The effects of exercise intensity on post exercise hypotension. *Journal of Human Hypertension*, 13(8), 527-531.
- Marcal, I. R., Goessler, K. F., Buys, R., Casonatto, J., Ciolac, E. G., & Cornelissen, V. A. (2021).** Post-exercise hypotension following a single bout of high intensity interval exercise vs. a single bout of moderate intensity continuous exercise in adults with or without hypertension: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Frontiers in Physiology*, 12(675289), 1-13.
- Milanović, Z., Sporiš, G., & Weston, M. (2015).** Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO₂max improvements: A systematic review and meta-analysis of controlled trials. *Sports Medicine*, 45(10), 1469-1481.
- Nakayama, Y., Ono, K., Okagawa, J., Urabe, J., Yamau, R., & Ishikawa, A. (2022).** Home-based high-intensity interval exercise improves the postprandial glucose response in young adults with postprandial hyperglycemia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 1-10.
- Pescatello, L. S., Fargo, A. E., Leach Jr, C. N., & Scherzer, H. H. (1991).** Short-term effect of dynamic exercise on arterial blood pressure. *Circulation*, 83(5), 1557-1561
- Pescatello, L. S., Franklin, B. A., Fagard, R., Farquhar, W. B., Kelley, G. A., & Ray, C. A. (2004).** Exercise and hypertension. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(3), 533-553.
- Portero McLellan, K. C., Wyne, K., Villagomez, E. T., & Hsueh, W. A. (2014).** Therapeutic interventions to reduce the risk of progression from prediabetes to type 2 diabetes mellitus. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, 10(1), 173-188.
- Pratley, R. E. (2013).** The early treatment of type 2 diabetes. *The American Journal of Medicine*, 126(9), S2-S9.
- RezkAllah, S. S., & Takla, M. K. (2019).** Effects of different dosages of interval training on glycemic control in people with prediabetes: A randomized controlled trial. *Diabetes Spectrum*, 32(2), 125-131.
- Rynders, C. A., Weltman, J. Y., Jiang, B., Breton, M., Patrie, J., Barrett, E. J., & Weltman, A. (2014).** Effects of exercise intensity on postprandial improvement in glucose disposal and insulin sensitivity in prediabetic adults. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 99(1), 220-228.
- Sacchetti, M., Haxhi, J., Sgrò, P., Scotto di Palumbo, A., Nicolò, A., Bellini, A., Bazzucchi, I., & di Luigi, L. (2021).** Effects of exercise before and/or after a mixed lunch on postprandial metabolic responses in healthy male individuals. *European Journal of Nutrition*, 60, 3437-3447.
- Schwaab, B., Kafsack, F., Markmann, E., & Schütt, M. (2020).** Effects of aerobic and anaerobic exercise on glucose tolerance in patients with coronary heart disease and type 2 diabetes mellitus. *Cardiovascular Endocrinology and Metabolism*, 9(1), 3-8.
- Sigal, R. J., Fisher, S., Halter, J. B., Vranic, M., & Marliss, E. B. (1996).** The roles of catecholamines in glucoregulation in intense exercise as defined by the islet cell clamp technique. *Diabetes*, 45(2), 148-156.
- Silva, L. R. B., Gentil, P., Seguro, C. S., de Oliveira, J. C. M., Silva, M. S., Marques, V. A., Beltrame, T., & Rebelo, A. C. S. (2022).** High-intensity interval training improves cardiac autonomic function in patients with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *Biology*, 11(1), 1-13.
- Souza Mesquita, F. O., Gambassi, B. B., de Oliveira Silva, M., Moreira, S. R., Neves, V. R., Gomes-Neto, M., & Schwingel, P. A. (2023).** Effect of high-intensity interval training on exercise capacity, blood pressure, and autonomic responses in patients with hypertension: A systematic review and meta-analysis. *Sports Health*, 15(4), 571-578.
- Takao, T., Suka, M., Yanagisawa, H., & Kasuga, M. (2021).** Thresholds for postprandial hyperglycemia and hypertriglyceridemia associated with increased mortality risk in type 2 diabetes patients: A real-world longitudinal study. *Journal of Diabetes Investigation*, 12(5), 886-893.
- Tarry-Adkins, J. L., Grant, I. D., Ozanne, S. E., Reynolds, R. M., & Aiken, C. E. (2021).** Efficacy and side effect profile of different formulations of metformin: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes Therapy*, 12(7), 1901-1914.
- Teles, G. D. O., Gentil, P., Silva, L. R. B. E., Sousa, W. D. M., Seguro, C. S., & Rebelo, A. C. S. (2022).** HIIE Protocols promote better acute effects on blood glucose and pressure control in people with type 2 diabetes than continuous exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 1-9.
- Teo, S. Y., Kanaley, J. A., Guelfi, K. J., Marston, K. J., & Fairchild, T. J. (2020).** The impact of exercise timing on glycemic control: A randomized clinical trial. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(2), 323-334.
- Vargas Mendoza, N., Angeles Valencia, M., Morales González, Á., Madrigal Santillán, E. O., Morales Martínez, M., Madrigal Bujaidar, E., Alvarez Gonzalez, I., Gutierrez Salinas, J., Esquivel Chirino, C., Chamorro Cevallos, G., Melesio Cristobal Luna, J., & Morales González, J. A. (2021).** Oxidative stress, mitochondrial function and adaptation to exercise: New perspectives in nutrition. *Life*, 11(11), 1269.
- Weltman, A., Stamford, B. A., Moffatt, R. J., & Katch, V. L. (1977).** Exercise recovery, lactate removal, and subsequent high intensity exercise performance. Research Quarterly. *American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 48(4), 786-796.
- Yoo, D. S., Jeong, W. S., & Lee, M. K. (2014).** Effects of recovery methods and glucose intake during Taekwondo competitions on blood lactate concentration and fatigue-related blood variables.

