

Effects of 12 weeks of circuit training and L-tryptophan supplementation on physical fitness and metabolic syndrome in menopausal women

Hyun-Seok Cho, Tae-Hee Lee, & Man-Gyoon Lee*

Kyung Hee University

[Purpose] The study was designed to investigate the effects of 12 weeks of circuit training and L-tryptophan supplementation on physical fitness and metabolic syndrome. **[Methods]** Forty-one menopausal women were randomly assigned to one of three groups. i.e., combined circuit training and L-tryptophan supplementation group (CT+T: $n=14$), L-tryptophan supplementation group (T: $n=14$), and control group (CON: $n=13$). The subjects in CT+T exercised three sessions per week and took 3g of L-tryptophan per day for 12 weeks. The subjects in T took 3g of L-tryptophan per day for 12 weeks. The subjects in CON were asked to maintain their life pattern for the same period of intervention. Physical fitness and metabolic syndrome-related variables were measured at pre- and post-test. The data were compared by utilizing a repeated two-way ANOVA. **[Results]** Main results of the study were as follows: 1) Standing long jump, one leg standing with eyes closed, sit-and-reach, sit-up, and maximal oxygen uptake increased significantly in CT+T. 2) Body weight, body mass index, waist circumference, waist-hip ratio, fat mass, and percent body fat decreased significantly in CT+T. 3) Total cholesterol decreased significantly in CT+T. 4) Fasting plasma glucose (FPG), fasting plasma insulin, and HOMA-IR decreased significantly in CT+T. FPG and HOMA-IR decreased significantly in T. 5) Systolic blood pressure, diastolic blood pressure (DBP), mean arterial pressure (MAP), and rate pressure product decreased significantly in CT+T. DBP and MAP decreased significantly in T. 6) Number of metabolic syndrome risk factors decreased significantly in CT+T and T. **[Conclusion]** It was concluded that the circuit training and L-tryptophan supplementation would have positive effects on physical fitness and metabolic syndrome, and that L-Tryptophan supplementation would have positive effects on metabolic syndrome by improving insulin resistance and hypertension in menopausal women.

Key words: circuit training, L-tryptophan, physical fitness, metabolic syndrome, menopause

서론

대사증후군(metabolic syndrome)은 복부 비만, 이상

지질혈증, 고혈당증, 그리고 고혈압과 관련된 다섯 가지 위험요인 중 세 가지 이상에 해당되는 대사 장애 증상으로 서(Després & Lemieux, 2006) 신체구성, 혈중 지질, 인슐린 저항성 지표, 그리고 혈압과 밀접한 관계가 있다. 전 세계 성인의 약 25%가 대사증후군에 해당되며, 성별에 따라 대사증후군의 유병률 차이가 나타난다(Ranasinghe et al., 2017). 중년기까지는 남성이 여성보다 대사증후군 유병률이 높지만 연령이 증가될수록 여성의 유병률이

논문 투고일 : 2020. 06. 25.

논문 수정일 : 2020. 07. 29.

게재 확정일 : 2020. 08. 20.

* 교신저자 : 이만균(mlee@khu.ac.kr).

* 이 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018S1A5A2A01038940).

급격히 증가되며, 이는 여성에게서 나타나는 폐경(menopause)이 주원인인 것으로 보고되었다(Yang et al., 2019). 여성은 폐경기를 겪으면서 성 호르몬의 불균형이 나타나며, 그 결과 지방조직의 증가와 인슐린 저항성의 악화가 초래되어 대사증후군에 더욱 취약해진다(Stachowiak et al., 2015).

폐경 여성에게서 대사증후군의 악화에 기인하여 나타난 대사 장애는 신경 내분비의 장애를 유발한다(Oxenkrug, 2010). 이와 같은 장애는 신경 전달 물질인 세로토닌의 항상성에 영향을 미치는 필수 아미노산인 트립토판(tryptophan) 대사와 관련이 있다(Cervenka et al., 2017). 트립토판은 세로토닌의 전구체로서 섭취를 통하여 체내 축적량이 증가되며, 체내 트립토판의 결핍증상은 세로토닌의 저하에 직접적인 영향을 미친다(Oxenkrug, 2010). 한편, 대사증후군의 대표적 증상 중 하나인 인슐린 저항성이 악화되면 체내 트립토판의 이용률을 저하시켜 혈액 장벽(blood-brain barrier: BBB)을 막아 세로토닌 합성을 방해하며(Agudelo et al., 2014), 결국 대사 장애와 함께 신경 내분비 장애를 악화시킨다(Heidari et al., 2017). 또한 트립토판의 저하는 심혈관 질환의 발병률도 높이는 것으로 보고되었다(Statistics Korea, 2018). 따라서 폐경 여성의 대사증후군을 개선하기 위하여 트립토판 섭취의 효과를 규명하는 연구가 필요하다고 판단된다.

인간을 대상으로 한 임상연구를 살펴보면, 체중당 60 mg 이상의 L-tryptophan을 섭취한 결과 뇌 혈장 트립토판과 세로토닌의 농도가 증가되었다고 보고되었다(Fernstrom, 2012). 세로토닌의 증가는 베타 엔돌핀(β -endorphin)의 분비를 촉진하여 당 대사 조절에 긍정적인 영향을 미쳤고, 체내 산화질소(nitric oxide)의 자극제로 작용하여 혈압의 저하에 효과적인 것으로 나타났다(Watts et al., 2012). 이상에서 살펴본 바와 같이 트립토판의 섭취가 세로토닌의 농도를 증가시켜 결과적으로 대사증후군 위험요인의 개선에 공헌할 가능성이 제기되었으나, 지금까지의 연구는 주로 쥐를 대상으로 수행되었으며, 인간을 대상으로 한 임상연구에서는 L-tryptophan의 단독 섭취만 실시한 연구가 대부분인 실정이다. 폐경으로 인하여 대사증후군 위험에 노출된 여성은 L-tryptophan의 섭취만으로 체내 이용률이 낮아 긍정적인 효과가 반감될 수 있기 때문에(Agudelo et al., 2014) 체내 트립토판

의 저장량과 이용률을 증가시키기 위한 효과적인 방안을 모색하는 시도가 필요하다.

규칙적인 운동은 체내 대사 개선을 통하여 트립토판의 생체 이용률을 크게 증가시키며(Agudelo et al., 2014), 이와 같은 효과를 지속하기 위해서는 운동을 규칙적으로 실시하는 것이 중요하다. 다양한 유형의 운동 중 유산소 운동과 저항성운동을 동시에 실시하는 순환운동은 두 가지 운동의 장점을 동시에 내포하고 맨몸을 이용하여 쉽게 실시할 수 있으며, 시간 대비 효율이 매우 높다고 보고되었다(Figueroa et al., 2011). 아울러 체력의 향상과 신체구성의 개선 및 대사증후군의 완화에도 효과적인 것으로 보고되었다(Romero-Arenas et al., 2013). 이와 관련하여 Stojanovska et al.(2014)은 폐경 여성을 대상으로 유산소운동과 저항성운동의 복합 순환운동을 실시한 결과 체중의 감소와 인슐린 저항성의 개선이 나타났다고 보고하였고, Grindler & Santoro(2015)는 규칙적인 순환운동의 실시가 대사증후군의 개선에 부작용이 적으면서 가장 효과가 큰 처치라고 주장하였다. 더욱 중요한 것은 운동을 통한 카테콜아민(catecholamine)의 분비가 비에스테르화지방산(non esterified fatty acids: NEFA)을 활성화시켜 알부민과 결합되어 있는 트립토판을 분리시켜 체내 이용률을 증가시키는 것으로 보고되었다는 점이다(Javierre et al., 2010).

L-tryptophan의 섭취가 대사증후군의 개선에 효과적인 가능성이 제기되었지만 아직 관련 연구가 제한적이고, L-tryptophan의 섭취와 순환운동의 복합 처치의 효과를 살펴본 연구가 매우 부족한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 12주간의 순환운동과 L-tryptophan 섭취가 폐경 여성의 체력과 대사증후군에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

연구 방법

연구 대상자

이 연구에서는 G도 S시와 Y시에 거주하는 폐경 여성을 선정하였다. 마지막 월경 후 12개월 이상 월경이 없는 상태를 폐경으로 한다는 기준(Li et al., 2016)을 적용하여 대상자를 선정하였다. 이 연구에서 비만과 대사증후군

관련 변인의 변화를 살펴보고자 하였기 때문에 정상체중 이상의 대상자를 선정하고자 하였다. WHO Expert Consultation(2004)에서 제시한 아시아 체질량지수 (body mass index: BMI) 기준 중 정상범위의 중간 값인 $22.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 이상인 자를 선정하였다. 또한 대사증후군 위험요인 기준은 ① 허리둘레 85 cm 이상, ② 중성지방 (triglyceride: TG) $150 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ 이상, ③ 고밀도 지단백 콜레스테롤 (high density lipoprotein-cholesterol: HDL-C) $50 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ 이하, ④ 공복 혈당 (fasting plasma glucose: FPG) $100 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ 이상, 그리고 ⑤ 혈압 $130/85 \text{ mmHg}$ 이상 (NCEP-ATP III, 2001)을 적용하였다. 각종 질환으로 인하여 검사와 처치에 참여할 수 없는 자, 그리고 최근 6개월 이내 체계적인 운동 트레이닝에 참여한 자는 대상자에서 제외하였다. 이 연구의 계획에 대하여 K대학교 생명윤리위원회 (IRB)로 부터 승인받았 으며 (KHSIRB-18-029), 모든 대상자가 자발적으로 실험에 참여하도록 하였다. 연구 대상자의 신체적 특성은 (Table 1)과 같다.

