

Effects of Exercise Types on BDNF and Cognitive Functions in Middle Aged Women

Yu-Beom Kim¹⁾ · Kyeong-Lae Kim^{*2)} · Sung-Tae Park³⁾

¹⁾Sungwon Middle School · ²⁾Korea National University of Education · ³⁾Seowon University

유형별 운동이 중년 여성의 BDNF와 인지 기능에 미치는 영향

김유범¹⁾ · 김경래²⁾ · 박성태³⁾

¹⁾성원중학교 · ²⁾한국교원대학교 · ³⁾서원대학교

<ABSTRACT>

This study is to analyse the impact of two types of exercise on BDNF and cognitive functions in middle aged women. Thirty nine healthy women, aged 50~64 years followed by randomly assigned to a task learning exercise group(n=13), non-task learning exercise group(n=13) and control group(n=13). The TEG performed a dance sports and cognitive band resistance exercise and the NTEG performed a walking and band resistance exercise. Blood sampling and auditory verbal learning test(AVLT) were performed at before exercise, after one bout exercise, and 4 weeks after. As a result, an one bout exercise of moderate intensity on middle aged women was not affected transient change of BDNF significantly regardless of exercise types, but a task-learning exercise was affected positive effect on AVLT. A chronic exercise of moderate intensity for 4 weeks on healthy middle aged women was not affected increasing of basal BDNF levels and memory performance significantly.

Keywords : Exercise types, BDNF, cognitive functions, middle aged women

I. Introduction

뇌 과학의 눈부신 발달로 인하여 운동과 인지기능의 관계에 대한 첨단 과학적 접근이 이루어지고 있다. 세계적으로 초고령화사회에 진입하게 됨에 따라 노화로 인한 인지기능의 감퇴가 큰 관심을 받게 되면

서, 이에 대한 지연 및 개선 측면에서 신체활동이나 운동의 역할이 더욱 강조되고 있다. 과거에 뇌는 기능이나 구조적으로 성인기에 변화하지 않는다는 것이 정설이었으나, Paul Bach-y-Rita의 연구를 기반으로 뇌의 가소성에 대한 유의한 연구결과들이 보고되기 시작하고(Bach-y-Rita, 1967; Bach-y-Rita, Collins,

* Corresponding Author : Kyeong-Lae Kim, silzzang@knue.ac.kr

Received May 31, 2020; Reviewed June 22, 2020 Corrected June 25, 2020; Accepted June 26, 2020

© 2020. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

Saunders, White & Scadden, 1969) 성인 뇌의 해마에서 새로운 신경세포가 생성(neurogenesis)된다는 것이 밝혀짐에 따라(Eriksson et al., 1998) ‘신경가소성(Neuroplasticity)’이라는 개념이 큰 주목을 받고 있다. 신경가소성은 다양한 신경영양인자(Neurotrophins)에 의해 발생되는데, 그 중 뇌유래신경영양인자(Brain derived neurotrophic factor, BDNF)는 즉각적인 인지 수행 및 시간에 따른 뇌의 구조적, 기능적 변화에 필수적일 뿐만 아니라 운동 강도, 운동 시간, 운동 기간에 따라 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(Johnston, 2009; Piepmeier & Etnier, 2015).

운동이 인지기능에 미치는 영향을 분석한 선행연구들은 연구 대상, 운동 유형, 강도, 시간, 기간, BDNF 생성 부위 및 인지 과제의 종류에 따라 다양한 방법으로 실험을 진행하였다(Knaepen, Goekint, Heyman & Meeusen, 2010; McMorris, 2015; Piepmeier & Etnier, 2015). 운동 유형은 운동 중 인지적 자극이 비교적 많이 주어지는 과제학습형 운동과 운동 중 인지적 자극이 비교적 적게 주어지는 비과제학습형 운동으로 나눌 수 있다. 운동 유형에 따른 BDNF 및 인지기능의 변화를 알아보기 위하여 수행된 행연구들은 두 가지 운동 유형 모두 BDNF 나 인지기능 향상에 긍정적인 영향을 미친다고 보고하고 있으나(Griffin et al., 2011; Klintsova, Dickson, Yoshida & Greenough, 2004; Suzuki, et al., 2013), 인간을 대상으로 이 두 가지 운동 유형에 따른 인지기능의 변화에 대하여 비교 분석한 연구는 미흡한 실정이다.

운동과 인지기능의 관계에 대한 메타 분석에 의하면, 운동을 통해 향상될 수 있는 인지 과제 중 가장 큰 효과를 나타낸 인지 과제는 ‘실행 기능(Executive function)’이다(Colcombe et al., 2003). 이러한 결과에 대해 Woo(2010)는 운동의 효과가 전두엽에서 가장 크기 때문일 것이라는 가능성과 노화로 인한 인지기능 감소에서 가장 현저하게 감소하는 부분이 실행 기능을 담당하는 전두엽이므로, 운동이 상대적으로 감퇴가 빠른 전두엽에 가장 큰 영향을 미쳤을 것이기 때문으로 분석하였다. 그러나 운동으로 인해 증가된 BDNF의 농도와 인지기능의 향상에는 양적 상관관계가 있는데, 이 때 모든 인지 과제와 상관관계가 있는 것이 아니라 기억을 평가

하는 인지 과제에 특이적으로 양적 상관관계를 보이고 있으며, 실행 기능을 평가하기 위한 인지 과제에서는 같은 결과를 보이지 않았다는 연구 결과를 바탕으로 BDNF가 실행 기능보다는 기억 관련 과제에 더 큰 상관을 보인다고 하였다(McMorris, 2015; Piepmeier & Etnier, 2015).

규칙적인 운동이 인간의 인지기능 감퇴를 지연시키고 인지기능을 개선시키는 데 기여할 수 있는 중요한 수단이 될 수 있다면 운동 유형, 강도, 시간 및 기간 등의 요소에 따라 중년 여성의 BDNF와 인지기능이 어떻게 변화하는지 면밀하게 분석할 필요가 있다. 이 연구는 50~64세 중년 여성을 대상으로 1회성 운동 및 4주 간의 지속적 운동이 BDNF 농도와 인지기능에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 수행하였다.

