Sports Science 2023, 제41권, 제3호
Vol.41, No.3, (31)December 2023: 99-108 | http:////doi.org/10.46394/ISS.41.3.11 | ISSN(Online) 2093-3363

복합운동이 내당능장애 여성의 신체 구성, 당화혈색소, 혈당, 안정 시 심박수에 미치는 영향

Effects of Combined Exercise on Body composition, Glycosylated Hemoglobin, and Heart Rate at Rest in Blood Sugar in women with Impaired Glucose Tolerance

유민우(제이투엠스포츠/대표) · **이남희**(단국대학교/박사) · **박태민**(한국체육대학교/교수) · **윤창선**(한국체육대학교/교수) · **서종석**(동국대학교/교수) · **권기천**(한국체육대학교/박사) · **조준용***(한국체육대학교/교수)

Min-Woo Yu *J2m Sports/Ceo* · Nam-Hee Lee *Dankook Univ* · Tae-Min Park *Korea National Sports University/Professor* · Chang-Sun Yoon *Korea National Sports University/Professor* · Jong-Seok Seo *Dongguk University/Professor* · Ki-Chun Kwon *Korea National Sports University* · Joon-Yong Cho *Korea National Sports University/Professor*

요약

본 연구는 복합운동이 내당능장애 여성의 신체 구성, 당화혈색소, 혈당, 안정 시 심박 수에 미치는 영향을 규명하는 데 있다. 연구 수행을 위하여 30세 이상 60세 이하의 HbA1c 5.7 이상 6.4 이하 당뇨병 전 단계 여성(n=16)을 비운동군(CON, n=8)과 운동군(EX, n=8)으로 구분하였다. 운동군은 8주간, 주 3회, 일일 70분 동안 복합운동을 실시하였다. 운동 전·후의 효과 검증을 위하여 신체 구성, 당화혈색소, 혈당, 안정 시 심박 수를 분석하였다. 수집된 자료는 SPSS 26.0 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 신체 구성 중 체중과 체질량지수에서 그룹 간 유의미한 차이가 나타났고, 운동 후 유의하게 감소하였다. EX 집단의 당화혈색소(HbA1c)와 혈당(Glucose)은 8주 후 비운동 집단보다 감소하였다. 마지막으로 안정 시 심박 수는 운동 집단에서 8주 후 비운동 집단보다 감소하였다. 결과적으로, 복합운동은 내당능장애 여성의 체중과 체지방을 조절하며, 당화혈색소 및 혈당을 감소시키고, 안정 시 심박 수를 감소시켜 제2형 당뇨병을 예방하는데 효과적인 것으로 볼 수 있다.

핵심 단어: 복합운동, 내당능장애, 당화혈색소, 혈강, 안정시 심박수

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effects of compound exercise on body composition, glycated hemoglobin, blood sugar, and resting heart rate in women with impaired glucose tolerance. For the purpose of the study, pre-diabetic women aged 30 to 60 with an HbA1c of 5.7 or more and 6.4 or less (n=16) were divided into a non-exercise group (CON, n=8) and an exercise group (EX, n=8). The exercise group performed compound exercise for 70 minutes a day, 3 times a week for 8 weeks. Body composition, glycated hemoglobin, blood sugar, and resting heart rate were analyzed to verify the effect before and after exercise. The collected data was analyzed using the SPSS 26.0 statistical program. Among body composition, there were significant differences between groups in body weight and body mass index, and significantly decreased after exercise. Glycated hemoglobin (HbA1c) and blood sugar in the EX group decreased after 8 weeks compared to the non-exercise group. Finally, the resting heart rate decreased in the exercise group than in the non-exercise group after 8 weeks. As a result, compound exercise can be seen as effective in preventing type 2 diabetes by controlling body weight and body fat, reducing HbA1c and blood sugar, and reducing resting heart rate in women with impaired glucose tolerance.

Key words: Impaired glucose tolerance, Combined exercise, Women, HbA1c, Glucose, Resting heart rate

* chojy86@knsu.ac.kr

Ⅰ. 서론

현대사회에 제2형 당뇨병은 전 세계적으로 급속하게 증가하고 있고 이는 좌식생활, 불규칙한 식습관, 비만, 유전적 및 환경적 요인 등 다양한 요인으로 보고되었다(Udayappan et al., 2014). 현재 국내 30세 이상 당뇨병 전 단계 및 당뇨병 환자도 600만 명으로 증가하였고 2050년 예상 수치를 30년 앞서간 현상이 발생하였으며, 개인의 질환을 넘어서 국가적 차원에서 당뇨병의 예방과 관리가 필요하다고 보고하였다(대한 당뇨병 학회, 2021). 특히 당뇨병 전단계인 내당능장애는 혈액의 포도당 내성이 생겨 인슐린이 제 기능을 하지 못하는 상태로 인슐린을 분비하는 췌장의 베타세포에 이상이 생기거나 인슐린 저항성이 증가한다. 일반적으로 내당능장애는 공복 혈당과 식후 혈당 장애를 나타내며, 당화혈색소(HbA1c)의 상승을 나타낸다(Kelly et al., 2012). 이러한 내당능장애 원인은 좌식생활 및 생활습관과 밀접한 관련이 있다(Gong et al., 2021). 또한 제2형 당뇨병 위험은 내당능장애가 있는 성인에서 더 높은 유병률이 나타났다(Malin et al., 2013). 이러한 질병 중 당뇨병과 비만은 가장 밀접한 관련이 있으며 당뇨병 환자는 과체중 또는 비만이 많다고 보고되었다(Hossain et al., 2007). 따라서 비만은 당뇨병을 유발하고 제2형 당뇨병은 심혈관 질환 위험인자로 다양한 합병증을 유발한다(유민우 및 조준용, 2022). 특히 당뇨병 환자는 인슐린 저항성 증가, 이상지질혈증, 고혈당증 및 고혈압을 포함해 대사성 증후군과 관련이 있으며 조기 심혈관질환 위험성을 증가시킨다(Joseph & Golden, 2014).

