

신체특성에 따른 최대산소섭취량의 관련성 분석

옥현태¹, 이수정¹, 오민광¹, 손현준^{1,2}

¹해부학교실 의과대학 충북대학교, ²의생명연구원 충북대학교병원

Analysis of the Relationship between Maximum Oxygen Uptake and Physical Characteristics

Hyun Tae OK¹, Su Jeong LEE¹, Kwang Min OH¹, Hyun Joon SOHN^{1,2}

¹Anatomy, Medical School, Chungbuk National University

²Biomedical Research institute, Chungbuk National University Hospital

Abstract : This study aims to analyze the relationship between subjects' health, physical characteristics related to fitness, and VO₂max measured by direct methods. The goal is to provide foundational data for developing safe, individualized, and systematic exercise prescription programs for health promotion and disease prevention. The study involved 30 men and 11 women in their 20s. All participants underwent measurements of body composition, anthropometry, muscle strength and endurance of the upper and lower extremities, and graded exercise tests (GXT) to determine VO₂max, exercise load, heart rate, and blood pressure. Correlation analysis and multiple regression analysis were performed on all measured data to determine the relationship between VO₂max and physical characteristics. Body Fat Percentage (%BF) showed the strongest negative correlation with VO₂max, with a correlation coefficient of -0.817 . The results of multiple regression analysis indicated that %BF had a significant relationship with VO₂max, and the p-value was 0.000, which is statistically significant. Hip circumference exhibited a negative correlation with VO₂max, with a correlation coefficient of -0.314 . However, in the multiple regression analysis involving body measurements and VO₂max, no statistically significant results were observed for any of the parameters. Upper body strength showed the strongest positive correlation with VO₂max, with a correlation coefficient of 0.578. Nonetheless, the multiple regression analysis of physical function and VO₂max did not yield statistically significant results. Maximum systolic blood pressure (SBPmax) during exercise demonstrated a strong positive correlation with VO₂max, with a correlation coefficient of 0.787. The results of the multiple regression analysis indicated that SBPmax had a significant relationship with VO₂max, with a p-value of 0.000, which is statistically significant. This study emphasizes the importance of body fat percentage in relation to VO₂max levels, which are known to be closely related to overall human health. Therefore, in terms of exercise

2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다 (2024RIS-001).
저자(들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.
저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.

Received: August 26, 2024; **Revised:** September 24, 2024;

Accepted: September 25, 2024

Correspondence to: 손현준 (충북대학교 의과대학 해부학교실)

E-mail: hjsohn@chungbuk.ac.kr

prescription and programming, it is desirable to not only consider the relationship between cardiovascular fitness factors, such as $VO_2\max$, and body composition, which have traditionally been proven to be related, but also to take into account overall fitness factors, including improvements in strength and muscular endurance, which might otherwise be overlooked as important health-related fitness factors.

Keywords : Body composition, Physical measurements, Exercise function, Maximal oxygen uptake

서론

최대산소섭취량($VO_2\max$)은 심혈관 건강과 깊이 연관된 지표로, 이를 평가하는 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 최대산소섭취량은 심폐체력(cardiopulmonary fitness, CPF)을 측정하는 중요한 기준이며, 이와 인체 건강 간의 밀접한 관계가 다수의 연구에서 보고되었다[1].

일반적으로 최대산소섭취량이 높은 경우 심폐체력의 수준은 높게 나타난다. 최대산소섭취량이 낮은 경우, 신체 활동의 감소로 인해 심혈관 질환, 전반적인 사망률, 그리고 암 사망률의 증가와 관련이 있다[1]. 반대로, 심폐체력 수준이 향상되면 관상동맥 질환[2], 고혈압[3], 당뇨병[4], 뇌졸중[5] 및 암 발생 위험 감소 등 다양한 건강상의 이점을 얻을 수 있으며[6], 이러한 개선은 사망 위험을 줄이는 데 도움이 된다. 이러한 심폐체력과 사망률 간의 관계는 연령, 성별, 인종, 동반 질환과 무관하게 나타난다고 보고된 바 있다[7-13].

위의 선행연구에서 최대산소섭취량은 전반적인 건강과 밀접하게 연관되어 있으며, 이를 향상시키는 것이 건강에 유익하다는 점은 널리 인정되고 있다. 그러나 기존 연구들은 주로 유산소성 지구력 운동이나 저항 운동을 통한 최대산소섭취량의 변화를 다루어왔기 때문에, 특정 훈련이 아닌 다양한 신체적 건강 지표와 최대산소섭취량 간의 관계를 탐구하는 연구가 더 필요하다. 특히, 국내에서는 이러한 연구가 제한적으로 이루어지고 있어, 신체적 및 기능적 요인들과 최대산소섭취량 간의 상관관계를 조사하는 것이 건강 평가 및 운동 처방의 기초자료를 제공하는 데 매우 중요하다.