II. Methodology

1. Participants

연구의 참여자는 S시 소재 K구에 거주하며, 특별한 기저 질환이 없고, 건강 상태가 양호하며 평소 규칙적으로 운동에 참여하지 않고 있는 만 50~64세의 중년 여성들로 구성하였다. 구청 교육사업을 위하여 모집된 중년 여성들 중 본 실험에 자발적 참여 의사를 밝히고 실험동의서를 제출한 39명을 선정하였으며, 최종적으로 중도 탈락자 7명을 제외한 32명의 자료를 분석하였다. 연구 참여자의 일반적 특성은 <Table 1>에 제시하였다.

<Table 1> General characteristics of subjects

Group (n)	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	HRR (beat)	MMSE-K (point)
NTEG	60.45	156	55.93	76.18	28.26
(11)	±4.05	±4.94	±7.22	±11.80	±1.57
TEG	59.90	155.7	57.47	75.82	27.73
(11)	±4.48	±7.90	±6.67	±10.34	±1.79
CG	56.10	156.2	58.95	79.60	26.70
(10)	±4.12	±6.84	±8.69	±13.01	±1.70

Values are mean±SD. NTEG: Non-task learning exercise group, TEG: Task-learning exercise group, CG: Control group

2. Procedures

연구 참여자 선정은 실험 결과에 영향을 미칠 요인에 대한 설문 및 국제신체활동량 조사, 한국형 간이정신상태검사에 대한 추가 조사를 통해 이루어졌다. 39명의 참여자들은 2일 후 과제학습형 운동집단, 비과제학습형 운동집단 및 통제집단으로 나누어 채혈을 완료한 후 신경심리검사(Auditory Verbal Learning Test; AVLT)를 수행하였다. 연구 참여자는 검사 당일 주정맥에서 채혈하기 위하여 4시간 동안 공복 상태를 유지하였고, 운동 전, 운동 직후 각각 15분 내에 모든 채혈을 완료하였다. 검사를 완료한 후 집단별 운동 수행 장소로 이동하여 1회성 운동(50분)을 수행하거나 휴식을 취하고 운동이 끝나면 검사 장소로 이동하여 채혈과 신경심리검사(AVLT)를 실시하였다. 운동집단은 1회성 운동을 수행한 다음 날부터 1회 운동 시간을 100분, 주 2회씩 4주 간 운동 프로그램에 참여하였고, 통제집단은 일상생활을 유지하도록 하였다. 4주 간의 운동 프로그램을 수행한 후 사전검사와 동일한 시간대에 체력검사를 실시하고 그 다음 날 안정 시 채혈 및 AVLT를 실시하였다.

3. Exercise Programs

1) One Bout Exercise Program

비과제학습형 운동은 ‘걷기’를, 과제학습형 운동은 ‘댄스 스포츠’를 선정하였다. 또한 두 운동 유형에 따른 효과의 차이가 단순히 운동 강도의 차이에 기인할 수 있기 때문에 두 집단의 운동강도를 맞추고자 노력하였으며, 일반적으로 수행되는 중강도(50~65% HRR) 운동강도를 댄스 스포츠 및 걷기 운동집단에게 적용하고 Karvonen(Karvonen, Kentala, & Mustala, 1957) 공식(목표심박수 = 운동강도 * 여유심박수 + 안정 시 심박수)을 이용하여 개인별 목표심박수(THR)를 산출하였다. 산출된 목표심박수는 운동 수행 시 해당 범위를 유지할 수 있도록 무선심박수 측정기를 이용하여 조절하였다.

2) Continuous Exercise Program

4주 간 수행한 지속 운동 프로그램은 주 2회의 우동 빈도를 보완하기 위하여 1회 운동 시간을 100분으로 연장하여 동일한 범주에 속하는 두 가지 운동 종목을 수행하도록 하였다. 과제학습형 운동집단은 댄스 스포츠와 인지 과제가 부여된 저항성 밴드 운동 프로그램을, 비과제학습형 운동집단은 걷기와 인지과제가 부여되지 않은 저항성 밴드 운동 프로그램을 적용하였으며, 통제집단은 4주 동안 평소처럼 일상생활을 유지하도록 하였다.

(1) Task Learning Exercise Program

과제학습형 운동은 댄스 스포츠와 인지적 과제가 부여된 저항성 밴드 운동으로 구성하였다. 댄스 스포츠의 강도는 중강도(50~65% HRR)의 범위로 설정하였으며 Karvonen공식(Karvonen et al., 2010)을 이용하여 개인별 목표심박수(THR)를 산출하였다. 설정된 목표심박수는 운동 시 해당 범위를 벗어나지 않게 무선심박수 측정기를 이용하여 조절하였다. 인지적 과제가 부여된 저항성 운동으로 세라밴드를 활용하였으며 운동 강도는 운동 참여 전 참여자의 근력 수준에 부합하는 밴드 레벨을 선택하도록 하였다. 근력 운동 자세 중 Lateral Raise를 15회(15RM) 수행하였을 때 ‘힘들다’는 느낌이 들 정도의 밴드의 레벨을 선택하였으며 결과적으로 모든 참여자는 녹색 밴드(Level 3)를 선택하였다. 선행연구에 따르면, 15RM은 1RM의 약 65% 정도이며 이는 근지구력을 향상시키기 위한 범위($\leq 60\%$ of 1RM, ≥ 20 Reps)보다 약간 높은 수준의 강도인 중강도의 운동이라고 볼 수 있다(Haff & Triplett, 2015).