이와 관련하여, 제2형 당뇨병 발병 위험이 높은 사람은 당뇨병 및 관련 합병증의 예방을 위해 식이요법과 신체활동이 내당능장애 환자의 당뇨병 발병률을 지연시키는 데 효과적이라고 보고하였다(Hemmingsen et al., 2017).

특히 ACSM에서는 앉아있는 시간을 줄이고 신체 활동과 운동은 개인의 건강과 혈당 관리를 향상시킬 수 있다고 제시하였다(Kanaley et al., 2022). 운동과 신체활동 증가는 생활 습관 개입의 핵심적 요소이며 특히 체지방량 감소와 복부 지방 감소 포도당 내성, 인슐린 감수성을 향상시킨다고 보고되었다(Yumuk et al., 2015).

최신 가이드라인에 따르면 체중 감량과 혈당 조절을 개선하기 위한 효과적인 방법은 유산소 운동, 저항운동, 복합운동 및 유연성 운동과 같은 다양한 운동이 권장되며, 특히 유산소 운동과 저항운동의 결합인 복합운동은 효과적인 대응전략이라고 제시되었다(Sigal et al., 2018).

또한 운동은 당뇨병 전단계 환자의 포도당 내성을 개선하는 데 효과적이다(Hrubeniuk et al., 2020). 특히 유산소 운동과 저항운동을 결합한 복합운동은 단독 운동군에 비해 HbA1c가 더 크게 감소하는 결과가 나타났다(Sigal et al., 2007).

이러한 규칙적인 운동은 내당능장애 환자의 혈당 조절, 인슐린 신호 전달 및 혈중 지질, 염증 감소, 혈관 기능 개선 및 체중감소 효과가 크다(Kirwan et al., 2017). 최근 복합운동과 더불어 고강도 인터벌 트레이닝(High Intensity Interval Training, HIIT)도 체중 감량과 혈당 조절에 효과적이라고 보고하였다(현아현 및 최동훈 2022; Winding et al., 2018). 하지만 당뇨병 환자의 고강도 인터벌 트레이닝중 급성 부작용과 부상에 대한 우려가 종종 제기된다고 보고하였다(Rognmo et al., 2012).

선행연구에 따르면 복합운동은 고강도 인터벌 트레이닝(High Intensity Interval Training, HIIT)에 비해 부상 위험이 낮으며 내당능장애가 있는 성인에게 혈당감소와 체중 감소 효과가 있는 운동으로 보고 되었다(Colberg et al., 2016). 또 다른 선행연구에 의하면 16주간 복합운동은 유산소 운동만 수행하는 그룹에 비해 포도당 흡수를 유의하게 증가시켰으며 인슐린 감수성을 개선하였다(Cuff et al., 2003). 특히 내당능장애 지표에 중요한 역할을 하는 당화혈색소(HbA1c)는 유산소 또는 저항운동에 비해 복합운동이 당화혈색소(HbA1c)에 더 유의한 효과가 나타났다(Schwingshackl et al., 2014). 선행연구에 따르면 내당능장애는 인슐린 저항성이 높을 경우 인슐린의 기능이 떨어져 세포 및 물질대사에서 포도당 조절 및 생성 기능이 저하되며 제2형 당뇨병으로 진전되는데 운동은 인슐린 저항성을 개선하는 것으로 나타났다(Liu et al., 2019). 이처럼 유산소 운동과 저항운동이 결합된 복합운동 프로그램은 운동 빈도와 횟수가 증가하면 단일 운동보다 유의한 효과가 나타났다(Savikj et al., 2020).

하지만 현재까지의 연구가 당뇨병 여성과 노인, 중년 남성을 대상으로 실시되어 내당능장애 여성의 복합운동에 관한 검증이 미미한 실정이다. 이러한 내당능장애 여성의 특성상 저혈당을 유발하는 공복 운동은 피하고 지도자가 운동 시 피험자의 건강상태를 확인하여 운동의 안정성을 확보하고 적절한 강도의 프로그램을 피험자에게 적용해야 한다.

최근 내당능장애로 인한 제2형 당뇨병 발병으로 인한 합병증이 크게 증가하였지만, 내당능장애 여성의 혈당 감소를 위한 운동 프로그램은 매우 부족한 현실이다. 만약 복합운동에 의한 긍정적인 효과가 도출된다면, 내당능장애 여성의 제2형 당뇨병 예방을 위한 운동지침 설정에 유용한 자료를 제시할 수 있을 것이다.

이에, 본 연구는 8주간의 실시한 복합운동이 내당능장애 여성의 신체구성, 당화혈색소, 혈당, 안정 시 심박수에 미치는 영향을 규명하는데 그 목적이 있다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상

본 연구 수행을 위한 참여자 모집은 J스포츠센터 등록 중인 30세 이상 60세 이하 성인 내당능장애 여성으로 선정하였다. 대상자는 자발적으로 참여 의사를 밝히고 동의서에 자필 서명한 여성이다. 총 16명의 인원을 EX 그룹(n=8)과, CON 그룹

(n=8)으로 무작위 구분하였고, 피험자의 참여조건 및 신체적 특성은 〈표 1〉과 같다. 본 연구는 한국체육대학교 윤리위원회의 승인을 받은 후 실시되었다.

1. 만 30세 이상 60세 이하 성인 여성
2. 당화혈색소 5.7~6.4%에 해당하는 여성
3. 특정 질환이나 의학적 치료를 받지 않는 여성
4. 사전 설명 숙지한 후 실험실 검사에 자발적 동의한 여성

표 1. Characteristics of Subjects

	Age(yr)	Hight(cm)	Weight(kg)	BMI(kg/m^2)
CON (n=8)	42.38	160.00	71.81	27.54
	±8.63	±3.21	±4.02	±2.66
HIIT (n=8)	42.75	163.50	76.46	28.03
	±7.78	±3.42	±5.23	±1.91

2. 연구 내용 및 절차

본 연구의 대상자는 총 16명으로 대면 복합운동 프로그램을 실시하였다. 운동 집단은 8주 동안 J스포츠 센터에서 지도자의 동작 설명과 주의사항을 확인 후 운동에 참여하였다. 지도자는 매시간 피험자의 건강 상태를 관찰하고 실시간 질의에 응답하였으며, 만약 운동 중 어지러움 또는 통증을 호소하는 대상자가 발생하면 동작을 중단하고 휴식을 권고하였다. 에너지 섭취 관리를 위하여 피험자들에게 매일 식단 일지를 작성하게 하였고, 매주 월요일(주 1회)마다 인바디 체크를 통해 및 체중을 평가하고 피드백하였다.