연구대상 및 방법

1. 대상

본 연구는 건강하고 기능적 문제가 없는 20대 남자 30명과 여자 11명 총 41명을 대상으로 하였다. 연구 전, 모

든 대상자에게 연구의 목적과 내용을 충분히 설명하였고, 자발적으로 연구에 참여를 희망하는 자에 한하여 실시하였으며, 충북대학교 생명윤리심의 위원회의 승인(CBNU-202310-HR-0237)을 받아 진행하였다. 대상자의 일반적인 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구설계

본 연구의 대상자들은 최대산소섭취량 측정 과정에서 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지하기 위해 지정된 의료기관을 방문하여 혈압, 체질, 심전도 등 의사의 의학적 선별검사(medical screening)를 받았다[14].

이후 지정된 피트니스 센터의 체력 측정실을 방문하여 신체특성을 측정하였다. 먼저 키(height)를 측정하였고, 이후 임피던스 체지방 측정기를 이용해 체중(weight), 골격근량(skeletal muscle mass), 체지방량(body fat mass), 신체질량지수(body mass index), 허리-엉덩이비율(waist-hip ratio), 체지방률(percent body fat), 그리고 지방빼체중(lean body mass)을 측정하였다. 같은 날, 대상자들의 최대산소섭취량을 평가하기 위해 점증 운동 검사를 실시하였으며, 이 과정에서 호흡 가스 분석기와 트레드밀을 사용했다.

대상자들이 충분한 휴식을 취할 수 있도록 일주일 후, 체력 측정을 위해 다시 피트니스 센터를 방문했다. 체력 측정은 전자식 악력계를 통해 주로 사용하는 손의 악력 측정으로 시작되었으며, 상체와 하체의 최대 근력을 평가하기 위해 벤치프레스 테스트와 스쿼트 테스트를 진행했다. 상체 근지구력은 팔굽혀펴기 테스트를 통해 측정하였다. 세

Table 1. Characteristics of study subjects

Variables	Male (N = 30)		Female (N = 11)		Total (N = 41)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Age (years)	22.53	1.73	21.54	1.36	22.26	1.68
Height (cm)	175.23	5.94	160.09	4.61	171.17	8.78
Weight (kg)	76.79	15.12	57.3	6.78	71.56	15.93

Table 2. Measurement items

Variables	Experimental tool
Heigh (cm)	Height meter (Chosunshop, Korea)
Body composition	Bioelectrical impedance body fat analyzer (Inbody 270, Korea)
Circumference (cm)	Caliper 1.5 m (Morning glory, China)
Graded exercise test	Treadmill (Startrack TRc, USA)
Respiratory gas analyzer	Quark b2 (COSMED, Italy)
Grip strength test (kg)	Pro-specs electronic hand dynamometer (Sin sports, China)
Bench press 1-RM test (kg)	Olympic bench (Newtech, Korea)
Squat 1-RM test (kg)	Squat rack (Newtech, Korea)
Muscular endurance test (reps)	Push-up Test (ACSM, USA)

부 측정 항목은 Table 2에 제시하였다.

3. 측정방법

1) 키(height)

키는 수동 키 측정기를 사용하여 측정하였다. 측정 시 대상자는 얼굴을 정면으로 향하고 턱을 당긴 자세에서 곧게 서도록 했으며, 머리 뒷부분, 엉덩이, 발뒤꿈치를 측정 기둥에 밀착시켰다. 그 후, 머리의 가장 높은 지점부터 발바닥의 가장 낮은 지점까지의 거리를 센티미터 단위로 측정하였다.

2) 신체조성(body composition)

바이오 임피던스 체지방측정기를 사용해 신체조성을 측정하였다. 측정 시, 대상자는 반바지와 반팔 티셔츠를 착용하고 금속 물질을 제거한 후, 양 발바닥을 전극에 정확히 위치시키고 똑바로 서서 양손의 엄지손가락과 손바닥으로 전극을 잡고 움직이지 않도록 했다. 측정 대상자 중 신체 내 보철물이나 인공 심장박동기를 착용한 사람은 없었으며, 측정된 데이터는 신체질량지수(kg/m²), 근육량(kg), 체지방량(kg), 지방백체중(kg), 체지방률(%), 허리-엉덩이비율(%)을 포함했다.

3) 둘레측정(circumference)

모든 측정은 신축성이 없는 유연한 줄자를 사용해 진행하였다. 줄자는 피부나 피하지방 조직을 압박하지 않도록 주의했으며, 각 부위는 두 번씩 측정해 그 결과가 5 mm 이내 에 들면 평균값을 기록했다. 피부 복원을 위해 각 부위를 순차적으로 측정하거나 일정한 시간 간격을 두고 진행하였다. 측정 부위는 복부, 위팔, 아래팔, 엉덩이, 종아리, 넓

Table 3. Treadmill bruce protocol

Stage	Speed (mph)	Gradient (%)	Duration (min)
1	1.7	10	3
2	2.5	12	3
3	3.4	14	3
4	4.2	16	3
5	5.0	18	3
6	5.5	20	3
7	6.0	22	3

적다리, 허리였으며, 측정과 검사는 동일한 성별의 측정자와 검사자가 담당했다. 결과는 cm 단위로 기록했다.