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

Variables	CT+T	T	CON	p
Age (yrs)	59.3 $\pm$ 3.1	58.9 $\pm$ 3.1	58.9 $\pm$ 3.1	.941
Height (cm)	156.1 $\pm$ 4.5	157.8 $\pm$ 6.1	156.6 $\pm$ 5.2	.699
Body weight (kg)	63.0 $\pm$ 10.8	67.6 $\pm$ 8.4	62.5 $\pm$ 12.0	.379
BMI ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	25.8 $\pm$ 3.9	27.1 $\pm$ 2.4	25.7 $\pm$ 3.9	.488
SBP (mmHg)	132.6 $\pm$ 14.6	131.9 $\pm$ 11.5	130.5 $\pm$ 11.9	.909
DBP (mmHg)	88.3 $\pm$ 8.0	86.5 $\pm$ 10.4	85.5 $\pm$ 10.8	.760
Number of Met-S risk factor	2.36 $\pm$ 1.45	2.43 $\pm$ 0.94	2.23 $\pm$ 1.10	.908

CT+T: Circuit training+L-tryptophan group,

T: L-tryptophan group, CON: Control group,

BMI: body mass index, SBP: systolic blood pressure,

DBP: diastolic blood pressure, Met-S: metabolic syndrome.

대상자 수의 산출을 위하여 Stojanovska et al. (2014)의 선행 연구를 기초로 계산된 효과크기 .56, 검정력 80%, 그리고 유의수준 .05를 적용하여 G-Power 3.1 (Faul et al., 2009)로 분석한 결과 총 27명이 산출되었으며, 탈락률을 고려해 45명의 대상자를 모집하였다. 대상자를 ① 순환운동+L-tryptophan 집단(CT+T 집

단), ② L-tryptophan 집단(T 집단), 그리고 ③ 통제 집단(CON 집단)에 각각 15명씩 무선 할당(random assignment) 하였으나, 12주의 처치 과정에서 CT+T 집단 1명, T 집단 1명, 그리고 CON 집단 2명이 탈락하여 총 41명의 결과를 최종 분석에 포함시켰다.

측정 항목과 방법

이 연구에서는 체력과 대사증후군관련 변인을 측정하였다. 대사증후군관련 변인으로 신체구성, 혈중 지질, 인슐린 저항성 지표, 그리고 심박수와 혈압을 측정하였고, 대사증후군 위험요인의 수를 산출하였다. 대상자는 사전 검사와 사후검사 시 체력검사, 체격과 신체구성검사, 혈액검사, 그리고 심박수와 혈압검사에 참가하였다. 검사 24시간 전부터 고강도 운동과 음주 및 흡연을 금하였고, 10시간 이상 공복상태로 오전 7시에 실험실에 도착하여 30분간 안정을 취한 후 검사를 실시하였다.

1) 체력

국민체력실태조사(Ministry of Culture, Sports and Tourism, 2013)의 검사방법에 따라 악력, 제자리멀리뛰기, 앉아윗몸앞으로굽히기, 그리고 윗몸일으키기를 측정하였고, 추가로 평형성과 심폐지구력을 평가하기 위하여 각각 눈감고외발서기와 최대산소섭취량(maximal oxygen uptake: VO_2max)을 측정하였다. 악력은 악력계(T.K.K. 5401, Takei, 일본)를 이용하여 측정하였고, 앉아윗몸앞으로굽히기는 좌전굴계(FT-7300, Donghwa, 한국)를 이용하여 측정하였다. VO_2max 는 트레드밀(Series 2000, Marquette Electronics, Milwaukee, 미국)과 가스분석기(Ultima CPX, Med Graphics, Saint Paul, 미국)를 이용하여 Bruce protocol에 따라 최대운동부하검사를 실시하여 측정하였다(Bruce et al., 2004).

2) 체격과 신체구성

신장은 수동식 일반 신장계(Samhwa, 한국)로 측정하였고, 체중은 전자식 지시저울(CAS-150kg, DW-150, 한국)로 측정하였으며, 체중(kg)을 신장의 제곱(m^2)으로 나누어 BMI를 산출하였다. 허리둘레는 줄자를 이용하여 배꼽 높이에서 측정하였고, 엉덩이둘레는 엉덩이 부위 중 가장 튀어나온 부위에서 측정하였으며, 이 결과를 이용하

여 허리·엉덩이둘레 비율을 산출하였다. 신체구성 변인은 생체전기저항법 측정기(X-Scan plus II, Jawon Medical, 한국)를 이용하여 측정하였으며, 제지방량, 체지방량, 그리고 체지방률을 기록하였다.

3) 혈액분석

상완 주정맥(antecubital vein)에서 주사기를 이용하여 간호사가 12 ml의 혈액을 채취하였다. 이 혈액을 항응고 처리 및 처리되지 않은 튜브에 넣어 원심분리기를 이용하여 3,000 rpm으로 10분간 원심분리한 후, 혈장(plasma)과 혈청(serum)을 뽑아 보관 튜브에 넣어 분석시까지 -70°C 의 deep freezer에 보관하였다. 이를 γG 의료재단에 의뢰하여 혈액성분을 분석하였으며, 구체적인 분석 방법은 다음과 같다.

(1) 혈중 지질

TG는 enzymatic colorimetric method로 자동분석기(ADVIA 1650, Bayer, Tokyo, 일본)를 이용하여 분석하였다. 총콜레스테롤(total cholesterol: TC)은 cholesterol oxidase를 이용한 화학반응 원리로 분석하였다. HDL-C는 cholesterol oxidase를 이용하여 수용성 염료의 침전제인 인팅스텐산과 마그네슘 양이온의 작용을 이용하여 저밀도 지단백 콜레스테롤(low density lipoprotein-cholesterol: LDL-C) 등을 침전시킨 후 분석하였다. LDL-C는 enzyme immunoassay를 이용하여 분석하였다.

(2) 인슐린 저항성

FPG는 enzymatic assay로 GLU Kit(Roche, Mannheim, 독일)와 Modular Analytics(E 170, Roche, Mannheim, 독일)를 이용하여 분석하였다. 공복 인슐린(fasting plasma insulin: FPI)은 electrochemiluminescence immunoassay로 insulin kit (Roche, Mannheim, 독일)를 이용하여 분석하였고, homeostasis model of assessment for insulin resistance(HOMA-IR)는 Matthews et al.(1985)이 제시한 공식으로 산출하였다.

4) 심박수와 혈압

대상자가 앉은 자세에서 5분간 안정을 취하도록 한 후 요골동맥 부위에서 촉진법(palpation)으로 심박수(heart rate: HR)를 1분간 측정하였다. 이후 수동식 수

은혈압계(YAMASU, Saitama, 일본)를 이용하여 왼팔에서 수축기혈압(systolic blood pressure: SBP)과 이완기혈압(diastolic blood pressure: DBP)을 각각 2회씩 측정하여 평균값을 기록하였다. 맥압(pulse pressure: PP)은 SBP에서 DBP을 뺀 값으로 산출하였고, 평균동맥압(mean arterial pressure: MAP)은 PP를 3으로 나눈 값에 DBP를 더하여 산출하였다. 심근에 대한 부담의 간접 지표인 rate pressure product(RPP)는 SBP와 HR를 곱하여 산출하였다.

5) 식이섭취량 조사

처치기간 중 4주 간격으로 24시간 회상법을 이용하여, 평일 2일과 주말 1일의 총식이섭취량과 트립토판 섭취량을 컴퓨터 영양평가 프로그램(CAN-PRO 4.0, Korean Nutrition Society, Seoul, 한국)으로 분석하였다. 이를 근거로 하여 처치 기간 중 식이섭취 패턴을 최대한 일정하게 유지하도록 지도하였다. 총 식이섭취량(Table 2)과 트립토판 섭취량(Table 3)은 모든 시점에서 세 집단 간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 2. Changes in total caloric intake (mean $\pm$ SD)

Groups	Baseline	4 th week	8 th week	12 th week
CT+T	1,691.17 $\pm$ 418.05	1,601.34 $\pm$ 336.76	1,529.51 $\pm$ 306.02	1,644.19 $\pm$ 289.08
T	1,640.74 $\pm$ 341.08	1,560.89 $\pm$ 331.55	1,618.15 $\pm$ 285.37	1,623.82 $\pm$ 252.01
CON	1,698.02 $\pm$ 360.35	1,648.68 $\pm$ 293.54	1,615.15 $\pm$ 234.14	1,687.69 $\pm$ 319.21
<i>F</i>	.035	.232	.421	.160
<i>p</i>	.966	.794	.660	.853

CT+T: Circuit training+L-tryptophan group,

T: L-tryptophan group, CON: Control group.

Table 3. Changes in tryptophan intake (mean $\pm$ SD)

Groups	Baseline	4 th week	8 th week	12 th week
CT+T	561.68 $\pm$ 198.62	581.25 $\pm$ 133.71	612.23 $\pm$ 106.38	630.79 $\pm$ 130.34
T	568.56 $\pm$ 179.08	601.68 $\pm$ 113.32	603.23 $\pm$ 119.98	628.67 $\pm$ 64.38
CON	571.57 $\pm$ 215.45	587.51 $\pm$ 82.93	573.39 $\pm$ 151.51	600.88 $\pm$ 140.90
<i>F</i>	.073	2.815	1.864	3.151
<i>p</i>	.930	.072	.169	.054

CT+T: Circuit training+L-tryptophan group,

T: L-tryptophan group, CON: Control group.