(2) Non-task Learning Exercise Program

비과제학습형 운동은 인지적 과제가 부여되지 않고 인체 사지의 반복 움직임으로 수행할 수 있는 운동 중 가장 대표적 유산소 운동인 걷기를 선정하였다. 걷기는 중강도(50~65% HRR)의 운동강도를 2주마다 차등을 두어 적용하고 Karvonen 공식을 이용하여 개인별 목표 심박수를 산출하였다. 산출된 목표심박수는 운동 시 무선심박수 측정기를 활용하여 조절하였다. 저항성 운동으로 탄력밴드 운동을

수행하도록 하되 인지적 과제를 부여하지 않고 지도자의 시범을 단순히 따라하면 되는 쉬운 형태로 구성하였고, 동작 유형 및 운동 강도는 과제학습형 운동과 동일하게 구성하였다.

4. Measurement Items

<Table 2> Measuring items

Items	Variables	Measurement methods
Neuro-psychological test	Memory	AVLT(Auditory Verbal Learning Test)
	Attention	PASAT(Paced Auditory Serial Addition Test)
Blood analysis	BDNF	Standardized ELISA after blood collection

5. Data Processing

자료 분석은 Windows용 SPSS/PC+ Ver. 24.0 통계 프로그램을 이용하였으며, 기술통계분석을 이용하여 측정값의 평균(M)과 표준편차(SD)를 산출하였다. 트레이닝의 유무와 측정 시간(운동 전 안정 시, 1회성 운동 후 즉시, 4주 운동 수행 후 안정 시)에 따라 나타나는 종속 변인의 변화를 알아보기 위하여 반복 측정 이원변량분석(Repeated measures two-way ANOVA)을 이용하였으며, 사후검증으로 대응표본 t 검증, 일원변량분석(one-way ANOVA)을 이용하였다. 모든 통계적 유의 수준은 $\alpha = .05$ 수준으로 설정하였다.

III. Results

이 연구는 유형별 운동이 중년 여성의 BDNF와 인지 기능에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위한 것으로 실험에 따른 연구 결과는 다음과 같다.

1. Changes of BDNF

1) BDNF to One Bout Exercise

<Table3>에 제시한 바와 같이 세 집단의 집단 내 시기에 따른 혈중 BDNF 농도의 변화는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < .05$). 그러나 각 집단별 시기에 대한 사후 분석 결과, 모든 그룹에서 유의하지 않았으며($p = .079$, $p = .713$, $p = .431$), 그룹 간 평균($F = 1.41$, $p > .05$) 및 시간과 집단 간의 상호작용효과도 나타나지 않았다.

<Table 3> Changes of BDNF after one bout exercise

Items	Group (n)	Pre	Post	Time	Group	T X G
BDNF (pg/ml)	NTEG (11)	21293.63 ±5777.45	24168.32 ±6879.06			
	TEG (11)	25360.51 ±5632.59	25598.97 ±5452.17	*p<.05	p>.05	p>.05
	CG (10)	26129.77 ±4455.73	26765.45 ±4675.95			

Values are Mean±SD. *p<.05, **p<.01, ***p<.001

NTEG : non-task learning exercise group, TEG : task learning exercise group, CG : control group

2) Changes of BDNF to 4-week Exercise

<Table4>의 내용과 같이 세 집단의 집단 내 시기에 따른 혈중 BDNF 농도의 변화는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < .01$). 그러나 각 집단별 시기에 대한 사후 분석 결과, 모든 그룹에서 유의하지 않았고($p = .090$, $p = .106$, $p = .217$), 그룹 간 평균($F = 2.175$, $p > .05$), 시간과 집단 간 상호작용효과도 나타나지 않았다.

<Table 4> Changes of BDNF after 4 week-exercise

Item	Group (n)	Pre	Post 4 weeks	Time	Group	T X G
BDNF (pg/ml)	NTEG (11)	21293.63 ±5777.45	22732.66 ±5995.15			
	TEG (11)	25360.51 ±5632.59	26672.31 ±6873.87	**p<.01	p>.05	p>.05
	CG (10)	26129.77 ±4455.73	27510.05 ±6196.20			

Values are Mean±SD. *p<.05, **p<.01, ***p<.001

NTEG: non-task learning exercise group, TEG: task learning exercise group, CG: control group

2. Changes of Cognitive Functions

<Table 5> Changes of AVLT scores after one bout exercise

Item	Group (n)	Pre	Post	Time	Group	TXG
IR (n)	NTEG (11)	5.64 ±2.2	6.36 ±1.91	**p<.01	*p<.05	*p<.05
	TEG (11)	4.73 ±0.9	6.73 ±1.84			
	CG (10)	3.9 ±2.42	4.1 ±1.79			
DR (n)	NTEG (11)	9.73 ±3.35	9.91 ±2.42	p>.05	p>.05	*p<.05
	TEG (11)	9.36 ±1.57	10.91 ±2.38			
	CG(10)	8.5 ±2.8	7.8 ±2.2			
TR (n)	NTEG (11)	15.36 ±5.3	16.27 ±3.22	**p<.01	p>.05	**p<.01
	TEG (11)	14.09 ±2.21	17.64 ±3.61			
	CG (10)	12.4 ±5.06	11.9 ±3.69			
iPP (%)	NTEG (11)	16.48 ±8.29	22.3 ±6.47	***p<.001	p>.05	p>.05
	TEG (11)	16.24 ±3.62	23.39 ±3.23			
	CG (10)	13.07 ±7.05	17.33 ±7.38			
dPP (%)	NTEG (11)	24.49 ±6.18	26.67 ±2.3	**p<.01	p>.05	p>.05
	TEG (11)	23.64 ±6.26	26.79 ±3.64			
	CG (10)	20.27 ±5.61	19.07 ±5.26			
iRP (%)	NTEG (11)	21.82 ±9.93	24.85 ±7.93	p>.05	**p<.01	p>.05
	TEG (11)	20.61 ±7.57	29.7 ±4.58			
	CG (10)	16.67 ±11.44	18 ±8.34			
dRP (%)	NTEG (11)	24.24 ±9.55	20.61 ±6.96	*p<.05	p>.05	p>.05