4) 점증운동검사(graded exercise test, GXT)

이 연구에서는 최대산소섭취량을 측정하기 위해 트레드밀을 활용한 점증운동검사(GXT)를 진행했다. 실험 전날에는 격렬한 활동을 피하고, 카페인, 흡연, 음식물 섭취를 제한하였으며, 측정 3시간 전부터는 물 외의 모든 음료 섭취를 금지했다. 최대산소섭취량은 호흡가스분석기(Quarkb², COSMED, Italy)를 사용해 분석했으며, 정확도를 높이기 위해 1시간 이상 예열 후 영점조절과 공기주입기를 통해 교정을 마쳤다. 검사 중에는 운동부하검사 전용 마스크를 착용했으며, 피험자가 탈진 상태에 도달하면 검사를 종료했다. 탈진 기준은 심박수 증가가 없거나, 호흡교환률(RER)이 1.10을 초과하거나, 자각도(RPE)가 17을 넘거나, 산소섭취량이 더 이상 증가하지 않을 때로 설정했다. 이러한 기준 중 하나라도 충족되면 검사는 중단됐다. 트레드밀 운동검사 프로토콜은 Table 3에 명시된 대로 진행했다.

5) 악력검사(hand grip)

악력 측정은 전자식 악력계(신스포츠, China)를 사용하여 진행하였다. 대상자는 악력기의 손잡이를 검지의 두 번째 마디가 직각이 되도록 조절한 후, 팔꿈치를 펴고 팔을 약 15도 정도 벌린 차렷 자세에서 최대한 힘을 주어 측정했다. 오른손과 왼손을 각각 측정했으며, 더 높은 값을 기록에 사용했다. 결과는 kg 단위로 기록했다.

6) 최대근력검사(one repetition maximum test)

최대근력 측정은 National Strength and Conditioning Association (NSCA) 지침에 따라 벤치프레스(상체)와 스쿼트(하체)으로 진행하였다[19]. 대상자에게는 사전에 자세한 설명과 준비운동이 제공되었으며, 첫 시도 무게는 대상자가 자신의 능력으로 판단한 최대 중량의 50~70%로 설정했다. 이후 저항 무게는 상체는 5~10%, 하체는

10~20%씩 점진적으로 증가시켰다. 마지막으로 성공적으로 들어 올린 중량이 절대적 최대근력으로 기록하였으며, 각 시도 간의 휴식 시간은 3~5분으로 유지했다. 최대근력은 4회 이내의 시도로 결정되었고, 측정값은 kg 단위로 기록하였다.

7) 근지구력검사(muscle endurance test)

근지구력 측정은 American College of Sports Medicine (ACSM) 지침에 따라 팔굽혀펴기 검사로 진행하였다[14]. 남성은 표준 자세로 팔꿈치를 완전히 펴고 몸을 들어 올린 후, 턱이 매트에 닿을 때까지 내려가는 방식으로 실시했다. 여성은 무릎을 대고 팔굽혀펴기를 하는 변형된 자세로 수행했다. 휴식 없이 연속으로 수행한 최대 횟수를 기록했으며, 올바른 자세를 유지하지 못하거나 무리하게 힘을 쓴 경우, 검사를 중단하였다.

4. 자료처리

모든 데이터는 SPSS Statistics Ver. 27을 사용하여 분석하였으며, 남녀의 신체조성, 신체계측, 신체기능, 생리학적 반응의 평균 및 표준편차를 산출하였다. 신체특성과 최대 산소섭취량의 관련성을 조사하기 위해 상관분석을 수행하고, 신체특성을 독립변수로, 최대산소섭취량을 종속변수로 하는 다중회귀분석을 실시하였다. 가설 검증을 위한 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

연구 결과

1. 남녀별 신체조성 특성

연구에 참여한 남녀의 신체조성 평균 및 표준편차를 보면, 남자는 BMI, SMM, LBM이 여자보다 높았다. 반면, 여자는 BF와 BFM이 남자보다 높았다. BF, SMM, LBM에서 통계적으로 유의한 차이가 발견되었다(Table 4).

2. 남녀별 신체계측 특성

남녀의 신체계측 평균 및 표준편차를 보면, 모든 항목에서 남자가 여자보다 높았다. Upper Arm, Forearm, Waist, Abdomen, Calf에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Table 5).

3. 남녀별 신체기능 특성

신체기능의 평균 및 표준편차를 보면, 남자가 여자보다 모든 항목에서 높았다. Grip strength, Bench press, Squat에

Table 4. Characteristics of body composition by gender

Variables	Male		Female		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
BMI (kg/m ²)	24.89	4.11	22.25	2.22	0.052
BF (%)	20.04	7.25	33.48	6.52	0.001*
WHR (%)	0.88	0.07	0.88	0.04	0.998
BFM (kg)	16.12	8.93	19.15	3.87	0.286
SMM (kg)	34.49	4.87	20.44	2.21	0.001*
LBM (kg)	60.46	8.44	37.96	3.76	0.001*

* $p < 0.05$ (t-test)
SD: Standard deviation, BMI: Body mass index, BF: Body fat, WHR: Waist hip ratio, BFM: Body fat mass, SMM: Skeletal muscle mass, LBM: Lean body mass. *: Statistically significant difference.