처치 방법

1) 운동 처치

CT+T 집단의 대상자는 12주간 순환운동을 주 3회, 회당 40분씩 실시하였다. 이 연구의 운동 프로그램은 Rasmussen et al.(2004)과 Kim et al.(2014)의 운동 프로그램을 이 연구의 목적에 맞게 수정·보완하여 구성하였다. 순환운동은 점핑잭, 스쿼트, 제자리 뛰기, 푸시업, 버피, 런지, 마운틴 클라이밍, 그리고 플랭크로 구성하였다. 운동강도의 범위는 예비심박수(heart rate reserve: HRR)의 50~80%로 설정하여 1~4주에 HRR의 50~60%, 5~8주에 HRR의 60~70%, 그리고 9~12주에 HRR의 70~80% 강도를 적용하였으며, 각 동작마다 1분간 반복 횟수와 세트를 추가하여 운동량을 점차 증가시켰다. 운동 중 목표 심박수의 달성 여부를 확인하기 위하여 심박수 모니터(Polar Electro OY, Kempele, 핀란드)를 착용한 채 운동을 실시하도록 하였으며, 운동 전문가가 PT 형태로 운동을 지도하였다.

2) L-tryptophan 섭취 처치

이 연구에서 처치한 L-tryptophan은 삼키기 쉬운 캡슐 형태로서 제품의 안전성에 대하여 학술적으로 입증되었고, 임상연구에서 사용된 바 있으며, 위약의 제조가 가능하다는 조건에 부합되는 제품이었다. CT+T 집단과 T 집단의 대상자는 12주의 처치 기간 동안 매일 L-tryptophan (Now Foods, Bloomingdale, 미국)을 섭취하였다. 일일 섭취량은 Hiratsuka et al.(2013)과 Steenbergen et al.(2016)의 연구를 참조하여 3 g으로 결정하였다. 섭취 시기는 매일아침 공복, 점심 식사 전, 그리고 취침 전에 각 1g 씩 3회 섭취하도록 하였다. 4주차, 8주차, 그리고 12주차에 L-tryptophan을 CT+T 집단과 T 집단의 대상자에게 직접 전달하였으며, 3일에 한번 씩 대상자들에게 개별 연락을 취하여 섭취 여부를 확인하였다.

3) 통제 처치

CON 집단의 대상자는 12주의 처치 기간 동안 T 집단과 동일한 방법으로 위약을 섭취하도록 하였으며, L-tryptophan 캡슐과 외관상 차이가 나타나지 않도록 제조하였다. 12주의 처치 기간 동안 T 집단과 동일한 방

법으로 위약을 섭취하도록 하였으며, 기타 생활습관을 평소와 똑같이 유지하도록 하였다.

자료처리 방법

이 연구에서 얻은 자료는 SPSS PC⁺ for Windows (version 25.0) 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 세 집단의 데이터에 대한 동질성을 검증한 후, 기술통계량을 제시하기 위하여 평균(mean)과 표준편차(standard deviation: SD)를 산출하였다. 세 집단 간, 그리고 두 검사 간 평균 차이를 동시에 반복 이원분산분석(repeated two-way ANOVA)을 실시하였다. 집단의 주효과, 시기의 주효과, 또는 집단과 시기의 상호작용이 유의한 경우, 집단 내 두 검사 간 차이는 종속 *t*-검정으로, 그리고 검사 내 세 집단 간 차이는 일원분산분석(one-way ANOVA)과 최소유의차 검증법(least significant difference: LSD)으로 분석하였다. 추가적으로 주효과와 상호작용의 효과크기를 검정하기 위하여 Cohen(1977)이 제시한 에타제곱(eta-square, η^2) 값을 제시하였다. 모든 통계분석의 유의수준(α)을 .05로 설정하였다.

연구 결과

체력과 관련하여<Table 4>, CT+T 집단의 제자리멀리뛰기($p<.001$), 오른발눈감고외발서기($p<.001$), 왼발눈감고외발서기($p<.01$), 앉아윗몸앞으로굽히기($p<.05$), 윗몸일으키기($p<.01$), 그리고 VO_{2max} ($p<.05$)가 유의하게 향상되었다. T 집단과 CON 집단은 모든 변인에서 유의한 변화가 없었다.

신체구성과 관련하여<Table 5>, CT+T 집단의 체중($p<.001$), BMI($p<.01$), 허리둘레($p<.001$), 허리·엉덩이둘레 비율($p<.05$), 체지방량($p<.001$), 그리고 체지방률($p<.01$)이 유의하게 감소되었다. T 집단과 CON 집단은 모든 변인에서 유의한 변화가 없었다.

혈중 지질과 관련하여<Table 6>, CT+T 집단의 TC($p<.01$)가 유의하게 감소되었다. T 집단과 CON 집단은 모든 변인에서 유의한 변화가 없었다.

Table 4. Changes in physical fitness

(mean±SD)

Variables	Groups	Tests		Δ%		p	η^2
		Pre	Post				
Right grip strength (kg)	CT+T	23.9±4.9	25.7±4.9	7.51	Group	.321	.058
	T	26.9±2.8	26.9±2.5	-0.03	Test	.121	.062
	CON	25.3±4.6	25.0±4.2	-1.10	Group×Test	.022	.182
Left grip strength (kg)	CT+T	23.2±4.3	24.4±4.7	5.17	Group	.128	.103
	T	27.0±3.0	26.3±2.3	-2.52	Test	.601	.007
	CON	24.1±4.7	24.1±4.2	-0.35	Group×Test	.024	.179
Standing long jump (cm)	CT+T	95.4±23.4	116.3±21.7	***	Group	.837	.009
	T	106.0±25.1	114.2±20.9	7.76	Test	.000	.329
	CON	107.6±19.0	106.2±11.0	-1.29	Group×Test	.001	.322
Right one leg standing with eye-closed (sec)	CT+T	6.4±2.8	44.4±33.6 +	***	Group	.001	.319
	T	8.8±8.2	10.8±9.1	23.09	Test	.000	.360
	CON	8.0±4.1	9.9±4.8	23.58	Group×Test	.000	.458
Left one leg standing with eye-closed (sec)	CT+T	7.7±5.3	49.2±38.7 +	**	Group	.000	.333
	T	8.7±7.5	9.8±6.2	12.32	Test	.000	.328
	CON	9.7±4.9	11.5±6.7	18.75	Group×Test	.000	.446
Sit-and-reach (cm)	CT+T	7.8±7.7 +	12.4±7.5	*	Group	.037	.159
	T	15.4±6.7	15.1±5.5	-1.72	Test	.010	.162
	CON	15.9±5.0	15.7±5.0	-1.50	Group×Test	.000	.354
Sit-up (rep)	CT+T	8.1±6.8	15.4±10.9 +	**	Group	.006	.239
	T	4.1±3.5	4.3±5.1	5.26	Test	.000	.279
	CON	5.2±5.9	4.9±4.7	-5.88	Group×Test	.000	.450
VO ₂ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	CT+T	26.5±4.9	29.1±3.0	*	Group	.218	.077
	T	26.2±3.2	26.4±3.5	0.68	Test	.005	.191
	CON	25.5±3.7	25.5±2.8	0.12	Group×Test	.002	.274

CT+T: Circuit training+L-tryptophan group, T: L-tryptophan group, CON: Control group.

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$: Significant difference between pre and post-test.

+ Significantly different from T group and CON group within a test.

인슐린 저항성과 관련하여<Table 7>, CT+T 집단의 FPG($p<.05$), FPI($p<.01$), 그리고 HOMA-IR ($p<.05$)이 유의하게 감소되었고, T 집단의 FPG($p<.01$)와 HOMA-IR($p<.05$)이 유의하게 감소되었다. CON 집단의 경우 모든 변인에서 유의한 변화가 나타나지 않았다.

심박수 및 혈압과 관련하여<Table 8>, CT+T 집단의 SBP($p<.01$), DBP($p<.05$), MAP($p<.05$), 그리고 RPP ($p<.001$)가 유의하게 감소되었고, T 집단의 SBP ($p<.05$)와 MAP($p<.05$)가 유의하게 감소되었다. CON 집단은 모든 변인에서 유의한 변화가 없었다.

대사증후군과 관련하여<Table 9>, CT+T 집단

($p<.001$)과 T 집단($p<.01$)의 대사증후군 위험요인의 수가 유의하게 감소되었다.