Values are Mean±SD. * p<.05, **p<.01, ***p<.001

IR: Immediate recall, DR : Delayed recall, TR: Total recall, iPP: primacy portion(immediately recall), dPP: primacy portion(delayed recall), iRP: recency portion(immediately recall), dRP: recency portion(delayed recall), NTEG: non-task learning exercise group, TEG: task learning exercise group, CG: control group

<Table 6> Changes in AVLT scores after 4-week exercise

Item	Group (n)	Pre	Post 4 week	Time	Group	TXG
IR (n)	NTEG (11)	5.64 ±2.2	5.91 ±2.84	p>.05	p>.05	p>.05
	TEG (11)	4.73 ±0.9	5.55 ±2.01			
	CG (10)	3.9 ±2.42	4.2 ±1.61			
DR (n)	NTEG (11)	9.73 ±3.35	11.18 ±2.48	**p<.01	p>.05	p>.05
	TEG (11)	9.36 ±1.57	11.09 ±2.66			
	CG (10)	8.5 ±2.8	9.1 ±3.41			
TR (n)	NTEG (11)	15.36 ±5.3	17.09 ±4.82	**p<.01	p>.05	p>.05
	TEG (11)	14.09 ±2.21	16.64 ±4.34			
	CG (10)	12.4 ±5.06	13.3 ±4.9			
iPP (%)	NTEG (11)	16.48 ±8.29	18.06 ±7.62	**p<.01	p>.05	p>.05
	TEG (11)	16.24 ±3.62	20.73 ±4.35			
	CG (10)	13.07 ±7.05	16.4 ±6.38			
dPP (%)	NTEG (11)	24.49 ±6.18	27.88 ±3.23	**p<.01	p>.05	p>.05
	TEG (11)	23.64 ±6.26	24.49 ±5.24			
	CG (10)	20.27 ±5.61	20.94 ±6.91			
iRP (%)	NTEG (11)	21.82 ±9.93	26.06 ±6.96	p>.05	*p<.01	p>.05
	TEG (11)	20.61 ±7.57	27.88 ±5.48			
	CG (10)	16.67 ±11.44	20.67 ±11.94			
dRP (%)	NTEG (11)	24.24 ±9.55	24.85 ±8.47	p>.05	p>.05	p>.05
	TEG (11)	26.67 ±7.3	23.63 ±10.04			
	CG (10)	23.33 ±6.48	20.0 ±8.88			

Values are Mean±SD. * p<.05, **p<.01, ***p<.001

IR: Immediate recall, DR: Delayed recall, TR: Total recall, iPP: primacy portion(immediately recall), dPP: primacy portion(delayed recall), iRP: recency portion(immediately recall), dRP: recency portion(delayed recall), NTEG: non-task learning exercise group, TEG: task learning exercise group, CG: control group

1) Change of IR Score

1회성의 유형별 운동프로그램 중재에 따른 즉시회상(IR) 점수의 변화는 통계적으로 유의하였다($F=3.680$, $p<.05$). 각 집단의 변화량에 대한 사후검증을 실시한 결과, 과제학습형 운동집단의 변화량이 통제집단보다 통계적으로 유의하게 높았다($p<.05$). 4주간의 유형별 운동프로그램 중재 따른 즉시회상(IR)점수의 변화는 ‘시간($F=2.214$, $p=.148$)’, ‘그룹($F=2.182$, $p=.131$)’, ‘시간×그룹의 상호작용($F=.331$, $p=.721$)’에서 모두 유의한 차이가 없었다.

2) Change of DR Score

1회성의 유형별 운동프로그램 중재에 따른 지연회상(DR) 점수 변화는 통계적으로 유의하였다($p<.05$). 각 집단의 변화량에 대한 사후검증 실시 결과, 1회성 운동에 따른 즉시회상(IR) 점수와 마찬가지로, 과제학습형 운동집단의 변화량이 통제집단보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p<.05$).

4주간의 유형별 운동프로그램 중재에 따른 지연회상(DR) 점수의 변화는, ‘시간’에 따른 유의차는 나타났으나($F=19.037$, $p<.01$) ‘그룹($F=1.186$, $p>.05$)’ 및 ‘시간×그룹의 상호작용($F=1.343$, $p>.05$)’에 따른 유의차는 나타나지 않았다. 각 집단의 시기에 대한 사후검증 결과, 비과제학습형 운동집단($t=-3.220$, $P<.01$), 과제학습형 운동집단($t=-3.012$, $P<.05$)에서 집단 내 시기에 따른 유의차가 나타났고, 통제집단에서는 집단 내 시기에 따른 유의차가 나타나지 않았다.

3) Change of TR Score

1회성의 유형별 운동프로그램 중재에 따른 전체회상(TR) 점수의 변화는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<.05$). 각 집단의 변화량에 대한 사후검증을 실시한 결과, 과제학습형 운동집단의 변화량이 통제집단보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p<.01$).

4주간의 유형별 운동프로그램 중재에 따른 전체회상(TR) 점수의 변화는 ‘시간’에 따른 유의가 나타났으나($p<.01$) ‘그룹($F=1.674$, $p>.05$)’ 및 ‘시간×그룹의 상호작용($F=1.107$, $p>.05$)’에 따른 유의차는 나타나지

않았다. 각 집단의 집단 내 시기에 대한 사후검증 결과, 비과제학습형 운동집단($t=-2.492$, $P<.05$), 과제학습형 운동집단($t=-2.508$, $P<.05$)에서 집단 내 시기에 따른 유의차가 나타났고, 통제집단에서는 집단 내 시기에 따른 유의차가 나타나지 않았다.