Table 5. Characteristics of anthropometric measurements by gender

Variables	Male		Female		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
Upper arm (cm)	32.83	3.71	27.12	3.13	0.001*
Forearm (cm)	26.66	2.17	21.94	1.31	0.001*
Hip (cm)	98.73	7.83	94.43	3.86	0.091
Waist (cm)	82.17	9.39	71.65	5.48	0.001*
Abdomen (cm)	85.11	11.22	75.07	6.97	0.009*
Thigh (cm)	59.79	6.16	56.02	4.26	0.070
Calf (cm)	38.38	3.18	34.69	2.80	0.002*

* $p < 0.05$ (t-test)
SD: Standard deviation, *: Statistically significant difference.

서 통계적으로 유의한 차이가 발견되었다(Table 6).

4. 남녀별 생리학적 반응 특성

생리학적 반응의 평균 및 표준편차를 보면, 남자가 여자보다 모든 항목에서 높았다. SBP rest, DBP rest, SBP max, DBP max에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Table 7).

5. 남녀별 최대산소섭취량 특성

최대산소섭취량의 평균 및 표준편차를 보면, 남자가 여자보다 통계적으로 유의하게 높았다(Table 8).

6. 남녀 전체 신체조성과 최대산소섭취량의 상관관계

남녀 전체의 신체조성과 최대산소섭취량 상관분석 결과, BF (%)에서 상관계수 -0.817 로 가장 높은 상관관계를 보

Table 6. Characteristics of physical functions by gender

Variables	Male		Female		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
Grip strength (kg)	46.61	6.26	30	4.60	0.001*
Bench press (kg)	78.85	17.58	27.27	6.84	0.001*
Squat (kg)	111.63	22.83	47.72	17.08	0.001*
Push-up (reps)	35.16	18.73	23.18	17.35	0.072

*p<0.05 (t-test)
SD: Standard deviation, *: Statistically significant difference.

Table 7. Characteristics of physiological responses by gender

Variables	Male		Female		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
HR rest	73.13	12.85	67.36	6.74	0.166
HR max	192.4	8.83	189.09	10.33	0.316
SBP rest	118.93	13.18	104.36	12.25	0.003*
DBP rest	70.4	6.83	64	7.58	0.014*
SBP max	190.26	13.67	162.18	14.97	0.001*
DBP max	77.06	6.31	72	7.37	0.036*

*p<0.05 (t-test)
SD: Standard deviation, HR: Heart rate, SBP: Systolic blood pressure, DBP: Diastolic blood pressure, *: Statistically significant difference.

Table 8. Characteristics of maximal oxygen uptake by gender

Variables	Male		Female		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
VO ₂ max (mL/kg/min)	45.04	6.96	35.33	3.90	0.001*

*p<0.05 (t-test)
SD: Standard deviation, VO₂max: Maximal oxygen consumption, *: Statistically significant difference.

였다. 남녀 모두 체지방률이 높을수록 최대산소섭취량이 낮아지는 음의 상관관계가 나타났다(Table 9).

7. 남녀 전체 신체조성과 최대산소섭취량의 다중회귀분석

남녀 전체의 최대산소섭취량을 종속변수로 한 신체조성과의 다중회귀분석 결과, BF (%)에서 p-value 0.000으로 통계적으로 유의하게 나타났다(p<0.05). 이는 남녀 모두 체지방률이 낮을수록 최대산소섭취량이 높다는 것을 의미한다(Table 10).

Table 9. The correlation between body composition and maximal oxygen uptake in men and women

	BMI (kg/m ²)	BF (%)	WHR (%)	BFM (kg)	SMM (kg)	LBM (kg)
VO ₂ max (mL/kg/min)	-0.287	-0.817*	-0.041	-0.649*	0.296	0.283

*p<0.05 (pearson correlation analysis)
BMI: Body mass index, WHR: Waist hip ratio, BFM: Body fat mass, BF: Body fat, SMM: Skeletal muscle mass, LBM: Lean body mass, VO₂max: Maximal oxygen consumption, *: Statistically significant difference.

Table 10. Multiple regression analysis of body composition and maximal oxygen uptake in men and women

Variables	Coefficient	Standard error	T-statistic	p-value
BMI (kg/m ²)	-1.000	0.753	-1.329	0.196
BF (%)	-1.262	0.331	-3.824	0.000*
WHR (%)	1.324	1.299	1.019	0.318
BFM (kg)	0.880	0.590	1.490	0.149
SMM (kg)	8.462	6.511	1.299	0.206
LBM (kg)	18.306	17.697	1.034	0.311

*p<0.05 (multiple regression analysis)
BMI: Body mass index, WHR: Waist hip ratio, BFM: Body fat mass, BF: Body fat, SMM: Skeletal muscle mass, LBM: Lean body mass, *: Statistically significant difference.

8. 남녀 전체 신체계측과 최대산소섭취량의 상관관계

남녀 전체의 신체계측과 최대산소섭취량 상관분석 결과, hip (cm)에서 상관계수 -0.314로 신체계측 항목 중 가장 높은 상관관계를 보였다. 엉덩이 둘레값이 클수록 최대산소섭취량이 낮아지는 음의 상관관계가 나타났다(Table 11).