논 의

체력의 변화

폐경의 장기화로 인한 체력의 감소는 대사증후군 위험 요인을 크게 악화시킨다(Heidari et al., 2017). 이에 반하여 L-tryptophan 섭취는 운동으로 인한 피로를 지연

Table 5. Changes in physique and body composition

(mean±SD)

Variables	Groups	Tests			$\Delta\%$		p	η^2
		Pre	Post					
Body weight (kg)	CT+T	63.0±10.8	61.4±10.4	***	-2.65	Group	.318	.058
	T	67.6±8.4	67.3±8.1		-0.54	Test	.000	.307
	CON	62.5±12.0	62.1±11.8		-0.77	Group×Test	.022	.182
Body mass index (kg·m ⁻²)	CT+T	25.8±3.9	25.1±3.7	***	-2.68	Group	.396	.048
	T	27.1±2.4	27.0±2.3		-0.53	Test	.000	.305
	CON	25.7±3.9	25.5±3.8		-0.81	Group×Test	.022	.182
Waist circumference (cm)	CT+T	86.8±9.6	81.3±10.1	***	-6.27	Group	.272	.066
	T	88.4±8.5	87.1±6.0		-1.47	Test	.000	.330
	CON	90.2±8.8	88.3±9.0		-2.12	Group×Test	.031	.167
Hip circumference (cm)	CT+T	96.9±14.2	95.7±10.3		-1.28	Group	.849	.009
	T	98.0±12.7	96.7±11.0		-1.28	Test	.098	.070
	CON	99.6±9.2	97.9±9.5		-1.63	Group×Test	.977	.001
Waist-hip ratio	CT+T	0.90±0.06	0.85±0.03	*	-5.63	Group	.181	.086
	T	0.91±0.08	0.91±0.07		-0.08	Test	.024	.127
	CON	0.91±0.04	0.90±0.03		-0.93	Group×Test	.044	.152
Fat-free mass (kg)	CT+T	41.1±4.1	41.6±3.5		1.25	Group	.233	.076
	T	44.2±4.5	43.5±4.3		-1.61	Test	.311	.027
	CON	41.2±6.0	40.7±5.8		-1.12	Group×Test	.056	.141
Fat mass (kg)	CT+T	21.4±7.4	19.8±7.0	***	-7.36	Group	.408	.046
	T	23.7±4.6	23.4±4.3		-1.39	Test	.002	.220
	CON	21.4±6.1	21.2±6.2		-0.90	Group×Test	.021	.184
Percent body fat (%)	CT+T	33.7±4.8	31.8±5.2	**	-5.68	Group	.376	.050
	T	34.7±3.0	34.8±2.7		0.23	Test	.049	.098
	CON	33.7±3.4	33.7±3.7		0.00	Group×Test	.014	.200

CT+T: Circuit training+L-tryptophan group, T: L-tryptophan group, CON: Control group.

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$: Significant difference between pre and post-test.

시켜 운동능력을 향상시킬 수 있는 것으로 보고되었다 (Cunliffe et al., 1998). Javierre et al.(2010)은 사이클 선수에게 L-tryptophan을 섭취시킨 결과 운동 지속 시간과 최대 파워의 유의한 증가가 나타났다고 보고하였다. 이는 체내 세로토닌의 증가로 인하여 중추신경계의 피로가 지연이 원인으로 판단된다. 그러나 트립토판의 섭취를 통한 체력의 향상 정도는 대상자의 건강 상태, 연령 및 성별의 영향을 크게 받으며, 트립토판을 포함한 아미노산의 섭취만으로 체력의 유의한 향상이 나타나기 어렵다는 보고도 있었다(Williams, 2005).

이 연구에서는 T 집단의 경우 체력의 유의한 변화가 나타나지 않았다. 이 연구의 대상자는 대사증후군 위험요인

이 평균적으로 2.23~2.34개 있는 폐경 여성으로서, 체내 트립토판의 결핍 및 이용률 저하가 나타날 수 있기 때문에 L-tryptophan의 섭취만으로는 운동능력과 체력의 유의한 향상을 나타내기에 제한적이었을 것으로 판단된다.

한편, 이 연구의 악력에서 집단과 시기의 상호작용이 유의하게 나타났고, CT+T 집단의 제자리멀리뛰기, 눈감고외발서기, 앉아윗몸앞으로굽히기, 윗몸일으키기, 그리고 VO₂max가 유의하게 향상되었다. 근기능의 개선은 폐경 여성에게서 흔하게 나타나는 대사증후군 위험 요인 중 하나인 혈압과도 깊은 관련이 있다(Figueroa et al., 2011). Romero-Arenas et al.(2013)은 근력의 유의한 향상이 나타나지 않더라도 다른 체력요소의 향상과 대사

Table 6. Changes in blood lipids

(mean±SD)

Variables	Groups	Tests		$\Delta\%$		p	η^2
		Pre	Post				
Total cholesterol (mg·dl ⁻¹)	CT+T	199.5±35.9	180.6±33.3	**	-9.45	Group	.775 .013
	T	199.6±42.7	186.6±28.3		-6.51	Test	.009 .165
	CON	199.3±40.6	199.9±42.1		0.31	Group×Test	.119 .106
Triglyceride (mg·dl ⁻¹)	CT+T	119.4±43.2	94.3±50.0		-21.01	Group	.780 .013
	T	118.6±79.3	109.1±51.6		-8.01	Test	.131 .059
	CON	121.8±44.5	118.1±53.6		-3.04	Group×Test	.559 .030
High density lipoprotein-cholesterol (mg·dl ⁻¹)	CT+T	57.6±10.4	62.4±10.0		8.31	Group	.959 .002
	T	59.9±11.3	60.4±14.8		0.83	Test	.116 .064
	CON	58.6±13.2	59.4±10.8		1.31	Group×Test	.301 .061
Low density lipoprotein-cholesterol (mg·dl ⁻¹)	CT+T	118.6±34.4	107.4±25.5		-9.51	Group	.862 .008
	T	111.9±37.2	105.9±23.5		-5.36	Test	.166 .050
	CON	112.9±37.0	117.9±37.8		4.43	Group×Test	.082 .124

CT+T: Circuit training+L-tryptophan group, T: L-tryptophan group, CON: Control group.

** $p<.01$: Significant difference between pre and post-test.

Table 7. Changes in surrogate indices of insulin resistance

(mean±SD)

Variables	Groups	Tests		$\Delta\%$		p	η^2
		Pre	Post				
Fasting plasma glucose (mg·dl ⁻¹)	CT+T	102.3±16.5	90.7±8.5	*	-11.31	Group	.648 .023
	T	102.6±13.4	91.2±11.2	*	-11.13	Test	.000 .375
	CON	102.5±21.0	99.3±14.7		-3.15	Group×Test	.123 .104
Fasting plasma insulin (μIU·ml ⁻¹)	CT+T	8.1±5.8	5.5±3.4	**	-32.66	Group	.551 .031
	T	9.2±4.6	6.8±4.4		-25.93	Test	.001 .251
	CON	8.6±3.1	8.0±2.9		-7.05	Group×Test	.248 .071
HOMA-IR	CT+T	2.2±1.9	1.3±0.9	*	-42.02	Group	.685 .020
	T	2.4±1.4	1.6±1.1	*	-35.88	Test	.000 .287
	CON	2.2±1.0	1.9±0.8		-12.46	Group×Test	.273 .066

CT+T: Circuit training+L-tryptophan group, T: L-tryptophan group, CON: Control group.

HOMA-IR: homeostasis model of assessment for insulin resistance.

* $p<.05$, ** $p<.01$: Significant difference between pre and post-test.

능력의 개선이 나타날 수 있다고 보고한 바 있다. 이 연구에서 CT+T 집단의 대상자가 실시한 순환운동은 체중을 이용한 맨몸 운동이었기 때문에 약력의 향상이 통계적으로 유의한 수준까지 도달하지 못한 것으로 판단된다. 그러나 이 연구의 CT+T 집단에서 제자리멀리뛰기와 윗몸 일으키기가 유의하게 향상된 것은 운동 프로그램의 구성이 측정 항목과 유사한 동작이 많을 경우, 더욱 유의한 증거가 나타난다는 Alcaraz et al.(2011)의 보고와 관련 있

어 보인다. 이 연구에서 실시한 순환운동의 동작 중 제자리멀리뛰기와 윗몸일으키기와 유사한 동작이 많았고, 이를 반복적으로 실시함으로써 관련 기록이 유의하게 향상된 것으로 해석된다.

이 연구의 CT+T 집단에서 눈감고외발서기가 유의하게 향상되었다. 순환운동을 통한 전신 근육의 빠른 수축과 근신경의 자극은 자세 제어능력과 균형감각의 향상, 그리고 하지근기능의 발달을 유도하여 평형성을 크게 향

Table 8. Changes in heart rate and blood pressure

(mean±SD)

Variables	Groups	Tests		$\Delta\%$		p	η^2
		Pre	Post				
Heart rate (bpm)	CT+T	67.4±7.7	65.9±6.0	-2.22	Group	.707	.018
	T	65.9±5.6	64.9±4.3	-1.52	Test	.437	.016
	CON	66.7±8.3	68.0±6.5	1.96	Group×Test	.070	.131
Systolic blood pressure (mmHg)	CT+T	132.6±14.6	125.6±11.0	** -5.28	Group	.867	.007
	T	131.9±11.5	130.6±12.9	-0.98	Test	.050	.097
	CON	130.5±11.9	131.4±10.1	0.71	Group×Test	.032	.166
Diastolic blood pressure (mmHg)	CT+T	88.3±8.0	83.9±4.3	* -5.02	Group	.558	.030
	T	86.5±10.4	80.1±7.8	* -7.35	Test	.008	.172
	CON	85.5±10.8	86.2±7.2	0.72	Group×Test	.066	.133
Pulse pressure (mmHg)	CT+T	44.3±10.9	41.7±9.1	-5.81	Group	.271	.066
	T	45.4±12.4	50.4±8.1	11.18	Test	.539	.010
	CON	44.9±5.6	45.2±7.6	0.68	Group×Test	.121	.105
Mean arterial pressure (mmHg)	CT+T	103.1±9.3	97.8±5.8	* -5.13	Group	.872	.007
	T	101.6±9.0	97.0±9.0	* -4.60	Test	.003	.208
	CON	100.5±10.9	101.2±7.5	0.70	Group×Test	.033	.164
Rate pressure product (bpm*mmHg)	CT+T	8,920.6±1,339.1	8,272.4±1,002.0	*** -7.27	Group	.801	.012
	T	8,691.4±1,127.2	8,469.1±989.2	-2.56	Test	.063	.088
	CON	8,757.4±1,724.4	8,956.0±1,247.4	2.27	Group×Test	.020	.185

CT+T: Circuit training+L-tryptophan group, T: L-tryptophan group, CON: Control group.