4) Change of iPP Score

1회성 유형별 운동 중재에 따른 즉시 회상 시 초두 위치 회상율(iPP)의 변화는 ‘시간’에 따른 유의한 증가가 나타났다($p<.001$). 이에 각 집단의 시기에 대한 사후검증 결과, 비과제학습형 운동집단($t=-3.282$, $P<.01$), 과제학습형 운동집단($t=-5.611$, $P<.001$), 통제집단($t=-3.282$, $P<.001$) 모두 집단 내 시기에 따른 유의차가 나타났으며 ‘그룹($F=2.052$, $p>.05$)’ 및 ‘시간×그룹의 상호작용($F=.830$, $p>.05$)’에 따른 유의차가 나타나지 않았다.

4주간의 유형별 운동프로그램 중재에 따른 즉시 회상 시 초두위치 회상율(iPP)의 변화는 ‘시간’에 따른 유의한 증가가 나타났다($p<.01$). 이에 각 집단의 집단 내 시간에 대한 사후검증 결과, 과제학습형 운동집단($t=-2.517$, $P<.05$)과 통제집단($t=-2.643$, $P<.05$)에서만 유의한 향상이 나타났고, 비과제학습형 운동집단에서는 유의차가 나타나지 않았으며, ‘그룹($F=1.052$, $p>.05$)’ 및 ‘시간×그룹의 상호작용($F=.1123$, $p>.05$)’에 따른 유의차가 나타나지 않았다.

5) Change of iRP Score

1회성 유형별 운동 중재에 따른 즉시 회상 시 최신 위치 회상율(iRP)의 변화는 ‘그룹’ 간 유의한 증가가 있었으며($p<.01$), 사후검증 실시 결과, 과제학습형 운동집단이 통제집단보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p<.01$). ‘시간($F=2.460$, $p>.05$)’ 및 ‘시간×그룹의 상호작용($F=2.191$, $p>.05$)’에 따른 유의차가 나타나지 않았다.

4주간의 유형별 운동 중재에 따른 즉시 회상 시 최신위치 회상율(iRP)의 변화는 ‘그룹’ 간 유의한 증가는 있었으나($F=3.584$, $p<.01$), 시간($F=2.345$, $p>.05$) 및 ‘시간×그룹의 상호작용($F=.683$, $p>.05$)’에 따른 유의차가 나타나지 않았다.

6) Change of dPP Score

1회성 유형별 운동 중재에 따른 지연 회상 시 초두위치 회상율(dPP)의 변화는 '시간($p < .01$)'에 따른 유의한 증가를 보였다. 각 집단의 집단 내 시간에 대한 사후검증 결과, 과제학습형 운동집단($t = -3.155$, $p < .05$)에서만 유의한 향상이 나타났고, 비과제학습형 운동집단($t = -1.456$, $p > .05$)과 통제집단($t = -.613$, $p > .05$)에서는 유의한 차이를 보이지 않았으며 '그룹($F = 3.047$, $p = .063$)' 및 '시간×그룹' 상호작용($F = 2.838$, $p = .075$)에 따른 유의차가 나타나지 않았다.

4주 간의 유형별 운동 중재에 따른 지연 회상 시 초두위치 회상율(dPP)의 변화는 집단 내 시간($p < .01$)에 따른 유의한 증가가 나타났다. 각 집단의 집단 내 시간에 대한 사후검증 결과, 과제학습형 운동집단($t = -2.964$, $p < .05$)에서만 유의한 향상이 나타났고, 비과제학습형 운동집단($t = -1.751$, $p > .05$)과 통제집단($t = -1.261$, $p > .05$)에서는 유의차가 나타나지 않았으며, '그룹($F = 1.612$, $p > .05$)' 및 '시간×그룹' 상호작용($F = .469$, $p > .05$)에 따른 유의차가 나타나지 않았다.

7) Change of dRP Score

1회성 유형별 운동 중재에 따른 지연 회상 시 최신허 회상율(dRP)의 변화는 '시간($F = 5.598$, $p < .05$)'에 따른 유의한 감소가 나타났다. 각 집단의 집단 내 시간에 대한 사후검증 결과, 과제학습형 운동집단($t = .922$, $p > .05$)과 비과제학습형 운동집단($t = 1.032$, $p > .05$)은 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 통제집단($t = 2.683$, $p < .05$)은 유의한 감소가 나타났다. 그러나 '그룹($F = 2.010$, $p > .05$)' 및 '시간×그룹' 상호작용($F = .251$, $p > .05$)에 따른 유의차가 나타나지 않았다.

4주 간의 유형별 운동 중재에 따른 지연 회상 시 최신허 회상율(dRP)의 변화는 '시간($F = 2.127$, $p > .05$)', '그룹($F = .600$, $p > .05$)' 및 '시간×그룹' 상호작용($F = .936$, $p > .05$)에 따른 유의차가 나타나지 않았다.

IV. Discussions

이 연구는 건강한 중년 여성을 대상으로 유형별 운동이 혈중 BDNF 농도 및 인지 기능에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 이루어졌으며, 실험을 통하여 도출된 결과를 중심으로 논의하고자 한다.

1. Changes of BDNF to One Bout Exercise

1회성 운동에 따른 혈중 BDNF 농도의 변화에 미치는 영향을 확인하기 위해 측정된 자료를 분석한 결과 집단 간 유의한 차이는 없었으며, 세 집단 모두 시기에 따라 증가하는 경향을 보였으나 사후검증 결과 집단 내 시간에 따른 변화는 세 집단 모두 유의하지 않았다. 모든 운동집단에서 1회성 운동 후 혈중 BDNF 농도가 유의한 증가를 보이지 않았다는 결과는 여러 선행연구들과 상반된 결과를 보이고 있으나 연구 참여자와 운동강도를 고려할 경우 선행연구와 일관된 사실을 발견할 수 있다. 1회성 운동을 통한 BDNF 농도의 변화를 규명하고자 했던 대부분의 연구들은 고강도의 비과제학습형 운동을 중재하였고 연구 참여자 또한 고강도 운동을 수행할 수 있는 10~30대의 연령층을 대상으로 선정하였다(Piepmeyer & Etnier, 2015). Knaepen et al.(2010)의 연구에 의하면 건강한 사람의 경우 1회성 운동의 강도와 혈중 BDNF의 농도는 양적 상관관계를 보인다고 보고하였으며, Ferris et al.(2007)은 평균 25.4세의 남녀 성인을 대상으로 사이클을 통한 점증부하운동, 30분 간의 중·고강도 운동, 30분 간의 저강도 운동을 수행하도록 한 결과 안정 시에 비하여 점증부하운동에서 30%의 증가, 고강도 운동에서 13%의 유의한 증가를 보고하였으나, 저강도 운동에서는 통계적으로 유의한 증가가 나타나지 않았다고 보고하였다. 그러나 일부 연구에서는 1회성의 중강도 운동에서도 혈중 BDNF의 유의한 증가를 보고하였는데, Tsai et al.(2014)은 평균 22.5세의 남성을 대상으로 중강도의 트레드밀 달리기를 적용한 결과 혈중 BDNF 농도의 유의한 증가를 보고하였다.