9. 남녀 전체 신체계측과 최대산소섭취량의 다중회귀분석

남녀 전체의 최대산소섭취량을 종속변수로 한 신체계측과의 다중회귀분석 결과, 모든 신체계측 항목에서 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았다(Table 12).

10. 남녀 전체 신체기능과 최대산소섭취량의 상관관계

남녀 전체의 신체기능과 최대산소섭취량 상관분석 결과, Bench press (kg)에서 상관계수 0.578로 신체기능 항목 중 가장 높은 상관관계를 보였다. 상체 근력이 좋을수록 최대산소섭취량이 높아지는 양의 상관관계가 나타났다(Table 13).

Table 11. The correlation between anthropometric measurements and maximal oxygen uptake in men and women

	Upper arm (cm)	Forearm (cm)	Hip (cm)	Waist (cm)	Abdomen (cm)	Thigh (cm)	Calf (cm)
VO ₂ max (mL/kg/min)	0.028	0.217	-0.314*	-0.143	-0.257	-0.256	-0.070

*p<0.05 (pearson correlation analysis)
VO₂max: Maximal oxygen consumption, *: Statistically significant difference.

Table 12. Multiple regression analysis of anthropometric measurements and maximal oxygen uptake in men and women

Variables	Coefficient	Standard error	T-statistic	p-value
Upper arm (cm)	0.731	0.562	1.302	0.205
Forearm (cm)	0.231	0.610	0.379	0.707
Hip (cm)	0.658	0.568	1.157	0.258
Waist (cm)	0.148	0.464	0.319	0.752
Abdomen (cm)	-0.056	0.286	-0.195	0.846
Thigh (cm)	0.843	0.717	1.176	0.250
Calf (cm)	1.153	0.714	1.612	0.119

*p<0.05 (multiple regression analysis)

Table 13. The correlation between physical functions and maximal oxygen uptake in men and women

	Grip strength (kg)	Bench press (kg)	Squat (kg)	Push-up (reps)
VO ₂ max (mL/kg/min)	0.010	0.578*	0.411*	0.397*

*p<0.05 (pearson correlation analysis)
VO₂max: Maximal oxygen consumption, *: Statistically significant difference.

11. 남녀 전체 신체기능과 최대산소섭취량의 다중회귀분석

남녀 전체의 최대산소섭취량을 종속변수로 한 신체기능과의 다중회귀분석 결과, 모든 신체기능 항목에서 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았다(Table 14).

12. 남녀 전체 생리학적 반응과 최대산소섭취량의 상관관계

남녀 전체의 생리학적 반응과 최대산소섭취량 상관분석 결과, SBP max (mmHg)에서 상관계수 0.787로 생리학적 반응 항목 중 가장 높은 상관관계를 보였다. 운동 중 최대 수축기 혈압이 높을수록 최대산소섭취량이 높아지는 양의 상관관계가 나타났다(Table 15).

Table 14. Multiple regression analysis of physical functions and maximal oxygen uptake in men and women

Variables	Coefficient	Standard error	T-statistic	p-value
Grip strength (kg)	-0.001	0.018	-0.975	0.922
Bench press (kg)	0.175	0.094	1.850	0.072
Squat (kg)	0.075	0.063	1.191	0.241
Push-up (reps)	0.116	0.067	1.711	0.095

*p<0.05 (multiple regression analysis)

13. 남녀 전체 생리학적 반응과 최대산소섭취량의 다중회귀분석

남녀 전체의 최대산소섭취량을 종속변수로 한 생리학적 반응과의 다중회귀분석 결과, SBP max (mmHg)에서 p-value 0.000으로 통계적으로 유의하게 나타났다(p<0.05). 이는 운동 중 최대 수축기 혈압이 높을수록 최대산소섭취량이 높다는 것을 의미한다(Table 16).

논 의

이 연구는 최대산소섭취량(VO₂max)과 신체조성, 신체계측, 신체기능, 생리학적 반응 간의 관계를 분석하여, 건강증진 및 질병 예방을 위한 운동처방 프로그램의 기초자료를 제공하는 것을 목표로 하였다. 연구결과는 VO₂max와 다양한 신체적 특성 사이의 상관관계와 다중회귀분석을 통해 도출되었으며, 다음과 같은 주요 논점들을 제공한다.

1. 신체조성과 최대산소섭취량

체지방률은 신체 구성의 중요한 지표 중 하나로, 본 연구에서는 남녀 모두에서 체지방률과 최대산소섭취량 사이에 강한 음의 상관관계를 확인했다. 이 결과는 Ross 등[1]과 Arsenault 등[15]의 연구와 일치한다. Ross 등[1]은 체지방률이 증가할수록 최대산소섭취량이 감소하는 경향을

Table 15. Correlation analysis between physiological responses and maximal oxygen uptake in men and women

	HR rest (beat/min)	HR max (beat/min)	SBP rest (mmHg)	DBP rest (mmHg)	SBP max (mmHg)	DBP max (mmHg)
VO ₂ max (mL/kg/min)	-0.117	0.086	0.311*	-0.020	0.787*	0.022

*p < 0.05 (pearson correlation analysis)

HR: Heart rate, SBP: Systolic blood pressure, DBP: Diastolic blood pressure, VO₂max: Maximal oxygen consumption, *: Statistically significant difference.