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$: Significant difference between pre and post-test.

Table 9. Changes in number of metabolic syndrome risk factors

(mean±SD)

Variables	Groups	Tests		$\Delta\%$		p	η^2
		Pre	Post				
Number of metabolic syndrome risk factors	CT+T	2.36±1.45	0.93±1.07	*** -61.25	Group	.416	.045
	T	2.43±0.94	1.71±0.99	** -42.11	Test	.000	.426
	CON	2.23±1.10	2.00±1.16	-11.50	Group×Test	.009	.222

CT+T: Circuit training+L-tryptophan group, T: L-tryptophan group, CON: Control group.

** $p<.01$, *** $p<.001$: Significant difference between pre and post-test.

상시킨다(Zhuang et al., 2014). 이 연구에서 실시한 순환운동 동작은 자세 제어를 유도하는 동작과 근기능 향상을 위한 운동으로서, 이를 통하여 평형성이 유의하게 향상된 것으로 해석된다.

유연성은 성별과 연령 및 훈련 상태에 따라 개인별로 편차가 있으며, 다른 체력요소와 마찬가지로 운동 트레이닝을 통하여 향상될 수 있다(Santos et al., 2010). 이 연구에서 세 집단의 사전검사 결과를 보면 CT+T 집단의 유연성이 T 집단과 CON 집단보다 낮게 나타나 집단간

유의한 차이가 나타났었다. 그러나 T 집단과 CON 집단의 경우 사후검사에서 유의한 증가가 나타나지 않았고, CT+T 집단의 경우만 유의한 증가가 나타났다. 이와 같은 결과 해석은 사후검사에서 세 집단의 간에 유의한 차이가 나타나지 않는 것을 근거로 이루어졌다. 이 연구의 CT+T 집단에서 윗몸앞으로굽히기 기록이 유의하게 향상된 것을 통하여 유연성이 주로 순환운동에 의하여 향상되었다고 정리할 수 있다.

이 연구의 CT+T 집단에서 VO_{2max} 가 유의하게 증가

되었다. 이는 폐경 여성을 대상으로 장기간의 순환운동을 실시한 결과 심폐지구력이 유의하게 향상되었다고 보고한 Grindler & Santoro(2015)의 연구와 일치하며, 이 연구의 CT+T 집단에서 실시한 순환운동이 $VO_2\max$ 의 향상에 직접적인 영향을 준 것으로 판단된다. 한편, Javierre et al.(2010)은 L-tryptophan 섭취를 통하여 운동 중 피로가 지연됨으로써 유산소 능력이 향상되었다고 보고하였으나, 이 연구의 T 집단에서는 $VO_2\max$ 의 유의한 증가가 나타나지 않았다. 이는 질병이 있는 대상자의 경우 아미노산의 섭취만으로는 체력의 유의한 증가가 나타나기 어렵다는 Williams(2005)의 연구 결과와 관련이 있어 보이며, 운동 처치 없이 트립토판 섭취만 처치한 경우 $VO_2\max$ 의 유의한 변화가 나타나지 않은 것으로 해석된다.

이상의 내용을 종합하면, 대사증후군 위험이 있는 폐경 여성의 체력을 향상시키기 위해서는 L-tryptophan 섭취의 단독 처치보다는 운동 트레이닝을 병행하는 복합 처치가 필요하다고 정리할 수 있다.

신체 구성의 변화

신체구성관련 변인 중 허리둘레는 다섯 가지의 대사증후군 위험요인 중 하나이다. 트립토판의 섭취는 지방 대사를 촉진시켜 신체구성을 개선하지만, 대사 장애가 있을 경우 그 개선 효과가 제한되는 것으로 나타났다(Zapata et al., 2018). 체내 트립토판의 이용률을 증가시키는 방법 중 가장 효과적인 것은 규칙적인 운동으로서, 운동에 의한 신체구성 개선은 트립토판의 이용률을 증가시킬 수 있다(Agudelo et al., 2014). 다만, 이 연구는 대사증후군 위험요인을 가지고 있는 폐경 여성을 대상으로 하였기 때문에 L-tryptophan만 섭취한 T 집단에서는 신체구성과 관련된 모든 변인에서 유의한 변화가 나타나지 않았으며, Strasser et al.(2015)의 연구에서도 비슷한 결과가 나타났다.

이 연구의 CT+T 집단에서는 체중, BMI, 허리둘레, 허리·엉덩이둘레 비율, 체지방량, 그리고 체지방률이 유의하게 감소된 것으로 나타났다. 이는 장기간의 운동이 폐경 여성의 신체구성을 개선하며, 저항성운동과 유산소운동을 병행하는 순환운동이 체지방과 허리둘레를 감소시켜

체중 감소에 매우 효과적이라고 보고한 Stojanovska et al.(2014)의 연구 결과와 유사하다. 또한 Kim et al.(2014)은 순환운동이 여성의 복부지방 감소에 탁월한 효과를 보였으며, 이를 통한 허리둘레 감소가 대사증후군 위험도의 개선에 매우 효과적이었다고 보고하였다. 이와 같은 결과가 나타난 이유는 순환운동을 통하여 증가된 카테콜아민이 NEFA를 활성화시켜 알부민과 결합되어 있는 트립토판을 분리시킴으로써 뇌의 BBB 이용률과 지방 대사를 증가시킨다는 Javierre et al.(2010)의 주장을 근거로 해석할 수 있다.

한편, 이 연구의 CT+T 집단을 포함한 모든 집단에서 체지방량의 유의한 변화가 나타나지 않았다. 이는 일반적으로 장기간의 운동 트레이닝을 통하여 근육량과 체지방량의 증가가 나타나지만, 체중의 유의한 감소가 나타날 경우 체지방량의 유의한 변화가 없을 수 있다는 Vink et al.(2016)의 연구 결과와 관련이 있다. 또한 체중을 이용한 순환운동의 경우 전형적인 저항성운동에 비하여 근육에 가해지는 부하와 자극이 적어, 근육량 대비 상대적 효율은 증가되지만 근육량 자체의 증가는 나타나기 어렵다고 보고한 Romero-Arenas et al.(2013)의 연구와도 관련이 있어 보인다.

이상에서 기술한 내용을 통하여, 이 연구의 CT+T 집단에서 체중의 유의한 감소가 나타난 것은 체지방량의 감소에 기인한 것이고, BMI, 허리둘레, 허리·엉덩이둘레 비율, 체지방량, 그리고 체지방률이 유의하게 감소된 것은 순환운동을 통하여 지방대사가 촉진되었기 때문이며, L-tryptophan 단독 처치의 신체구성 개선 효과는 제한적이었다고 정리할 수 있다.

혈중 지질의 변화

혈중 지질관련 변인 중 TG와 HDL-C는 다섯 가지의 대사증후군 위험요인에 포함되며, 혈중 지질의 증가는 폐경 여성의 심혈관 질환 위험률을 증가시킨다(Nabuco et al., 2018). 쥐를 대상으로 한 연구에서 L-tryptophan 섭취가 NEFA의 베타 산화 활성화를 증가시켜, 혈중 지질을 유의하게 감소시키는 것으로 보고되었다(Ruan et al., 2014). 그러나 인간을 대상으로 한 연구에서는 L-tryptophan의 섭취만으로 혈중 지질 감소를 유도하기

에 다소 무리가 있으며, 대사 장애가 있는 경우 더욱 제한적이라고 보고되어(Strasser et al., 2015) 상반된 연구 결과가 도출되었다. 한편, Javierre et al.(2010)은 운동과 L-tryptophan 섭취를 병행할 경우 운동 중 TG와 콜레스테롤의 소비가 증가되어 혈중 지질이 감소되었다고 보고하였다. 이상의 선행 연구 결과를 통하여 L-tryptophan 단독 처치도 혈중 지질 감소 효과 가능성이 있지만, 운동과 복합 처치되었을 때 그 효과가 배가되는 것으로 정리할 수 있다.

이 연구에서 T 집단의 경우 TC, TG, HDL-C, 그리고 LDL-C의 유의한 변화가 나타나지 않았다. Durstine et al.(2002)은 체중이 혈중 지질과 밀접한 관계가 있으며, 특히 체지방량의 감소가 나타날 때 혈중 지질 감소도 함께 나타난다고 주장한 바 있다. 이 연구의 T 집단에서는 체중과 체지방량의 변화가 없었기 때문에 혈중 지질의 변화도 나타나지 않은 것으로 판단된다. 또한 전술한 바와 같이 대사 장애가 있을 경우 L-tryptophan 섭취를 통한 혈중 지질 감소 효과가 더욱 제한적이라는 Strasser et al.(2015)의 보고를 고려할 때, 이 연구의 대상자가 대사 증후군 위험요인을 2개 이상 갖고 있는 정상 체중 이상의 폐경 여성이었기 때문에 혈중 지질의 유의한 변화가 나타나지 않았다고 해석할 수 있다.

한편, 이 연구의 CT+T 집단에서 TC가 유의하게 감소되었을 뿐 TG, HDL-C, 그리고 LDL-C에서는 유의한 변화가 나타나지 않았다. Kim et al.(2014)은 저항성운동과 유산소성 운동을 병행하는 순환운동을 실시한 결과 체지방과 TC가 유의하게 감소되었다고 보고하여 이 연구의 결과와 일치하였다. TG, HDL-C, 그리고 LDL-C에서 유의한 변화가 나타나지 않은 것은 운동 트레이닝을 통한 혈중 지질 특성의 변화가 대상자의 초기 지질 수준에 따라 다르게 나타날 수 있다는 Durstine et al.(2002)의 주장으로 일부 해석될 수 있다. 이 연구의 대상자는 사전검사 시점에서 TG가 $150 \text{ mg} \cdot \text{dl}^{-1}$ 이하이고, HDL-C가 $50 \text{ mg} \cdot \text{dl}^{-1}$ 이상으로서 정상 범위에 있었기 때문에 운동을 통하여 통계적으로 변하는데 한계가 있었던 것으로 판단된다.