3. 복합운동 프로그램

본 연구의 복합운동 프로그램은 주 3회, 매일 70분, 8주간 총 24회를 실시하였으며, 준비운동 5분, 유산소 운동 30분, 저항운동 30분 정리운동 5분으로 구성되었다. 복합운동 시 발생할 수 있는 부상을 고려하여 사전검사 전 2주간 예비 기간을 두고 운동 시 주의사항과 기본 동작을 설명하였고, 본 실험이 시작된 이후에는 피험자의 체력수준에 따라 2주마다 점진적으로 운동 강도를 증가시켰다. 운동 강도는 최대심박수(HRmax)를 사용하여 평가하였고, 측정 방법은 피험자 전원이 상완이두근에 Polar-OH1 착용 후 운동 중 지도자가 심박수를 수시로 체크하도록 하였다. 본 운동 시 유산소운동 60~70% HRmax를 강도를 유지하고 30분간 걷기 운동을 실시하였고, 저항운동은 1RM의 40~50% 운동 중기부터 최대강도 60%로 주 3회 근력운동 프로그램을 30분 실시하였다. 지도자가 각 세트의 휴식 구간에 피험자를 심박수를 수시로 모니터링하였고, 만약 심박수가 목표치에 도달하지 않을 경우 구두로 격려하였다. 본 연구의 복합운동 프로그램은 〈표 2〉와 같다.

표 2. Combined Exercise program

Modes	Contents & Set	Time (min)	RPE
Warm up	Breathing, body stretching	5	12
Main EX	Level 1: 1~3 week Squat, push-up, Shoulder press, Leg press. Crunch Level 2: 3~6 week Lunge , Leg press & Push up, Squat Jump, Legs raise, Plank, Arm curl, Deadlift Level 3: 6~8 week Wall squat, Lunge-twist, Bench press, Calf raise, Arm curl, Lateral raise, Crunch 60~70% HRmax 30 min Total 3 set (3dady/week) weight training, Treadmil	60	
Cool down	Deep breathing, Total body stretching	5	

4. 측정도구 및 방법

1) 신체구성 검사

신체구성 검사는 X-선 측정기(Dual Eneray X-ray Absorptiometry, USA)를 이용하여 체중(kg), 체지방량(kg), 근육량(kg), 내장지방면적(cm/m^2) 및 BMI(kg/m^2), W.H.R을 검사하였다. 측정을 위하여 피험자들은 몸에 부착된 금속을 제거한 후 편한 복장을 입고 측정하였다. 측정 전에는 공복 상태를 유지하고 10분간 안정을 취한 후 검사를 실시하였다. 먼저 신장과 체중을 신장·체중계를 이용하여 측정을 한 이후 측정기의 침대에 올라가 동작을 정지한 상태에서 측정하였다.

2) 혈액측정 검사

혈액측정을 위하여 전날 밤 8시부터 다음날 9시까지 금식을 유지한 후 오전 10시경 피험자들의 상완정맥으로부터 간호사에 의해 실험대상자의 상완정맥에 카테터를 삽입시키고 안정 시 대상자가 항행 거리 상태에 도달한 후 10mL 혈액을 채취한 뒤 상온에서 30분간 배양하고 원심분리(3000 rpm) 10~15분 동안 혈청을 분리한 후 김포 P병원 실험실에서 혈액분석을 의뢰하였다.

3) 안정 시 심박수 검사

본 연구의 안정 시 심박 수 검사는 Polar-OH1 암밴드 심박계를 이용하여 상완이두근에 피험자의 운동 전, 후의 안정 시 심박 수를 모니터링을 통해 수치를 측정하였다.

5. 자료처리방법

본 연구의 모든 결과는 윈도우용 SPSS 26.0 통계 프로그램을 이용하여 산출하였고, 모든 변인의 각 항목에 대한 평균과 표준편차를 산출하고 두 집단의 실험 전·후 항목별 평균값 차이를 비교하기 위해 반복측정에 의한 이원변량분석(Two-way ANOVA by Repeated Measure)을 실시하였고 모든 검증의 통계적 유의한 차이는 α=.05로 설정하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 신체구성의 변화

EX 집단과 CON 집단의 신체 구성 변화를 비교한 결과(표 3), 체지방량(F=.616, p=.001)은 사전, 사후의 평균 차이는 p=. 387로 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 집단과 반복측정 간 상호작용 효과에서는 p=.001로 나타나 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다. 근육량(F=.951, p=.002)은 집단과 반복측정에 대한 사전, 사후의 평균 차이는 p=.500으로 통계적 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 내장지방면적은 집단 간 평균 차이는(F=.520, p=.001) 집단 간 통계적으로 사전, 사후 유의한 차이가 나타났으며, 상호작용 효과에서도 p=.001로 나타나 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. BMI(F=.223, p=.001)는 집단 간 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 상호작용 효과에서도 p=.001로 나타나 통계적 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다. W.H.R(F=26.000, p=.001)은 집단 간 평균 차이는 p=.001로 나타나 통계적으로 유의한 차이가 나타났고, 집단과 반복측정 간 상호작용 효과도 나타났다. 또한, EX 집단의 신체 구성은 운동 정보다 운동 후에 유의하게 감소한 것으로 나타났다.