Table 16. Multiple regression analysis of physiological responses and maximal oxygen uptake in men and women

Variables	Coefficient	Standard error	T-statistic	p-value
HR rest (beat/min)	-0.152	0.109	-1.395	0.172
HR max (beat/min)	0.101	0.122	0.829	0.412
SBP rest (mmHg)	0.047	0.094	0.498	0.612
DBP rest (mmHg)	-0.011	0.009	-1.136	0.263
SBP max (mmHg)	0.259	0.064	4.019	0.000*
DBP max (mmHg)	-0.125	0.205	-0.607	0.547

*p < 0.05 (multiple regression analysis)

HR: Heart rate, SBP: Systolic blood pressure, DBP: Diastolic blood pressure, *: Statistically significant difference.

보였고, Arsenault 등[15]도 체지방률과 최대산소섭취량 사이에 음의 상관관계를 발견하여, 체지방률이 높을수록 최대산소섭취량이 낮아진다고 보고했다. 이 결과는 체지방률이 높으면 신체의 산소 운반 능력이 떨어져 최대산소섭취량이 낮아진다는 것을 시사한다. 체지방률은 체내 지방량과 근육량의 비율로, 상대적으로 근육량이 많을수록 체지방률은 낮아진다. 또한, 체지방률 관리를 위한 근육량 증가가 대사율을 높여 지방 연소를 촉진한다. 본 연구의 다중회귀분석에서도 체지방률이 최대산소섭취량의 중요한 예측 변인으로 나타났으며, 체지방률 관리는 심혈관계 건강과 유산소 운동능력 향상에 중요한 역할을 한다는 점을 강조한다.

2. 신체계측과 최대산소섭취량

복부둘레는 남성의 최대산소섭취량과 음의 상관관계를 보였고, 넓적다리둘레는 여성의 최대산소섭취량과 음의 상관관계를 나타냈다. 이 결과는 Lee 등 [7]의 연구와 일치하며, 남성의 복부둘레와 최대산소섭취량 사이에 음의 상관

관계가 있음을 보고했다. 또한 Ko 등 [16]의 연구는 여성의 넓적다리둘레와 최대산소섭취량 사이에 음의 상관관계를 보여주었고, 넓적다리둘레가 작을수록 최대산소섭취량이 높아진다고 밝혔다. 이는 여성의 허벅지 둘레에 지방이 더 많이 축적된다는 것을 의미하며, 신체 특정 부위의 지방 축적이 최대산소섭취량을 낮추는 경향이 있음을 나타낸다. 그러나 본 연구의 다중회귀분석에서는 이러한 관계가 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 신체계측 변인과 최대산소섭취량 사이의 관계가 연구마다 다를 수 있음을 시사한다. 따라서, 신체계측 변인만으로는 최대산소섭취량을 충분히 예측하기 어려운 점을 고려해야 하며, 체지방률과 같은 신체조성 요소와 함께 신체계측 변인을 종합적으로 고려할 필요가 있다.

3. 신체기능과 최대산소섭취량

남자의 경우 상체 근지구력(push-up)과 최대산소섭취량 간에 양의 상관관계가 나타났고, 여자는 상체 근력(bench press)과 VO₂max 간에 양의 상관관계를 보였다. 이러한 연구결과는 Vaara 등[17]과 Fogelholm 등[18]의 선행연구와 일치한다. Vaara 등 [17]의 연구에서는 남자의 근지구력과 최대산소섭취량 간 양의 상관관계가 나타났고, Fogelholm 등[18]의 연구에서도 남자의 근지구력과 최대산소섭취량 사이의 양의 상관관계를 보였다. 이는 상체 근지구력이 좋을수록 최대산소섭취량이 높다는 것을 의미한다. 본 연구에서도 상체 근지구력은 남자의 최대산소섭취량에 대한 예측 변인으로서 통계적으로 유의하였다. 이러한 결과는 상대적으로 상체 근육이 발달되어 있는 경우, 상체 근력이 유산소 운동능력과 더 관련이 있을 수 있다. 또한 특정 운동형태 및 활동유형이 상체 근육을 더 많이 사용하는 경우, 상체 근력과 유산소 운동능력의 상관관계가 깊어질 수 있다. 결과적으로 개인의 신체조건 및 운동 스타일, 활동수준에 따라 최대산소섭취량의 수준 또한 다르게 나타날 수 있어서 개별적 운동처방 시, 성별뿐만 아니라 상하지 근력과 근지구력 수준을 고려하는 것이 필요하다고 하겠다.