대부분의 선행 연구에서는 쥐를 대상으로 하여 L-tryptophan 단독 섭취를 통한 혈중 지질의 개선을 보고하였지만, 이 연구에서는 인간을 대상으로 순환운동과

L-tryptophan 섭취의 복합 처치 효과를 규명하고자 하였다. 그 결과 CT+T 집단은 물론 T 집단에서도 TG와 LDL-C가 현저하게 감소되는 경향을 보인 것을 감안할 때, 기존에 쥐를 통하여 L-tryptophan과 혈중 지질을 규명한 선행 연구들보다 임상적인 의미가 있을 것으로 판단된다. 또한 향후 보다 명확한 변화를 도출하기 위하여 대사증후군 질환자를 대상으로 운동 트레이닝과 L-tryptophan 섭취의 단독 처치 및 복합 처치의 효과를 보다 장기간에 걸쳐 규명하는 후속 연구가 요청된다.

이 연구에서 통계적으로 유의한 변화가 나타나지는 않았지만 CT+T 집단과 T 집단에서 LDL-C가 감소된 것은 나름대로의 의미가 있다고 판단된다. 이와 관련하여 Cholesterol Treatment Trialists'(CTT) Collaboration (2010)은 고지혈증 환자의 경우 LDL-C가 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 감소될 때마다 심혈관 질환 위험률이 5% 감소되며, 정상 범위 안에서도 LDL-C가 감소되면 혈중 지질로 인하여 유발되는 각종 질환의 유병률이 크게 감소된다고 보고하였다. 아울러 Rossi et al.(2017)은 폐경 여성의 LDL-C가 정상 범위에 있더라도 약 10%의 감소가 나타나면 대사증후군 위험요인이 크게 개선되며, 이는 임상적으로 큰 의미를 내포하고 있다고 주장하였다. 결론적으로 LDL-C가 정상범위에 있는 이 연구 대상자의 LDL-C 감소 경향은 임상적으로 의미가 크다고 판단된다.

인슐린 저항성 지표의 변화

인슐린 저항성 지표 중 FPG는 다섯 가지의 대사증후군 위험요인 중 하나이다. 대사증후군은 인슐린 저항성과 밀접한 관련이 있으며, FPG의 감소는 폐경 여성의 대사증후군 위험을 크게 개선시킨다(Stachowiak et al., 2015). L-tryptophan의 섭취는 베타 엔돌핀을 분비시키며, 베타 엔돌핀은 베타 세포(β cells)의 기능을 활성화시켜 탄수화물 대사에 긍정적인 영향을 미친다(Ardiansyah et al., 2011). 또한 체장에도 긍정적인 영향을 미치기 때문에, 결과적으로 FPG를 효과적으로 감소시킨다(Curran et al., 2018).

이 연구에서는 인슐린 저항성의 평가를 위하여 FPG, FPI, 그리고 HOMA-IR을 측정하였으며, T 집단에서 FPG와 HOMA-IR가 유의하게 감소되었다. Chi et

al.(2007)은 당뇨병 쥐에게 L-tryptophan을 섭취시킨 결과 세로토닌의 증가와 함께 골격근에서 혈장 포도당 섭취가 증가되는 것을 발견하였고, Caballero et al.(1988)의 인간 대상 연구에서는 FPG가 유의하게 감소되었다. 이와 같은 결과는 L-tryptophan의 치료로 인한 세로토닌의 증가가 베타 엔돌핀의 증가를 유도하여 FPG를 감소시킨 것으로 해석된다. 선행 연구와 같이 이 연구의 T 집단에서도 FPG와 HOMA-IR이 감소된 것을 보았을 때, L-tryptophan의 섭취는 인슐린 저항성의 개선에 도움이 될 것으로 판단된다.

이 연구의 CT+T 집단에서는 FPG, FPI, 그리고 HOMA-IR의 유의한 감소가 나타났다. 순환운동은 폐경 여성의 인슐린 민감도를 높여 인슐린 저항성을 개선하는데 매우 효과적이며(Ha & Son, 2018), 골격근 내에 미토콘드리아의 기능 향상은 당뇨병 환자의 인슐린 저항성을 효과적으로 개선한다(Kim et al., 2014). 이와 같이 장기간의 규칙적인 운동은 인슐린 민감도의 개선을 통하여 FPI를 감소시켜 궁극적으로 탄수화물 대사개선과 트립토판 대사에도 긍정적인 영향을 미친다(Sultani et al., 2017). 이상의 선행 연구 결과를 감안해 볼 때 이 연구에서 순환운동만 실시한 집단이 없어 직접적인 비교는 어렵지만, CT+T 집단에서 인슐린 저항성 지표의 개선이 나타난 것은 순환운동의 효과와 L-tryptophan 섭취의 효과가 동시에 작용하여 나타난 것이라고 해석된다. 따라서 L-tryptophan 섭취를 통한 FPG의 유의한 감소뿐만 아니라 인슐린 민감도 개선으로 FPI의 유의한 감소로 나타났다. 이는 HOMA-IR을 유의하게 감소시킨 결과로 결론지을 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 12주간 순환운동과 L-tryptophan 섭취를 복합 처치한 CT+T 집단과 L-tryptophan 섭취를 단독 처치한 T집단 모두에서 인슐린 저항성의 개선이 나타났다. 선행 연구에서 L-tryptophan 섭취를 통한 체내 트립토판 저장량의 증에 기인하여 나타난 인슐린 저항성의 개선이 이 연구에서 직접적으로 증명되기에 다소 제한이 있었다. 그러나 CT+T 집단(42.02% 감소)과 T 집단(35.88% 감소)에서 HOMA-IR의 개선이 나타난 것을 감안할 때, L-tryptophan의 섭취가 인슐린 저항성 개선에 긍정적이며 순환운동과 병행할 때 그 개선 효과가 더 커진다고 정리할 수 있다.

심박수와 혈압의 변화

혈압은 다섯 가지의 대사증후군 위험요인 중 하나이다. 대사증후군에 기인하여 악화된 인슐린 저항성은 트립토판 대사 장애와 함께 혈압의 증가를 유발하는 것으로 보고되었다(Oxenkrug, 2010). Cade et al.(1992)은 고혈압 전단계 및 중증도 고혈압 환자에게 L-tryptophan을 섭취시킨 결과 MAP가 유의하게 감소되었다고 보고하였고, Ardiansyah et al.(2011)은 고혈압 쥐에게 L-tryptophan을 섭취시킨 결과 혈압이 유의하게 감소되었다고 보고하였다. 이와 같은 결과를 Watts et al.(2012)은 L-tryptophan 섭취로 통하여 증가된 세로토닌이, 산화질소를 증가시킴으로써 혈관 이완을 통한 혈압 개선 효과가 나타난 것이라고 해석하였다. 따라서 트립토판 대사에 문제가 생길 경우 고혈압이 유발될 수 있으며, 특히 대사 장애의 비율이 높은 폐경 여성의 경우 트립토판 대사의 저하를 통한 세로토닌의 감소가 나타나고 고혈압이 초래될 가능성이 크다(Bautista et al., 2005).

전술한 선행 연구의 결과와 유사하게, 이 연구의 T 집단에서도 혈압의 유의한 변화가 일부 나타났다. T 집단에서 DBP와 MAP가 유의하게 감소되었으며, 통계적으로 유의하지는 않았지만 SBP가 감소되는 경향을 보였다. Cade et al.(1992)은 고혈압 전단계 및 중증도 고혈압 환자를 대상으로 L-tryptophan을 섭취시킨 결과 DBP와 MAP가 유의하게 감소되었다고 보고하여 이 연구의 결과와 일치하였다. L-tryptophan 섭취를 통하여 MAP가 감소된 기전은 트립토판-키뉴레닌 대사의 개선 효과(Agudelo et al., 2014)와 세로토닌 증가에 기인한 혈압의 감소 효과(Watts et al., 2012)로 해석할 수 있다. 한편, 이 집단에서 SBP의 유의한 변화가 나타나지 않아 심근에 대한 부담을 나타내는 간접지표인 RPP에서도 유의한 변화가 나타나지 않았다. L-tryptophan의 섭취가 SBP가 아닌 DBP에만 영향을 미치는 이유에 대해서는 후속 연구가 요청된다.

한편, 이 연구의 CT+T 집단에서는 SBP, DBP, MAP, 그리고 RPP가 유의하게 감소되었다. 이와 같은 결과는 유산소운동과 저항성운동을 병행한 결과 폐경 여성의 동맥 경직도가 개선되었다고 보고한 Figueroa et al.(2011)의 결과와 관련이 있다고 판단된다. 또한

L-tryptophan 섭취의 효과에 순환운동을 통하여 나타난 체지방의 감소, 인슐린 저항성의 개선, 그리고 혈관 기능의 강화(Rossi et al., 2017) 효과가 더해져 나타난 것이라고 해석된다. 특히, 이 집단에서 SPB의 평균이 사전검사 시 고혈압 전단계 수준(132.6 ± 14.6 mmHg)에서 사후검사 시 정상 범위(125.6 ± 11.0 mmHg)로 감소된 것은 임상적으로 큰 의미가 있다고 판단된다. 이상의 내용을 정리하면, L-tryptophan의 단독 섭취도 혈압의 감소에 일부 효과가 있지만, 순환운동과 병행할 때 그 효과가 배가된다고 할 수 있다.