표 3. Changes in body composition

		CON (n=8)	EX (n=8)		F	*p*
Body fat (kg)	pre	26.7 ±2.88	27.84 ±2.38	T	0.616	.001*
				G	0.798	0.387
	post	26.7 ±2.88	23.31 ±1.92	T×G	0.616	.001*
Muscle mass (kg)	pre	42.69 ±4.29	44.59 ±2.77	T	0.951	0.002
				G	0.479	0.5
	post	42.69 ±4.29	43.3 ±2.94	T×G	.951**	0.002
Fat area (cm2)	pre	102.5 ±17.05	92.13 ±10.55	T	.520**	0.001
				G	8.605*	0.011
	post	102.5 ±17.05	70.25 ±13.41	T×G	.520**	0.001
BMI	pre	27.54 ±2.66	28.03 ±1.91	T	.223.	0.001
				G	1.232	0.287
	post	27.54 ±2.66	24.51 ±1.24	T×G	0.223	0.001
W.H.R (cm^2)	pre	0.86 ±0.03	0.84 ±0.02	T	26	..001
				G	9.147	0.009
	post	0.86 ±0.03	0..81 ±0.02	T×G	26	0.001

M±SD; **p<.01 *** p<.001
T=Time, G=Group, T×G=Time×Group 2

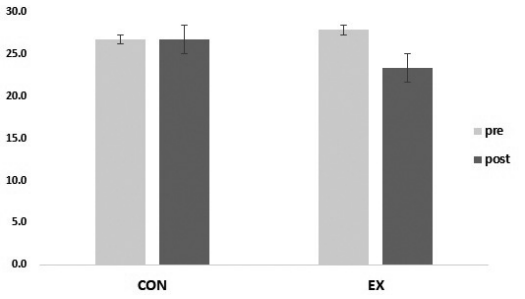

그림 1. Body Fat.

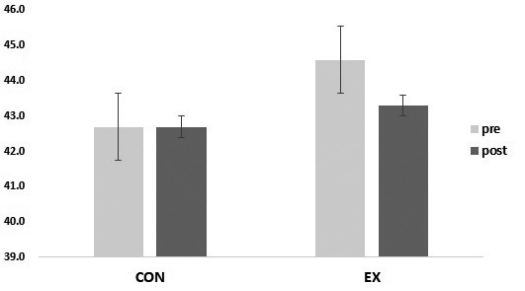

그림 2. Muscle Mass.

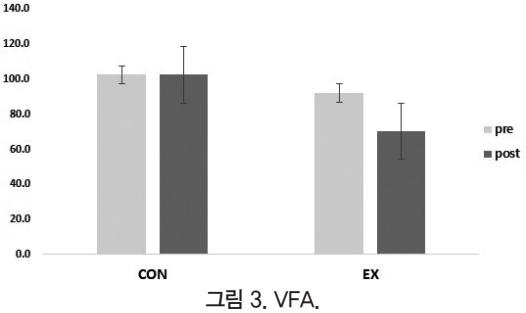

그림 3. VFA.

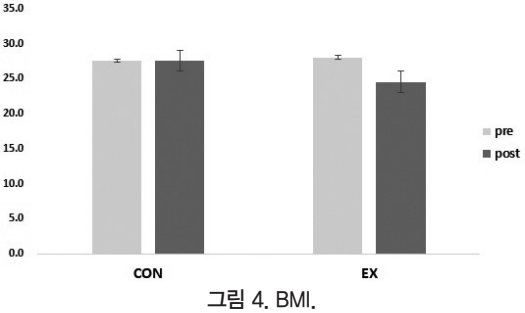

그림 4. BMI.

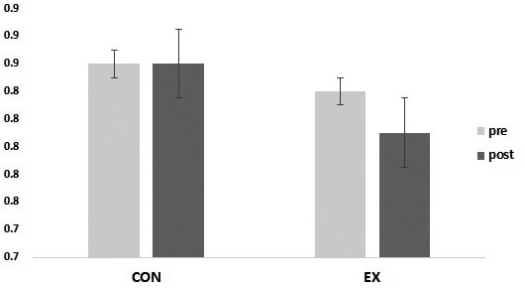

그림 5. W.H.R.

2. HbA1c 변화

EX 집단과 CON 집단의 HbA1c 변화를 비교한 결과(그림 6), 모든 변인에서 상호작용 효과가 나타났다. 집단과 시기별 HbA1c의 변화를 살펴보기 위해 반복측정에 의한 이원 변량분석(Two-way ANOVA by Repeated Measure)을 실시한 결과는 〈표 4〉와 같다. 집단 간 평균 차이는 p=.001, 반복측정에 대한 사전·사후의 평균 차이는 p=.005로 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 집단과 반복측정 간 상호작용 효과에서도 p=.001로 나타나 p<.001 수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다.

표 4. Changes in HbA1c, Glucose, HRR

		CON (n=8)	EX (n=8)		F	*p*
HbA1c	pre	6.21 ±0.21	6.20 ±0.19	T	195.227	.001
				G	11.667	.005
	post	6.21 ±0.21	5.52 ±0.12	T×G	195.227	.001
HbA1c IFCC	pre	45.50 ±3.12	44.50 ±1.77	T	505.400	.001
				G	21.160	.001
	post	45.50 ±3.12	35.00 ±1.77	T×G	505.400	.001
Glucose	pre	105.00 ±4.14	105.50 ±3.93	T	102.322	.001
				G	14.265	.002
	post	105.25 ±4.30	88.75 ±5.60	T×G	108.617	.001
HRR	pre	87.75 ±2.43	89..13 ±3.91	T	169.400	.001
				G	14.879	.005
	post	89.25. ±2.12	77.63 ±4.87	T×G	108.600	.001

M±SD; **p<.01 *** p<.001
T=Time, G=Group, T×G=Time×Group
R: Rest, P0: Right after exercise, P1: 5min after exercise, P2: 10min after exercise, P3: 15min after exercise

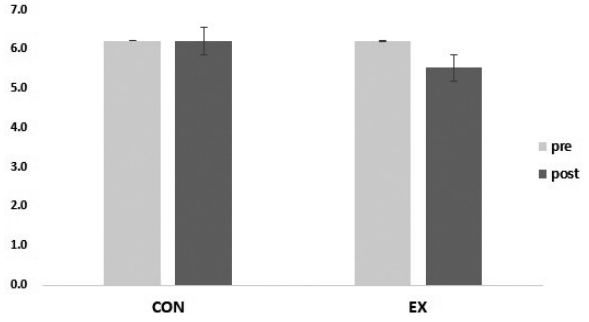

그림 6. HbA1c.