4. 생리학적 반응과 최대산소섭취량

남녀 모두 운동 중 최대 수축기 혈압(SBP max)과 최대 산소섭취량 간의 양의 상관관계를 발견했다. 다중회귀분석에서도 운동 중 최대 수축기 혈압이 남녀 모두에게 통계적으로 유의미한 결과를 나타냈다. 이 결과는 Lee 등 [20]의 연구와 일치하며, 운동부하검사 중 최대 수축기 혈압과 최대 산소섭취량 간의 양의 상관관계를 확인한 바 있다. 운동 강도가 증가하면 근육에 필요한 산소와 영양소를 더 많이 공급하기 위해 수축기 혈압이 상승하는 일반적인 생리적 반응으로, 본 연구에서는 미국스포츠의학회 운동검사 중단 기준에 포함되는 수축기 혈압이 250 mmHg를 초과하는 경우는 없었다. 이 결과는 혈압과 같은 생리적 반응이 최대 산소섭취량과 밀접하게 연관되어 있으며, 운동 중 심혈관계의 효율적인 반응이 유산소 운동능력 향상에 중요하다는 것을 의미한다.

따라서, 본 연구의 결과는 이전 연구들과 큰 부합성을 가지고 있으며, 신체조성, 신체계측, 체력 요소 및 생리적 반응과 최대산소섭취량 사이의 관계를 다양한 측면에서 보여준다.

결 론

본 연구는 신체조성, 체력요인, 그리고 건강관련 생리학적 반응이 최대산소섭취량과 다양한 방식으로 연관되어 있음을 밝혔다. 특히 체지방률이 높을수록 최대산소섭취량이 낮아지는 경향을 확인하며, 체지방률 관리가 유산소 운동 능력 향상에 중요한 역할을 한다는 점을 강조한다. 또한 신체계측 변인과 최대산소섭취량 사이의 관계는 연구마다 다를 수 있으며, 이러한 변인만으로 최대산소섭취량을 충분히 예측하기 어렵다는 것을 시사한다.

체력 요인의 경우, 개인의 신체조건, 운동 스타일, 활동 수준에 따라 최대산소섭취량의 수준이 달라질 수 있음을 고려해야 한다. 혈압과 같은 생리학적 반응이 최대산소섭취량과 밀접하게 관련되어 있으며, 운동 중 심혈관계의 효율적인 반응이 유산소 운동 능력 향상에 중요하다는 것을 보여준다.

결론적으로, 체지방률 관리, 근력 및 근지구력 향상, 그리고 운동 중 심혈관계 반응 개선이 유산소 운동 능력 증진에 중요함을 강조한다. 이러한 결과는 건강 증진 및 질병 예방을 위한 개별적이고 체계적인 운동 처방 프로그램 개발에 기여할 수 있을 것이다.

본 연구는 20대 건강한 성인 남녀를 대상으로 하였기 때문에 결과를 모든 연령층에 일반화하기에는 한계가 있다.

따라서, 다양한 연령층, 반건강인, 만성질환자를 대상으로 한 후속 연구가 필요하다.

REFERENCES

- Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS, Després JP, Franklin BA, et al. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2016;134:e653-99.
- Shah RV, Murthy VL, Colangelo LA, Reis J, Venkatesh BA, Sharma R, et al. Association of Fitness in Young Adulthood With Survival and Cardiovascular Risk: The Coronary Artery Risk Development in Young Adults (CARDIA) Study. *JAMA Intern Med*. 2016;176:87-95.
- Juraschek SP, Blaha MJ, Whelton SP, Blumenthal R, Jones SR, Keteyian SJ, et al. Physical Fitness and Hypertension in a Population at Risk for Cardiovascular Disease: the Henry Ford Exercise Testing (FIT) Project. *J Am Heart Assoc*. 2014;3:e001268.
- Juraschek SP, Blaha MJ, Blumenthal RS, Brawner C, Qureshi W, Keteyian SJ, et al. Cardiorespiratory Fitness and Incident Diabetes: the FIT (Henry Ford Exercise Testing) Project. *Diabetes Care*. 2015;38:1075-81.
- Hussain N, Gersh BJ, Carta KG, Sydó N, Lopez-Jimenez F, Kopecky SL, et al. Impact of Cardiorespiratory Fitness on Frequency of Atrial Fibrillation, Stroke, and All-Cause Mortality. *Am J Cardiol*. 2018;121:41-9.
- Vainshelboim B, Müller J, Lima RM, Nead KT, Chester C, Chan K, et al. Cardiorespiratory Fitness and Cancer Incidence in Men. *Ann Epidemiol*. 2017;27:442-7.
- Lee DC, Artero EG, Sui X, Blair SN. Mortality Trends in the General Population: the Importance of Cardiorespiratory Fitness. *J Psychopharmacol*. 2010;24(4 Suppl):27-35.
- Goraya TY, Jacobsen SJ, Pellikka PA, Miller TD, Khan A, Weston SA, et al. Prognostic Value of Treadmill Exercise Testing in Elderly Persons. *Ann Intern Med*. 2000;132:862-70.
- Al-Mallah MH, Juraschek SP, Whelton S, Dardari ZA, Ehrman JK, Michos ED, et al. Sex Differences in Cardiorespiratory Fitness and All-Cause Mortality: The Henry Ford Exercise Testing (FIT) Project. *Mayo Clin Proc*. 2016; 91:755-62.
- Ehrman JK, Brawner CA, Al-Mallah MH, Qureshi WT, Blaha MJ, Keteyian SJ. Cardiorespiratory Fitness Change and Mortality Risk Among Black and White Patients: Henry Ford Exercise Testing (FIT) Project. *Am J Med*. 2017; 130:1177-83.