대사증후군 위험요인 수의 변화

폐경 여성에게 있어서 대사증후군 위험도를 감소시키는 것은 매우 중요하며, 이는 노인기를 앞두고 있는 시점에서 이들의 대사질환 예방과 삶의 질 향상을 위하여 큰 의미가 있다(Lobo, 2008). 대사증후군 위험요인을 개선하기 위하여 운동요법, 식이요법, 약물요법, 그리고 호르몬요법 등 다양한 방법이 제시되며(Li et al., 2016), 운동요법과 식이요법이 가장 효과적이고 안전한 방법으로 권장된다(Stojanovska et al., 2014).

이 연구의 T 집단과 CT+T 집단에서 대사증후군 위험요인의 수가 유의하게 감소되었다. T 집단의 경우 대사증후군 위험요인이 2.43 ± 0.94 개에서 1.71 ± 0.99 개로 유의하게 감소되었으며, 주로 인슐린 저항성과 혈압의 개선을 통하여 나타났다. 이는 특별한 약이 아닌 아미노산의 섭취만으로 나타난 효과로서 임상적으로 의미가 크다고 판단된다. 또한 CT+T 집단의 경우 대사증후군 위험요인의 수가 2.36 ± 1.45 개에서 0.93 ± 1.07 개로 감소되어 T 집단보다 더욱 크게 감소되었으며, 주로 신체구성, 인슐린 저항성, 그리고 혈압의 개선을 통하여 나타났다. 이와 같은 결과를 통하여 대사증후군 위험도를 떨어뜨리는데 있어서 순환운동과 L-tryptophan 섭취의 시너지 효과가 있다고 정리할 수 있다.

결론

이 연구에서 12주간의 순환운동과 L-tryptophan 섭

취가 폐경 여성의 체력과 대사증후군관련 변인에 미치는 영향을 규명하여 얻은 결과를 요약하여 제시하면 다음과 같다.

- 1) CT+T 집단의 제자리멀리뛰기, 눈감고외발서기, 앉아윗몸앞으로굽히기, 윗몸일으키기, 그리고 $VO_2\max$ 가 유의하게 증가되었다.
- 2) CT+T 집단의 체중, BMI, 허리둘레, 허리·엉덩이 둘레 비율, 체지방량, 그리고 체지방률이 유의하게 감소되었다.
- 3) CT+T 집단의 TC가 유의하게 감소되었다.
- 4) CT+T 집단의 FPG, FPI, 그리고 HOMA-IR이 유의하게 감소되었고, T 집단의 FPG와 HOMA-IR이 유의하게 감소되었다.
- 5) CT+T 집단의 SBP, DBP, MAP, 그리고 RPP가 유의하게 감소되었고, T 집단의 DBP와 MAP가 유의하게 감소되었다.
- 6) CT+T 집단과 T 집단의 대사증후군 위험요인의 수가 유의하게 감소되었다.

이상의 결과를 통하여, 12주간의 순환운동과 L-tryptophan 섭취의 복합 처치가 체력의 향상에 효과적이었다고 결론지을 수 있다. 또한 L-tryptophan 단독 섭취도 인슐린 저항성과 혈압을 개선하여 대사증후군 주된 위험요인을 개선하였다. 향후 대사증후군 질환자를 대상으로 운동 트레이닝과 L-tryptophan 섭취의 단독 처치 및 복합 처치의 효과를 보다 장기간에 걸쳐 규명하는 후속 연구가 요청되며, 이 연구에서 측정하지 못했던 트립토판의 저장량 및 이용률에 대한 변인을 포함하는 연구 또한 요청된다.

참고문헌

- Agudelo, L. Z., Femenía, T., Orhan, F., Porsmyr-Palmertz, M., Goiny, M., Martinez-Redondo, V., Correia, J. C., Izadi, M., Bhat, M., Schuppe-Koistinen, I., Pettersson, A. T., Ferreira, D.

- M. S., Krook, A., Barres, R., Zierath, J. R., Erhardt, S., Lindskog, M., & Ruas, J. L. (2014). Skeletal muscle PGC-1 α modulates kynurenine metabolism and mediates resilience to stress-induced depression. *Cell*, 159(1), 33-45.
- Alcaraz, P. E., Perez-Gomez, J., Chavarrias, M., & Blazevich, A. J. (2011). Similarity in adaptations to high-resistance circuit vs. traditional strength training in resistance-trained men. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2519-2527.
- Ardiansyah, S., Shirakawa, H., Inagawa, Y., Koseki, T., & Komai, M. (2011). Regulation of blood pressure and glucose metabolism induced by L-tryptophan in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Nutrition and Metabolism*, 8(1), 45, doi: 10.1186/1743-7075-8-45.
- Bautista, L. E., Vera, L. M., Arenas, I. A., & Gamarra, G. (2005). Independent association between inflammatory markers (C-reactive protein, interleukin-6, and TNF- α) and essential hypertension. *Journal of Human Hypertension*, 19(2), 149-154.
- Bruce, R. A., Blackmon, J. R., Jones, J. W., & Strait, G. (2004). Exercising testing in adult normal subjects and cardiac patients. 1963. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 9(3), 291-303.
- Caballero, B., Finer, N., & Wurtman, R. J. (1988). Plasma amino acids and insulin levels in obesity: Response to carbohydrate intake and tryptophan supplements. *Metabolism*, 37(7), 672-676.
- Cade, J. R., Fregly, M. J., & Privette, M. (1992). Effect of tryptophan and 5-hydroxytryptophan on the blood pressure of patients with mild to moderate hypertension. *Amino Acids*, 2(1-2), 133-142.
- Cervenka, I., Agudelo, L. Z., & Ruas, J. L. (2017). Kynurenines: tryptophan's metabolites in exercise, inflammation, and mental health. *Science*, 357(6349), doi: 10.1126/science.aaf9794.
- Chi, T. C., Ho, Y. J., Chen, W. P., Chi, T. L., Lee, S. S., Cheng, J. T., & Su, M. J. (2007). Serotonin enhances β -endorphin secretion to lower plasma glucose in streptozotocin-induced diabetic rats. *Life Sciences*, 80(20), 1832-1838.
- Cholesterol Treatment Trialists' (CTT) Collaboration (2010). Efficacy and safety of more intensive lowering of LDL cholesterol: A meta-analysis of data from 170,000 participants in 26 randomised trials. *Lancet*. 376(9753), 1670-1681.
- Cohen, J. (1977). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Revised Edition: Hillsdale, NJ.
- Cunliffe, A., Obeid, O. A., & Powell-Tuck, J. (1998). A placebo controlled investigation of the effects of tryptophan or placebo on subjective and objective measures of fatigue. *European Journal of Clinical Nutrition*, 52(6), 425-431.
- Curran, A. M., Scott-Boyer, M. P., Kaput, J., Ryan, M. F., Drummond, E., Gibney, E. R., Gibney, M. J., Roche, H. M., & Brennan, L. (2018). A proteomic signature that reflects pancreatic beta-cell function. *PLoS One*, 13(8), e0202727.
- Després, J. P., & Lemieux, I. (2006). Abdominal obesity and metabolic syndrome. *Nature*, 444(7121), 881-887.
- Durstine, J. L., Grandjean, P. W., Cox, C. A., & Thompson, P. D. (2002). Lipids, lipoproteins, and exercise. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 22(6), 385-398.
- 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.
- Fernstrom, J. D. (2012). Effects and side effects associated with the non-nutritional use of tryptophan by humans. *The Journal of Nutrition*, 142(12), 2236S-2244S.
- Figuroa, A., Park, S. Y., Seo, D. Y., Sanchez-Gonzalez, M. A., & Baek, Y. H. (2011). Combined resistance and endurance exercise training improves arterial stiffness, blood pressure, and muscle strength in postmenopausal women. *Menopause*, 18(9), 980-984.
- Grindler, N. M. & Santoro, N. F. (2015). Menopause and exercise. *Menopause*, 22(12), 1351-1358.
- Ha, M. S. & Son, W. M. (2018). Combined exercise is a modality for improving insulin resistance and aging-related hormone biomarkers in elderly Korean women. *Experimental Gerontology*, 114, 13-18.
- Heidari, M., Ghodusi, M., & Rafiei, H. (2017). Sexual self-concept and its relationship to depression, stress and anxiety in postmenopausal women. *Journal of Menopausal Medicine*, 23(1), 42-48.
- Hiratsuka, C., Fukuwatari, T., Sano, M., Saito, K., Sasaki, S., & Shibata, K. (2013). Supplementing healthy women with up to 5.0 g/d of L-tryptophan has no adverse effects. *The Journal of Nutrition*, 143(6), 859-866.
- Javierre, C., Segura, R., Ventura, J. L., Suárez, A., & Rosés, J. M. (2010). L-tryptophan supplementation can decrease fatigue