3. HbA1c-IFCC 변화

EX 집단과 CON 집단의 HbA1c-IFCC 변화를 비교한 결과(그림 7), 모든 변인에서 상호작용 효과가 나타났다. 집단과 시기별 HbA1c-IFCC의 변화를 살펴보기 위해 반복측정에 의한 이원 변량분석(Two-way ANOVA by Repeated Measure)을 실시한 결과는 〈표 4〉와 같다. 집단 간 평균 차이는 p=.001, 반복측정에 대한 사전·사후의 평균 차이는 p=.001로 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 집단과 반복측정 간 상호작용 효과에서도 p=.001로 나타나 p<.001 수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다.

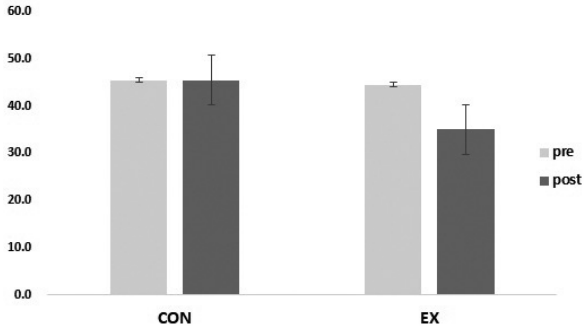

그림 7. HbA1c-IFCC.

4. 혈당(Glucose) 변화

EX 집단과 CON 집단의 혈당 수치 변화를 비교한 결과(그림 8), 모든 변인에서 상호작용 효과가 나타났다. 집단과 시기별 Glucose의 변화를 살펴보기 위해 반복측정에 의한 이원 변량분석(Two-way ANOVA by Repeated Measure)을 실시한 결과는 〈표 4〉와 같다. 집단 간 평균 차이는 p=.001, 반복측정에 대한 사전·사후의 평균 차이는 p=.002로 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 집단과 반복측정 간 상호작용 효과에서도 p=.001로 나타나 p<.001 수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다.

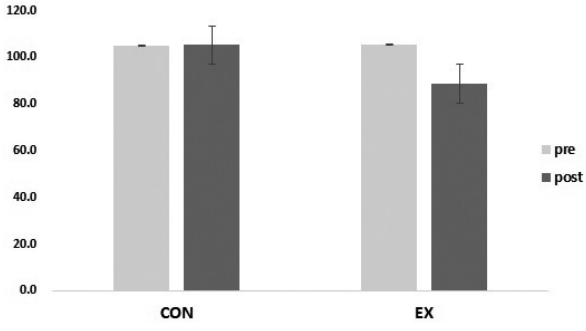

그림 8. Glucose.

5. 안정 시 심박수의 변화

EX 집단과 CON 집단의 안정 시 심박수 변화를 비교한 결과(그림 9), 집단과 시기별 안정 시 심박수의 변화를 살펴보기 위해 반복측정에 의한 이원 변량분석(Two-way ANOVA by Repeated Measure)을 실시한 결과는 〈표 4〉와 같다. 집단 간 평균 차이는 p=.001, 반복측정에 대한 사전·사후의 평균 차이는 p=.005로 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한, 집단과 반복측정 간 상호작용 효과에서도 p=.001로 나

타나 p<.001 수준에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다. 결과는 [그림 11]과 같다.

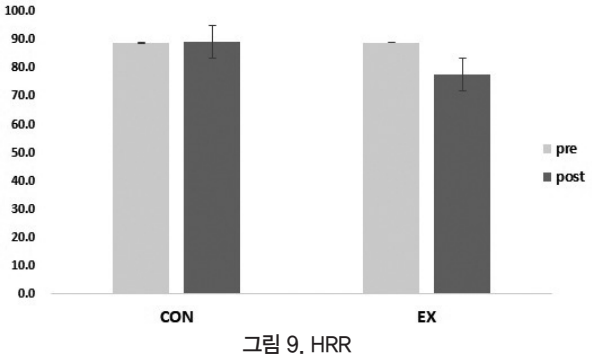

그림 9. HRR

Ⅳ. 논의

본 연구는 복합운동이 내당능장애 여성의 신체 구성, 당화혈색소, 혈당, 안정 시 심박수에 미치는 효과를 규명하는데 목적이 있으며, 중재 후 얻어진 결과에 대하여 다음과 같이 논의하고자 한다.

첫째, 본 연구의 신체 구성 변화는 EX 그룹의 체중과 체지방량, 내장지방면적, BMI, W.H.R에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 이러한 결과는 내당능 여성의 운동강도에 따른 복합훈련이 체중과 체지방을 감소시킨다는 연구 결과와 일치한다(Slentz et al., 2016). 관련 연구를 살펴보면 12주간 운동은 내당능장애 노인의 체중과 BMI 체지방률 감량에 효과가 크다는 선행 연구를 뒷받침한다(Malin & Kirwan, 2012). Liu(2022) 외 연구진은 16주간 실시한 복합운동 훈련이 당뇨병 여성의 내장지방축적을 줄이고 근육량을 증가시켜 신체구성 성분에 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다. 또한 복합운동은 당뇨병 환자의 체성분을 개선하는데 유의한 차이가 나타났고(Bacchi et al., 2012), 운동 및 식이요법은 내당능장애 및 당뇨병 환자의 신체 구성과 신체기능을 개선하는데 효과적이라고 나타났다(Vieira et al., 2021). 이러한 복합운동의 효율성은 부상 위험이 많은 고강도 인터벌 트레이닝에 비해 내당능장애 여성에게 적합한 프로그램이며 제2형 당뇨병을 예방하기 위한 전략으로 활용될 수 있음을 시사한다.