이 연구에서는 저·중강도의 걷기와 댄스 스포츠

를 적용하였지만 Tsai et al.(2014)의 연구와 같이 혈중 BDNF의 유의한 증가는 발견할 수 없었고 다수의 선행연구에서 보고되는 결과와 일치되는 결과를 보였다. 이러한 사실은 50-64세의 중년층에게도 1회성의 저·중강도의 운동은 혈중 BDNF의 농도의 일시적 증가에 영향을 미칠만한 충분한 자극이 되지 못한다는 점과 이러한 사실이 비과제학습형 운동집단뿐 아니라 인지적 처리, 신체 협응 등을 통해 인지적 자극이 더 많이 주어지는 과제학습형 운동집단에서도 나타난다는 점을 시사한다. 낮은 강도의 운동 수행은 운동 유형에 따른 변화에 있어서도 차이가 없었음을 나타내고 있기 때문에 유형에 따른 운동 중재 효과를 검증하기 위해서는 보다 높은 수준의 운동강도를 적용할 필요가 있을 것으로 사료된다.

2. Changes of Cognitive Functions to One Bout Exercise

중년 여성을 대상으로 중강도의 1회성 운동이 운동 직후 혈중 BDNF 농도의 유의한 증가가 나타나지는 않았으나, 일부 기억 능력에는 일시적으로 향상되는 결과가 나타났다. 즉시회상(IR) 점수에서 과제학습형 운동집단은 통제집단에 비하여 유의한 증가를 보였으며, 비과제학습형 운동집단은 시간에 따라 증가하는 경향을 보였으나 통제집단과의 비교에 있어서 유의차가 나타나지 않았다. 지연회상(DR) 점수에서도 즉시회상(IR)과 마찬가지로 과제학습형 운동집단이 통제집단에 비하여 유의한 증가가 나타났다. 결과적으로 즉시회상(IR) 개수와 지연회상(DR) 개수를 합한 전체회상(TR)에서도 과제학습형 운동집단은 비과제학습형 운동집단과 달리 통제집단과 비교하여 유의한 향상이 나타났다. 이러한 결과는 비과제학습형 운동집단보다는 과제학습형 운동집단이 단기 기억 및 장기 기억의 일시적 향상에 더욱 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 그러나 비과제학습형 운동집단은 통제집단에 비하여 즉시회상(IR), 지연회상(DR)에서 유의한 증가가 나타나지 않았는데 이는 주로 걷기, 달리기와 같은 비과제학습형 운동에서 '주의', '실행기능' 등의 다른 인지 기능을 평가할 때에는 중강도 운동이 효

과적이지만 '기억' 관련 과제를 수행할 때에는 저·중강도보다는 고강도 운동이 더 효과적이라는 선행연구들의 보고와 일치한다. Griffin et al.(2011)은 평균 22세의 남학생을 대상으로 사이클 에르고미터를 이용한 점증부하운동을 실시하고 학습 및 장기 기억을 평가하는 'Face-name matching test'와 '실행기능'을 평가하는 'Stroop word-color task'를 수행한 결과 후자의 수행 점수는 향상되지 않았고, 전자의 수행 점수가 유의하게 향상되었다고 보고하였다. Winter et al.(2007)은 22세의 남학생을 대상으로 약 40분 간의 중강도 달리기 운동 및 6분 간의 고강도 달리기를 수행한 후 단어학습검사를 시행한 결과 고강도 운동 수행이 중강도 운동 수행 및 통제집단의 운동 수행보다 20% 더 빠른 단어 학습의 수행 능력을 보였다고 보고하였다. 기억 관련 인지 과제가 고강도 운동에서 더 우수한 수행 능력을 발휘하는 것은 기억이 주로 '뇌측 측두엽'과 '해마'와 관련이 크기 때문이다. 해마는 '기억'을 관장할 뿐 아니라 강도 높은 움직임에 대한 감각기관으로써의 역할을 수행하거나 오히려 그러한 움직임을 만들어 내는 명령자의 역할을 수행한다(McMorris, 2015). 따라서 해마를 자극하고 해마에서의 BDNF 생성을 증가시켜 1회성 비과제학습형 운동을 통한 기억 관련 과제의 수행력을 향상시키기 위해서는 운동 강도를 높게 설정할 필요가 있다. 그러나 과제학습형 운동의 경우 고강도가 아니었음에도 불구하고 단어회상 검사에서 보여준 유의한 결과는 이러한 운동 유형은 운동 강도가 비교적 낮더라도 비과제학습형 운동과는 다른 기전으로 해마 및 뇌의 기타 영역을 자극하는 것으로 사료된다.