Korean Journal of Sports Science, 23(5), 1363-1373.

Zanuso, S., Jimenez, A., Pugliese, G., Corigliano, G., & Balducci, S. (2010). Exercise for the management of type 2 diabetes: A review of the evidence. *Acta Diabetologica*, 47(1), 15-22.

Zouhal, H., Jacob, C., Delamarche, P., & Gratas-Delamarche, A. (2008). Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. *Sports Medicine*, 38(5), 401-423.

식사 후 실시한 중강도 지속적 운동과 고강도 인터벌 운동이 40~50대 당뇨전단계와 고혈압전단계 남성의 혈당, 혈압 및 혈중 젖산 농도에 미치는 영향

한민구¹, 박원범², 이만균³

¹경희대학교, 석사과정

²경희대학교, 연구원

³경희대학교, 교수

[목적] 이 연구의 목적은 40~50대 당뇨전단계와 고혈압전단계 남성을 대상으로 식사 후 실시한 중강도 지속적 운동 (moderate-intensity continuous exercise: MICE)과 고강도 간헐적 운동(high-intensity interval exercise: HIIE)이 혈당, 혈압 및 혈중 젖산 농도에 미치는 영향을 규명하는 것이다.

[방법] 당뇨전단계와 고혈압전단계에 해당되는 12명의 남성을 선정하여 유동식을 섭취한 후, 각 처치 간 에너지 소비량이 동일한 수준으로 확인된 두 가지 처치와 비운동(non exercise: NE) 처치에 각 1주일의 wash-out을 두고 counter-balanced order에 따라 반복 참여하도록 하였다. MICE 처치의 강도는 HRR의 70%, HIIE 처치의 강도는 HRR의 50%와 90%로 30분간 처치하였다. 각 처치마다 혈당, 혈압, 혈중 젖산 농도는 다양한 시점에서 측정하였고, 반복 이원분산분석을 통해 결과를 비교했다.

[결과] 1) MICE 처치에서는 혈당(처치중 15분, 처치중 30분), SBP(처치후 50분), 그리고 DBP(처치후 20분, 처치후 40분, 처치후 50분 및 처치후 60분)가 유의하게 감소되었으며, 혈중 젖산 농도는 유의하게 증가되었다. 2) HIIE 처치에서는 혈당(처치중 15분, 처치중 30분), SBP(처치후 40분), 그리고 DBP(처치후 40분)가 유의하게 감소되었으며, 혈중 젖산 농도는 유의하게 증가되었다. 3) 위 두 처치를 비교하였을 때 처치후 HIIE는 혈당이 다시 회복되는 모습이 나타났으며, 처치후 SBP에서 더 빠른 감소가 나타났다. 또한 혈중 젖산 농도도 더 크게 증가하였다.

[결론] 이와 같은 결과는 MICE와 HIIE 모두 처치중 혈당을 낮추는데 효과가 있었으나 HIIE의 경우 처치후 MICE에 비해 혈당이 급격하게 증가되는 현상이 발생하는 것으로 나타났다. 반면, MICE 처치에서 HIIE 처치와 비교하여 더 낮은 수준의 혈중 젖산 농도 증가를 보였다. 전술한 내용들을 종합해 볼 때, 당뇨전단계와 고혈압전단계의 개선을 위하여 MICE 처치가 우선적으로 권장되어야 할 것으로 판단된다. 향후 건강한 집단과의 비교와 반복적이고 지속적인 운동 참여에 의한 적응 현상을 규명하는 후속 연구가 요청된다.

주요어

중강도 지속적 운동, 고강도 인터벌 운동, 당뇨전단계, 혈당, 혈압, 혈중 젖산 농도