둘째, 내당능장애는 당화혈색소와 상관성이 깊다고 알려져 있다. 정기적인 HbA1c 측정은 혈당을 조절하기 위한 중요한 지표이며, 당뇨병 합병증의 위험을 안정적으로 예측한다(ADA, 2016). 하지만 좌식생활과 비활동적 습관은 내당능장애를 초래하고, 제2형 당뇨병을 유발할 수 있기 때문에 유산소운동 저항운동 결합인 복합운동을 통한 혈당 관리에 힘써야 한다. 관련 연구를 살펴보면 제2형 당뇨병 환자의 복합운동은 당화혈색소(HbA1c) 수치를 감소시킨다는 연구결과와 일치한다(Pan et al., 2018). 이러한 결과는 감독하에 실시한 유산소 운동과 저항운동의 결합 형태인 복합운동에서 혈당 조절 및 당화혈색소 (HbA1c)를 감소시킨다는 선행 연구결과를 뒷받침한다(Mannucci et al., 2021). 특히 성공적인 당뇨병 예방을 위해서는 운동을 통한 꾸준한 혈당 조절이 필요하다. 12주간 복합운동은 근력을 증가시키고 당화혈색소(HbA1c)에 유의한 차이가 나타났고, 혈당 조절에 긍정적인 영향이 나타났다(Tomas et al., 2016). 반면 고강도 인터벌 트레이닝(HIIT)과 저항운동의 비교 연구에서 제2형 당뇨병 환자의 혈당감소에 유의한 차이가 나타나지 않았다(Magalhães et al., 2019). 이것은 복합 운동에 비해 운동강도 및 형태에 따라서 내당능장애 여성의 혈당 관리 조절에 어려움이 있음을 의미한다. 관련 연구를 살펴보면 당뇨병 환자 성인을 대상으로 유산소운동, 저항운동 단독으로 혈당조절을 향상시키지만 복합운동 그룹에서 당화혈색소(HbA1c)가 가장 크게 감소한 것으로 나타났다(Sigal et al., 2007). 본 연구의 당화혈색소(HbA1c) 검사에서 EX 집단에서 통계적으로 유의미한 효과가 나타나, 복합운동이 노인과 고령자 뿐 아니라 성인 여성의 당화혈색소(HbA1c) 감소에도 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 복합 운동에 따른 혈당 변화는 당뇨병 전단계 환자의 혈당 모니터링을 시스템을 통해 당뇨병 및 합병증 예방을 위해 필요하다고 보고되었다(Holzer et al., 2022). 관련 연구를 살펴보면, Su(2022) 외 연구진은 12주 동안 실시한 복합운동이 중년 당뇨병 여성의 혈당과 염증을 감소시키고, 복합운동이 당뇨병 여성의 혈당 변동성과 혈당을 감소시키는 데 효과적이라고 보고하였다(Figueira et al., 2013). 특히 내당능장애는 식이중재 및 복합운동 처치가 당뇨병을 예방하는데 중요한 메커니즘으로 작용한다. 관련 연구를 살펴보면 식이 중재 및 복합운동 프로그램은 당뇨병 전단계 성인의 공복 혈당 장애를 감소하고 포도당 내성을 개선한다고 보고하였다(Aguiar et al., 2014). 이것은 당뇨병 전단계 여성의 식이 중재 및 운동이 제2형 당뇨병을 예방하는 데 긍정적인 영향을 줄 수 있고, 내당능장애 여성의 혈당조절 감소가 유발될 수 있음을 의미한다.

본 연구의 혈당(Glucose) 검사에서는 집단 간 상호작용 효과 및 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 이러한 결과는 내당능장애 여성의 고혈당 위험성을 일부 해소할 것으로 판단되며, 유산소 운동과 저항운동의 복합운동 프로그램 설계와 보급에 긍정적인 영향을 줄 것으로 사료된다.

넷째, 안정 시 심박 수 검사는 당뇨병 환자에 건강 능력 평가 지표로, 안정 시 심박 수가 높으면 당뇨병 발병위험이 증가한다. 특히 심박수 회복력이 늦은 경우 당뇨병 위험 비율과 연관성이 있다고 보고되었다(Qiu et al., 2017). 이러한 결과는 안정 시 심박수와 당뇨병의 밀접한 관련을 나타내며, 휴식기 안정 시 심박수가 낮을수록 제2형 당뇨병 예방에 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다(Aune et al., 2015).

관련 연구를 살펴보면 당뇨병이 있는 성인의 운동 중재는 안정 시 심박 수 감소와 회복력에 유의미한 개선이 나타났다(Ribisl et al., 2012). 또한 복합운동이 내당능장애 여성의 안정 시 심박 수를 감소시켜 제2형 당뇨병과 대사증후군 위험인자

를 예방할 수 있음을 나타낸다. 따라서 앞서 언급한 복합운동 중재 시 발생할 수 있는 저혈당 위험성의 우려는 지도자의 감독하에 적용되었을 때, 더욱 안전하게 운동을 작용할 수 있다. 또한 복합운동을 선택하는 것은 장기간 누적된 내당능 여성의 혈당 문제를 예방할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 여전히 복합운동과 내당능장애 효과를 검증한 국내 사례는 매우 부족한 현실이다.

Magalhaes(2020) 외 연구진은 복합운동은 당뇨병 환자의 염증 및 혈중 지질을 개선하고, 여성의 당뇨병 질환을 예방하며(ADA, 2010), 내당능장애 및 당뇨병 환자의 혈관 내피 손상을 개선할 수 있다고 하였다(Qiu et al., 2018). 반면, 내당능장애 여성의 당뇨병 합병증과 관련한 복합운동의 운동 생화학적 효과 검증은 여전히 미미하여 추가 검증이 필요해 보인다. 또한, 복합운동 프로토콜을 성별, 계층별, 나이별 세분화하여 적용한다면, 제2형 당뇨병 예방을 통해 국민 건강 증진 도구로 사용될 수 있을 것이다.

Ⅴ. 결론 및 제언

본 연구의 복합운동은 내당능장애 여성의 신체 구성 성분 중 체중과 체지방량, 내장지방면적, BMI, W.H.R에서 그룹 간 유의미한 차이가 나타났고, 운동 후 유의하게 감소하였다. 복합운동 집단의 당화혈색소(HbA1c)는 8주 후 비운동 집단보다 감소하였으며, 혈당(Glucose)도 운동집단에서 유의미한 차이가 나타났다. 마지막으로 안정 시 심박 수는 운동집단에서 8주 후 비운동 집단보다 안정 시 심박 수가 감소하였다.