11. Kokkinos P, Manolis A, Pittaras A, Doulas M, Giannelou A, Panagiotakos DB, et al. Exercise Capacity and Mortality in Hypertensive Men with and without Additional Risk Factors. *Hypertension*. 2009;53:494-9.
12. Kokkinos P, Myers J, Nylen E, Panagiotakos DB, Manolis A, Pittaras A, et al. Exercise Capacity and All-Cause Mortality in African American and Caucasian Men with Type 2 Diabetes. *Diabetes Care*. 2009;32:623-8.
13. Wei M, Kampert JB, Barlow CE, Nichaman MZ, Gibbons LW, Paffenbarger Jr RS, et al. Relationship between Low Cardiorespiratory Fitness and Mortality in Normal-Weight, Overweight, and Obese Men. *JAMA*. 1999;282:1547-53.
14. American College of Sports Medicine. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 11th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2022.
15. Arsenaault BJ, Cartier A, Côté M, Lemieux I, Tremblay A, Bouchard C, et al. Body Composition, Cardiorespiratory Fitness, and Low-Grade Inflammation in Middle-Aged Men and Women. *Am J Cardiol*. 2009;104:240-6.
16. Ko SS, Chung JS, So WY. Correlation between Waist and Mid-Thigh Circumference and Cardiovascular Fitness in Korean College Students: a Case Study. *J Phys Ther Sci*. 2015;27:3019-21.
17. Vaara JP, Kyröläinen H, Niemi J, Ohrankammen O, Häkkinen A, Kocay S, et al. Associations of Maximal Strength and Muscular Endurance Test Scores with Cardiorespiratory Fitness and Body Composition. *J Strength Cond Res*. 2012;26:2078-86.
18. Fogelholm M, Malmberg J, Suni J, Santtila M, Kyröläinen H, Mäntysaari M. Waist Circumference and BMI are Independently Associated with the Variation of Cardio-Respiratory and Neuromuscular Fitness in Young Adult Men. *Int J Obes (Lond)*. 2006;30:962-9.
19. Sheppard JM, Triplett NT. Program Design for Resistance Training. In: Haff GG, Triplett NT, editors. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. 4th ed. Champaign (IL): Human Kinetics; 2016. pp. 439-69.
20. Le VV, Mitiku T, Sungar G, Myers J, Froelicher V. The Blood Pressure Response to Dynamic Exercise Testing: a Systematic Review. *Prog Cardiovasc Dis*. 2008;51:135-60.

간추림 : 본 연구는 건강과 체력과 관련된 신체적 특성과 직접 측정된 최대산소섭취량 간의 관계를 분석하는 것을 목표로 하며, 건강 증진 및 질병 예방을 위한 안전하고 개인화된 체계적인 운동 처방 프로그램 개발을 위한 기초 데이터를 제공하고자 하였다. 연구에는 20대 남성 30명과 여성 11명이 참여했으며 모든 참가자는 체성분, 신체계측, 상하체 근력 및 지구력, 그리고 최대산소섭취량, 운동 부하, 심박수, 혈압을 측정하기 위한 점중 운동부하 검사를 수행하였다. 최대산소섭취량과 신체적 특성 간의 관계를 파악하기 위해 상관 분석과 다중 회귀 분석을 실행하였다. 연구결과 체지방률은 최대산소섭취량과 가장 강한 음의 상관관계를 보였으며, 다중 회귀 분석에서도 체지방률은 최대산소섭취량과 유의미한 관계를 보이며 통계적으로 유의했다. 엉덩이 둘레는 최대산소섭취량과 음의 상관관계를 보였으나 신체계측치와 최대산소섭취량 간의 다중 회귀 분석에서는 어떤 항목도 통계적으로 유의미한 결과를 보이지 않았다. 상체 근력은 최대산소섭취량과 가장 강한 양의 상관관계를 보였으나 신체기능과 최대산소섭취량 간의 다중 회귀 분석에서는 통계적으로 유의미한 결과가 나타나지 않았다. 운동 중 최대 수축기 혈압은 최대산소섭취량과 강한 양의 상관관계를 보였으며, 다중 회귀 분석 결과에서도 최대 수축기 혈압은 최대산소섭취량과 유의미한 관계를 보이며 통계적으로 유의했다. 결론적으로 최대산소섭취량과 체지방률 간의 관계의 중요성을 강조하며, 이는 전체적인 건강과 밀접하게 관련되어 있기 때문에 운동 처방 및 프로그램에서 전통적으로 관계가 입증된 최대산소섭취량과 체성분 간의 관계를 고려하는 것 외에도, 근력 및 지구력 개선과 같은 종합적인 체력 요소도 중요한 건강 관련 체력 요소로 고려할 필요가 있음을 제시한다.

찾아보기 낱말 : 신체구성, 신체계측, 운동기능, 최대산소섭취량