3. Changes of BDNF to 4-Week Exercise

4주 간의 지속적 운동 후 운동 유형에 따른 안정 시 혈중 BDNF의 농도를 분석한 결과, 4주 간의 운동은 유형에 관계없이 운동 전과 후의 집단 내 변화 및 집단 간 유의차가 나타나지 않았다. 동물 대상 실험의 경우 1주 간의 자발적 운동이 안정 시 해마의 BDNF 농도를 증가시켰다는 보고(Gomez Pinilla, Vaynman & Ying, 2008)가 있으며, 임상 연구의 경우 평균 22.7세의 건강한 남성

을 대상으로 주 4회 5주 간(40분/회) 중강도의 자전거 운동을 적용한 결과 안정 시 혈중 BDNF 농도에서 유의한 증가가 나타났다는 보고(Zoladz, Pilc, Majerczak, Grandys, Zapart-Bukowska & Duda, 2008)가 있으나, 일부 연구들의 경우 8주 이하에서는 안정 시 혈중 BDNF 농도에서 유의한 증가가 나타나지 않았다고 보고하거나, 12주 이상의 지속적 운동 후 안정 시 BDNF 농도가 유의하게 증가하였다고 보고하였다(Jeon, Kim & Choi, 2013). 따라서 본 연구에서 유의한 결과를 도출하지 못한 원인을 짧은 운동 기간 때문으로 해석할 수 있다. 건강한 대상자의 경우 8주 이상의 지속적 운동이 안정 시 혈중 BDNF 농도에 영향을 미치지 않았다는 연구(Cho, 2015; Erickson et al., 2011)가 보고되었고, 운동선수의 경우 오히려 안정 시 낮은 수준의 혈중 BDNF 농도를 보이기도 하는데, 이는 혈중 BDNF의 효율적인 사용이라고 해석하는 연구(Babaei, Damirchi, Mehdipour & Tehrani, 2014)가 보고되었다. 건강한 일반인을 대상으로 운동 중재의 실험을 진행할 경우 BDNF 이용의 효율성 및 천정효과로 인해 안정 시 BDNF의 농도에 변화가 나타나지 않을 가능성이 높다. Knaepen et al.(2010)의 연구에 의하면 건강한 일반인의 경우 혈중 BDNF 농도의 범위는 1.5~30.9ng/ml 였고, 노화에 따른 인지적 감퇴 및 만성 질환자들은 대체로 10ng/ml 이하의 농도를 나타낸다고 보고하였다. 혈중 BDNF 농도는 성, 체중, 영양, 체력, 나이, 대사질환 여부 등의 차이에 따라 매우 큰 폭으로 증감할 수 있다. 이 연구에 참여한 대상자들의 평균 농도는 약 24.2ng/ml 였으며, 이는 낮은 수준의 혈중 BDNF 농도는 아니기 때문에 4주 동안의 운동 중재가 천정효과로 인해 안정 시 혈중 BDNF 농도의 유의한 증가가 나타나지 않았을 것으로 사료된다.

4. Changes of Cognitive Functions to 4 Week Exercise

4주 간의 유형별 운동 프로그램이 ‘인지’의 하위 영역 중 ‘기억’에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보

기 위하여 청각단어학습검사(Auditory Verbal Learning Test, AVLT)를 활용하였고, 즉시회상(IR) 개수, 지연회상(DR) 개수, 전체회상(TR) 개수, 즉시회상 시 초두위치 회상율(iPP), 지연회상 시 초두위치 회상율(dPP), 즉시회상 시 최신위치 회상율(iRP), 지연회상 시 최신위치 회상율(dRP) 총 7개의 하위 변인으로 나누어 평가하였다. 단어 회상 개수에 대한 양적 평가에서 즉시회상(IR)은 그룹 내 시간에 따른 변화 및 그룹 간 차이, 시간×그룹의 상호작용에서 유의차가 나타나지 않았으며, 지연회상(DR) 및 전체회상(TR)에서만 집단 내 시간에 따른 변화가 나타났다. 집단 내 시간에 따른 변화량에 대한 사후검증 결과 지연회상(DR)에서는 비과제학습형 운동집단과 과제학습형 운동집단에서 유의차가 나타났으며, 전체회상(TR)에서도 비과제학습형 운동집단과 과제학습형 운동집단에서 집단 내 시간에 따른 유의차가 나타났으나, 그룹 간 차이 및 시간과 그룹 간의 상호작용효과는 나타나지 않았다. 지속적인 운동은 기억을 포함한 인지 기능을 향상시킨다는 선행연구들과 달리 본 연구에서 상기와 같은 결과들이 도출된 원인은 비교적 짧은 운동중재 기간과 대상자의 특성에 따른 천정효과의 결과로 분석된다. ten Brinke et al.(2015)은 70~80세 MCI 여성을 대상으로 6개월 간 주 2회의 걷기운동을 수행한 결과 일화기억과 관련이 있는 좌측 해마의 크기가 증가했으며, 이는 RAVLT의 일부 항목과 양적 상관관계가 있었음을 보고하여 본 연구와 같은 운동 유형, 강도, 빈도, 기간으로 유의한 결과를 얻기 위해서는 최소한 건강상의 문제가 있는 질환자나 노년층을 대상으로 실험하거나 보다 장기간의 운동 기간이 요구되고 있음을 시사한다. 계열위치효과를 이용한 질적 평가에서는 즉시회상 및 지연회상에서의 초두위치 회상율에서 그룹 내 시간에 따른 유의차가 나타났다. 그룹 내 시간에 따른 변화량의 사후검증 결과 즉시회상의 경우 과제학습형 운동집단과 통제집단에서 집단 내 시간에 따른 유의차가 나타났으며, 지연회상의 경우 과제학습형 운동집단에서만 집단 내 시간에 따른 유의차가 나타났으나, 유의한 그룹 간 차이 및 시간과 그룹 간의 상호작용효과는 나타나지 않았다. 이러한 결과는 운동 유형 및 운동 강도보다

는 운동중재 기간의 부족에서 원인을 찾을 수 있을 것으로 생각된다. 향후 건강한 중년층을 대상으로 장기간의 효과를 연구하거나 단기간 고강도 운동 등의 다양한 연구설계를 통한 운동 효과를 연구할 필요가 있다.