결과적으로, 유산소 운동과 저항운동의 결합인 복합운동은 내당능 장애 여성의 체중과 체지방을 조절하며, 당화혈색소와 혈당을 감소시키고, 운동 후 안정 시 심박 수 회복 능력을 향상하는 데 효과적이다. 따라서 본 연구의 복합운동 프로그램을 적극적으로 활용한다면, 당뇨병 문제를 예방하고 당뇨병으로 인한 의료비를 절감하는 데 도움이 될 것이다.

참고문헌

대한당뇨병학회(2021). 당뇨병 팩트시트 보고서

유민우 & 조준용. (2022). 복합운동 및 비트루트 섭취가 중년비만 여성의 간기능 및 심혈관질환 위험인자에 미치는 영향. **스포츠사이언스,** 40(1), 17-27.

현아현, & 최동훈. (2022). 온라인 고강도 인터벌 트레이닝이 비만 남성의 신체조성, 하지근력, 무산소성 운동능력 및 혈중 젖산에 미치는 영향. **스포츠사이언스,** 40(1), 37-44.

Aguiar, E. J., Morgan, P. J., Collins, C. E., Plotnikoff, R. C., & Callister, R. (2014). Efficacy of interventions that include diet, aerobic and resistance training components for type 2 diabetes prevention: a systematic review with meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 11*(1), 1-10.

American Diabetes Association. (2016). Standards of medical care in diabetes—2016 abridged for primary care providers. *Clinical diabetes: a publication of the American Diabetes Association, 34*(1), 3.

Aune, D., ó Hartaigh, B., & Vatten, L. (2015). Resting heart rate and the risk of type 2 diabetes: a systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 25*(6), 526-534.

Bacchi, E., Negri, C., Zanolin, M. E., Milanese, C., Faccioli, N., Trombetta, M., ... & Moghetti, P. (2012). Metabolic effects of aerobic training and resistance training in type 2 diabetic subjects: a randomized controlled trial (the RAED2 study). *Diabetes care, 35*(4), 676-682.

Colberg, S. R., Sigal, R. J., Fernhall, B., Regensteiner, J. G., Blissmer, B. J., Rubin, R. R., ... & Braun, B. (2010). Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. *Diabetes care, 33*(12), e147-e167.

Colberg, S. R., Sigal, R. J., Yardley, J. E., Riddell, M. C., Dunstan, D. W., Dempsey, P. C., ... & Tate, D. F. (2016). Physical activity/exercise and diabetes: a position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes care, 39*(11), 2065-2079.

Cuff, D. J., Meneilly, G. S., Martin, A., Ignaszewski, A., Tildesley, H. D., & Frohlich, J. J. (2003). Effective exercise modality to reduce insulin resistance in women with type 2 diabetes. *Diabetes care, 26*(11), 2977-2982.

Figueira, F. R., Umpierre, D., Casali, K. R., Tetelbom, P. S., Henn, N. T., Ribeiro, J. P., & Schaan, B. D. (2013). Aerobic and combined exercise sessions reduce glucose variability in type 2 diabetes: crossover randomized trial. *PloS one, 8*(3), e57733.

Gong, Q., Zhang, P., Wang, J., Gregg, E. W., Cheng, Y. J., Li, G., ... & Da Qing Diabetes Prevention Outcome Study Group. (2021). Efficacy of lifestyle intervention in adults with impaired glucose tolerance with and without impaired fasting plasma glucose: A post hoc analysis of Da Qing Diabetes Prevention Outcome Study. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 23*(10), 2385-2394.

Hemmingsen, B., Gimenez-Perez, G., Mauricio, D., i Figuls, M. R., Metzendorf, M. I., & Richter, B. (2017). Diet, physical

activity or both for prevention or delay of type 2 diabetes mellitus and its associated complications in people at increased risk of developing type 2 diabetes mellitus. Cochrane Database of Systematic Reviews, (12).

Holzer, R., Bloch, W., & Brinkmann, C. (2022). Continuous glucose monitoring in healthy adults—possible applications in health care, wellness, and sports. *Sensors, 22*(5), 2030.

Hossain, P., Kawar, B., & El Nahas, M. (2007). Obesity and diabetes in the developing world—a growing challenge. *New England journal of medicine, 356*(3), 213-215.

Hrubeniuk, T. J., Bouchard, D. R., Goulet, E. D., Gurd, B., & Sénéchal, M. (2020). The ability of exercise to meaningfully improve glucose tolerance in people living with prediabetes: A meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 30*(2), 209-216.

Joseph, J. J., & Golden, S. H. (2014). Type 2 diabetes and cardiovascular disease: what next?. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes, and Obesity, 21*(2), 109.

Kanaley, J. A., Colberg, S. R., Corcoran, M. H., Malin, S. K., Rodriguez, N. R., Crespo, C. J., ... & 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*.

Kelly, A. S., Bergenstal, R. M., Gonzalez-Campoy, J. M., Katz, H., & Bank, A. J. (2012). Effects of exenatide vs. metformin on endothelial function in obese patients with pre-diabetes: a randomized trial. *Cardiovascular Diabetology, 11*(1), 1-7.

Kirwan, J. P., Sacks, J., & Nieuwoudt, S. (2017). The essential role of exercise in the management of type 2 diabetes. *Cleveland Clinic journal of medicine, 84*(7 Suppl 1), S15.

Liu, D., Zhang, Y., Wu, L., Guo, J., Yu, X., Yao, H., ... & Li, H. (2022). Effects of Exercise Intervention on Type 2 Diabetes Patients With Abdominal Obesity and Low Thigh Circumference (EXTEND): Study Protocol for a Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Endocrinology, 13*.

Liu, S. X., Zheng, F., Xie, K. L., Xie, M. R., Jiang, L. J., & Cai, Y. (2019). Exercise reduces insulin resistance in type 2 diabetes mellitus via mediating the lncRNA MALAT1/microRNA-382-3p/resistin axis. *Molecular Therapy-Nucleic Acids, 18*, 34-44.