- perception during an aerobic exercise with supramaximal intercalated anaerobic bouts in young healthy men. *International Journal of Neuroscience*, 120(5), 319-327.
- Kim, H. J., Kang, C. K., Park, H., & Lee, M. G. (2014). Effects of vitamin D supplementation and circuit training on indices of obesity and insulin resistance in T2D and vitamin D deficient elderly women. *Journal of Exercise Nutrition and Biochemistry*, 18(3), 249-257.
- Li, R. X., Ma, M., Xiao, X. R., Xu, Y., Chen, X. Y., & Li, B. (2016). Perimenopausal syndrome and mood disorders in perimenopause: prevalence, severity, relationships, and risk factors. *Medicine*, 95(32), e4466, doi: 10.1097/MD. 00000000000004466.
- Lobo, R. A. (2008). Metabolic syndrome after menopause and the role of hormones. *Maturitas*, 60(1), 10-18.
- Matthews, D. R., Hosker, J. P., Rudenski, A. S., Naylor, B. A., Treacher, D. F., & Turner, R. C. (1985). Homeostasis model assessment: insulin resistance and β -cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia*, 28(7), 412-419.
- Ministry of Culture Sports and Tourism (2013). *The Survey of National Physical Fitness*.
- Nabuco, H. C., Tomeleri, C. M., Sugihara, P. J., dos Reis Fernandes, R., Cavalcante, E. F., Antunes, M., Burini, R. C., Venturini, D., Barbosa, D. S., Silva, A. M., & Cyrino, E. S. (2018). Lower protein and higher carbohydrate intake is related with altering metabolic syndrome components in elderly women: A cross-sectional study. *Experimental Gerontology*, 103, 132-137.
- NCEP-ATPIII (2001). Executive summary of the Third Report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III). *The Journal of American Medical Association*, 285(19), 2486-2497.
- Oxenkrug, G. F. (2010). Metabolic syndrome, age associated neuroendocrine disorders, and dysregulation of tryptophan-kynurenine metabolism. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1199(1), 1-14.
- Ranasinghe, P., Mathangasinghe, Y., Jayawardena, R., Hills, A. P., & Misra, A. (2017). Prevalence and trends of metabolic syndrome among adults in the asia-pacific region: A systematic review. *BMC Public Health*, 17(1), 101, doi: 10.1186/s12889-017-4041-1.
- Rasmussen, C. R., Kreider, C., Kerkick, B., Campbell, B., Slonaker, M., Greenwood, J., Baer, E., Pfau, M., Grimstvedt, C., Wilborn, A., Thomas, L., Autrey, T., Magrans, B., Marcello, C., Mulligan, D., Rohle, L., Taylor, A., Vacanti, S., Ounpraseuth, P., & Casey, R. (2004). Effects of the Curves® fitness and weight loss program on markers of health. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5), 106-112.
- Romero-Arenas, S., Martínez-Pascual, M., & Alcaraz, P. E. (2013). Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging and Disease*, 4(5), 256-263.
- Rossi, F. E., Fortaleza, A. C. S., Neves, L. M., Diniz, T. A., de Castro, M. R., Buonani, C., Mota, J., & Freitas, I. F. (2017). Combined training (strength plus aerobic) potentiates a reduction in body fat but only functional training reduced low-density lipoprotein cholesterol in postmenopausal women with a similar training load. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(3), 322-329.
- Ruan, Z., Yang, Y., Wen, Y., Zhou, Y., Fu, X., Ding, S., Liu, G., Yao, K., Wu, X., Deng, Z., Wu, G., & Yin, Y. (2014). Metabolomic analysis of amino acid and fat metabolism in rats with l-tryptophan supplementation. *Amino Acids*, 46(12), 2681-2691.
- Santos, E., Rhea, M. R., Simão, R., Dias, I., De Salles, B. F., Novaes, J., Leite, T., Blair, J. C., & Bunker, D. J. (2010). Influence of moderately intense strength training on flexibility in sedentary young women. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(11), 3144-3149.
- Stachowiak, G., Pertyński, T., & Pertyńska-Marczewska, M. (2015). Metabolic disorders in menopause. *Przegląd Menopauzalny- Menopause Review*, 14(1), 59-64.
- Statistics Korea. (2018). *Elderly Statistics in Korea*.
- Steenbergen, L., Jongkees, B. J., Sellaro, R., & Colzato, L. S. (2016). Tryptophan supplementation modulates social behavior: A review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 64, 346-358.
- Stojanovska, L., Apostolopoulos, V., Polman, R., & Borkoles, E. (2014). To exercise, or, not to exercise, during menopause and beyond. *Maturitas*, 77(4), 318-323.
- Strasser, B., Berger, K., & Fuchs, D. (2015). Effects of a caloric restriction weight loss diet on tryptophan metabolism and inflammatory biomarkers in overweight adults. *European Journal of Nutrition*, 54(1), 101-107.
- Sultani, G., Samsudeen, A. F., Osborne, B., & Turner, N. (2017).

- NAD⁺: A key metabolic regulator with great therapeutic potential. *Journal of Neuroendocrinology*, 29(10), e12508.
- Vink, R. G., Roumans, N. J., Arkenbosch, L. A., Mariman, E. C., & van Baak, M. A. (2016). The effect of rate of weight loss on long term weight regain in adults with overweight and obesity. *Obesity*, 24(2), 321-327.
- Watts, S. W., Morrison, S. F., Davis, R. P., & Barman, S. M. (2012). Serotonin and blood pressure regulation. *Pharmacological Reviews*, 64(2), 359-388.
- WHO Expert Consultation (2004). Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *Lancet*, 363(9403), 157-163.
- Williams, M. (2005). Dietary supplements and sports performance: Amino acids. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2(2), 63-67.
- Yang, Y. M., Shin, B. C., Son, C., & Ha, I. H. (2019). An analysis of the associations between gender and metabolic syndrome components in Korean adults: A national cross-sectional study. *BMC Endocrine Disorders*, 19(1), 67, doi: 10.1186/s12902-019-0393-0.
- Zapata, R. C., Singh, A., Ajdari, N. M., & Chelikani, P. K. (2018). Dietary tryptophan restriction dose dependently modulates energy balance, gut hormones, and microbiota in obesity prone rats. *Obesity*, 26(4), 730-739.
- Zhuang, J., Huang, L., Wu, Y., & Zhang, Y. (2014). The effectiveness of a combined exercise intervention on physical fitness factors related to falls in community-dwelling older adults. *Clinical Interventions in Aging*, 9, 131-140.

12주간의 순환운동과 L-tryptophan 섭취가 폐경 여성의 체력과 대사증후군에 미치는 영향

조현석¹, 이태희², 이만균³

¹경희대학교 연구원

²경희대학교 객원교수

³경희대학교 교수

【목적】 이 연구는 12주간의 순환운동과 L-tryptophan 섭취가 폐경 여성의 체력과 대사증후군에 미치는 영향을 규명하는 것이었다. **【방법】** 정상 체중 이상의 폐경 여성 41명을 순환운동+L-tryptophan 집단 14명, L-tryptophan 집단 14명, 그리고 통제 집단 13명으로 무선할당 하였다. 순환운동+L-tryptophan 집단의 대상자는 12주간 주 3회, 일일 40분의 순환운동에 참여하고 일일 3 g의 L-tryptophan을 섭취하였으며, L-tryptophan 집단의 대상자는 일일 3 g의 L-tryptophan을 섭취하였다. 통제 집단의 대상자는 동일한 처치 기간 동안 위약을 섭취하면서 특별한 처치 없이 평소의 생활습관을 그대로 유지하였다. 체력과 대사증후군관련 변인을 사전검사와 사후검사에 측정하였고, 반복 이원분산분석을 이용하여 세 집단 간에, 그리고 두 검사 간에 비교하였다. **【결과】** 이 연구에서 얻은 주요 결과는 다음과 같다. 1) 체력과 관련하여 순환운동+L-tryptophan 집단의 제자리멀리뛰기, 눈감고외발서기, 앉아윗몸앞으로굽히기, 윗몸일으키기, 그리고 maximal oxygen uptake가 유의하게 증가되었다. 2) 신체구성과 관련하여 순환운동+L-tryptophan 집단의 체중, 체질량지수, 허리둘레, 허리·엉덩이둘레 비율, 체지방량, 그리고 체지방률이 유의하게 감소되었다. 3) 혈중 지질과 관련하여 순환운동+L-tryptophan 집단의 총콜레스테롤이 유의하게 감소되었다. 4) 인슐린 저항성 지표와 관련하여 순환운동+L-tryptophan 집단의 공복 혈당, 공복 인슐린, 그리고 homeostasis model of assessment for insulin resistance(HOMA-IR)가 유의하게 감소되었으며, L-tryptophan 집단의 공복 혈당과 HOMA-IR이 유의하게 감소되었다. 5) 심박수 및 혈압과 관련하여 순환운동+L-tryptophan 집단의 수축기 혈압, 이완기 혈압, 평균동맥압, 그리고 rate pressure product(RPP)가 유의하게 감소되었고, L-tryptophan 집단의 이완기 혈압과 평균동맥압이 유의하게 감소되었다. 6) 순환운동+L-tryptophan 집단과 L-tryptophan 집단의 대사증후군 위험요인의 수가 유의하게 감소되었다. **【결론】** 이상의 결과를 토대로 볼 때, 12주간의 순환운동과 L-tryptophan 섭취의 복합 처치는 체력의 향상에 효과적 이었고, 신체구성, 인슐린 저항성, 그리고 혈압의 개선을 통하여 대사증후군 위험요인의 수를 줄이는데 효과적 이었다. 아울러 L-tryptophan 단독 섭취도 인슐린 저항성과 혈압의 개선을 통하여 대사증후군 위험요인의 수를 줄이는데 효과적이었다고 결론지을 수 있다. 향후 대사증후군 질환자를 대상으로 운동 트레이닝과 L-tryptophan 섭취의 단독 처치 및 복합 처치의 효과를 보다 장기간에 걸쳐 규명하는 후속 연구가 요청된다.

주요어: 순환운동, 트립토판, 체력, 대사증후군, 폐경