V. Conclusions and Implications

이 연구는 유형별 운동 프로그램의 1회성 운동 중재 및 4주 간 운동 중재가 중년 여성의 혈중 BDNF 농도 및 인지 기능에 어떠한 영향을 미치는지를 알아봄으로써 중년 여성의 인지 기능 감소에 대한 효과적인 운동 방법의 기초 자료를 제공하기 위한 것으로, 결론은 다음과 같다..

첫째, 건강한 중년 여성을 대상으로 운동 중재 시 1회성 운동의 경우 중강도의 운동은 운동 유형에 관계없이 혈중 BDNF 농도에 영향을 미치지 않았지만, 단어학습검사에서는 중강도의 과제학습형 운동이 긍정적인 영향을 미친 것으로 나타났다.

둘째, 4주 간의 지속적인 중강도 운동은 유형에 관계없이 안정 시 혈중 BDNF 농도를 변화시키지 않았으며, 단어기억검사의 수행력 증가에 기여하지 않았다.

건강한 중년 여성의 인지 기능 관련 변인의 긍정적인 변화를 위해서는 중강도 이상의 운동 강도와 보다 장기간의 운동 기간을 설정하고, 관련 변인을 다양화하여 연구를 설계할 필요가 있을 것으로 사료된다.

References

- Babaei, P., Damirchi, A., Mehdipoor, M., & Tehrani, B. S. (2014). Long term habitual exercise is associated with lower resting level of serum BDNF. *Neuroscience letters*, 566, 304-308.
- Bach-Y-Rita, P., Collins, C. C., Saunders, F. A., White, B., & Scadden, L. (1969). Vision substitution by tactile image projection. *Nature*, 221, 963-964.
- Bach y Rita, P. (1967). Sensory plasticity. *Acta Neurologica Scandinavica*, 43(4), 417-426.
- Cho, W. J. (2015). Influence of erythropoiesis factors, BDNF, cognitive function and working memory by intensity aerobic exercise in middle aged women. *Korean Journal of Physical Education*, 54(1), 553-566.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Raz, N., Webb, A. G., Cohen, N. J., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 58(2), M176-M180.
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., White, S. M. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 3017-3022.
- Eriksson, P. S., Perfilieva, E., Björk-Eriksson, T., Alborn, A. M., Nordborg, C., Peterson, D. A., & Gage, F. H. (1998). Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine*, 4(11), 1313-1317.
- Ferris, L. T., Williams, J. S., & Shen, C. L. (2007). The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), 728-734.
- Gomez Pinilla, F., Vaynman, S., & Ying, Z. (2008). Brain derived neurotrophic factor functions as a metabotrophin to mediate the effects of exercise on cognition. *European Journal of Neuroscience*, 28(11), 2278-2287.
- Griffin, É. W., Mullally, S., Foley, C., Warmington, S. A., O'Mara, S. M., & Kelly, Á. M. (2011). Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of young adult males. *Physiology & Behavior*, 104(5), 934-941.
- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (2015). *Essentials of strength training and conditioning*(4th Edition): Human Kinetics.

- Jeon, Y. K., Kim, J. H., & Choi, J. I. (2013). The change of brain-derived neurotrophic factor (BDNF), insulin-like growth factor-1(IGF-1) and working-memory in adolescents by aerobic exercise intensity for 12 weeks. *Korean Journal of Physical Education*, 52(5), 753-763.
- Johnston, M. V. (2009). Plasticity in the developing brain: Implications for rehabilitation. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 15(2), 94-101.
- Karvonen, M. J., Kentala, E., Muatala, O., et al.(1957). The effects of training on heart rate: A longitudinal study. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn*, 35(3), 307-315.
- Klintsova, A. Y., Dickson, E., Yoshida, R., & Greenough, W. T. (2004). Altered expression of BDNF and its high-affinity receptor TrkB in response to complex motor learning and moderate exercise. *Brain Research*, 1028(1), 92-104.
- Knaepen, K., Goekint, M., Heyman, E. M., & Meeusen, R. (2010). Neuroplasticity: Exercise-Induced Response of Peripheral Brain-Derived Neurotrophic Factor. *Sports Medicine*, 40(9), 765-801.
- McMorris, T. (2015). *Exercise-Cognition Interaction: Neuroscience Perspectives*. Elsevier Science.
- Piepmeyer, A. T., & Etnier, J. L. (2015). Brain-derived neurotrophic factor(BDNF) as a potential mechanism of the effects of acute exercise on cognitive performance. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 14-23.
- Suzuki, T., Shimada, H., Makizako, H., Doi, T., Yoshida, D., Ito, K., Kato, T. (2013). A randomized controlled trial of multicomponent exercise in older adults with mild cognitive impairment. *PloS One*, 8(4), e61483.
- ten Brinke, L. F., Bolandzadeh, N., Nagamatsu, L. S., Hsu, C. L., Davis, J. C., Miran-Khan, K., & Liu-Ambrose, T. (2015). Aerobic exercise increases hippocampal volume in older women with probable mild cognitive impairment: a 6-month randomized controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 49(4), 248-254.
- Tsai, C. L., Chen, F. C., Pan, C. Y., Wang, C. H., Huang, T. H., & Chen, T. C. (2014). Impact of acute aerobic exercise and cardiorespiratory fitness on visuospatial attention performance and serum BDNF levels. *Psychoneuroendocrinology*, 41, 121-131.
- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., Floel, A. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 87(4), 597-609.
- WOO, M. J. (2010). The relationship between exercise and cognition: Literature review of brain studies. *Korean Journal of Physical Education*, 49(2), 133-146.
- Zoladz, J., Pilc, A., Majerczak, J., Grandys, M., Zapart-Bukowska, J., & Duda, K. (2008). Endurance training increases plasma brain-derived neurotrophic factor concentration in young healthy men. *J Physiol Pharmacol*, 59(Suppl 7), 119-132.

[저자의 소속과 직위]

김유범 : 성원중학교, 교사, 제1저자

김경래 : 한국교원대학교, 교수, 교신저자

박성태 : 서원대학교, 교수, 공동저자