Magalhães, J. P., Júdice, P. B., Ribeiro, R., Andrade, R., Raposo, J., Dores, H., ... & Sardinha, L. B. (2019). Effectiveness of high-intensity interval training combined with resistance training versus continuous moderate-intensity training combined with resistance training in patients with type 2 diabetes: A one-year randomized controlled trial. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 21*(3), 550-559.

Magalhães, J. P., Santos, D. A., Correia, I. R., Hetherington-Rauth, M., Ribeiro, R., Raposo, J. F., ... & Sardinha, L. B. (2020). Impact of combined training with different exercise intensities on inflammatory and lipid markers in type 2 diabetes: A secondary analysis from a 1-year randomized controlled trial. *Cardiovascular Diabetology, 19*(1), 1-11.

Malin, S. K., & Kirwan, J. P. (2012). Fasting hyperglycaemia blunts the reversal of impaired glucose tolerance after exercise training in obese older adults. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 14*(9), 835-841.

Malin, S. K., Viskochil, R., Oliver, C., & Braun, B. (2013). Mild fasting hyperglycemia shifts fuel reliance toward fat during exercise in adults with impaired glucose tolerance. *Journal of Applied Physiology, 115*(1), 78-83.

Mannucci, E., Bonifazi, A., & Monami, M. (2021). Comparison between different types of exercise training in patients with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and network metanalysis of randomized controlled trials. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 31*(7), 1985-1992.

Pan, B., Ge, L., Xun, Y. Q., Chen, Y. J., Gao, C. Y., Han, X., ... & Tian, J. H. (2018). Exercise training modalities in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and network meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 15*(1), 1-14.

Qiu, S. H., Xue, C., Sun, Z. L., Steinacker, J. M., Zügel, M., & Schumann, U. (2017). Attenuated heart rate recovery predicts risk of incident diabetes: insights from a meta-analysis. *Diabetic Medicine, 34*(12), 1676-1683.

Qiu, S., Cai, X., Yin, H., Sun, Z., Zügel, M., Steinacker, J. M., & Schumann, U. (2018). Exercise training and endothelial function in patients with type 2 diabetes: a meta-analysis. *Cardiovascular Diabetology, 17*, 1-12.

Ribisl, P. M., Gaussoin, S. A., Lang, W., Bahnson, J., Connelly, S. A., Horton, E. S., ... & Look AHEAD Research Group. (2012). Lifestyle intervention improves heart rate recovery from exercise in adults with type 2 diabetes: results from the Look AHEAD study. *Journal of Obesity*, 2012.

Rognmo, Ø., Moholdt, T., Bakken, H., Hole, T., Mølstad, P., Myhr, N. E., ... & Wisløff, U. (2012). Cardiovascular risk of high-

versus moderate-intensity aerobic exercise in coronary heart disease patients. *Circulation, 126*(12), 1436-1440.

Savikj, M., & Zierath, J. R. (2020). Train like an athlete: applying exercise interventions to manage type 2 diabetes. *Diabetologia, 63*, 1491-1499.

Schwingshackl, L., Missbach, B., Dias, S., König, J., & Hoffmann, G. (2014). Impact of different training modalities on glycaemic control and blood lipids in patients with type 2 diabetes: a systematic review and network meta-analysis. *Diabetologia, 57*(9), 1789-1797.

Sigal, R. J., Armstrong, M. J., Bacon, S. L., Boule, N. G., Dasgupta, K., Kenny, G. P., & Riddell, M. C. (2018). Physical activity and diabetes. *Canadian Journal of Diabetes, 42*, S54-S63.

Sigal, R. J., Kenny, G. P., Boulé, N. G., Wells, G. A., Prud'homme, D., Fortier, M., ... & Jaffey, J. (2007). Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes: a randomized trial. *Annals of Internal Medicine, 147*(6), 357-369.

Slentz, C. A., Bateman, L. A., Willis, L. H., Granville, E. O., Piner, L. W., Samsa, G. P., ... & Kraus, W. E. (2016). Effects of exercise training alone vs a combined exercise and nutritional lifestyle intervention on glucose homeostasis in prediabetic individuals: a randomised controlled trial. *Diabetologia, 59*, 2088-2098.

Su, X., He, J., Cui, J., Li, H., & Men, J. (2022). The effects of aerobic exercise combined with resistance training on inflammatory factors and heart rate variability in middle-aged and elderly women with type 2 diabetes mellitus. *Annals of Noninvasive Electrocardiology, 27*(6), e12996.

Tomas-Carus, P., Ortega-Alonso, A., Pietilainen, K. H., Santos, V., Goncalves, H., Ramos, J., & Raimundo, A. (2016). A randomized controlled trial on the effects of combined aerobic-resistance exercise on muscle strength and fatigue, glycemic control and health-related quality of life of type 2 diabetes patients. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 56*(5), 572-578.

Udayappan, S. D., Hartstra, A. V., Dallinga-Thie, G. M., & Nieuwdorp, M. (2014). Intestinal microbiota and faecal transplantation as treatment modality for insulin resistance and type 2 diabetes mellitus. *Clinical & Experimental Immunology, 177*(1), 24-29.

Vieira, E. R., Cavalcanti, F. A. D. C., Civitella, F., Hollifield, M., Caceres, S., Carreno, J., ... & Queiroga, M. R. (2021). Effects of exercise and diet on body composition and physical function in older Hispanics with type 2 diabetes. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(15), 8019.

Winding, K. M., Munch, G. W., Iepsen, U. W., Van Hall, G., Pedersen, B. K., & Mortensen, S. P. (2018). The effect on glycaemic control of low-volume high-intensity interval training versus endurance training in individuals with type 2 diabetes. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 20*(5), 1131-1139.

Yumuk, V., Tsigos, C., Fried, M., Schindler, K., Busetto, L., Micic, D., & Toplak, H. (2015). European guidelines for obesity management in adults. *Obesity Facts, 8*(6), 402-424.

논문투고일: 2023.10.30 논문심사일: 2023.11.22 심사완료일: 2023.12.06