

16주간의 태권도 프로그램이 중년 비만 여성의 뇌신경성장인자 및 인지기능에 미치는 영향

하민성^{1,*} · 노희태² · 박해찬³ · 조수연^{4,†}

¹츠쿠바대학교 건강스포츠과학과, 연구원

²동아대학교 체육학과, 조교수

³국군체육부대, 재활운동처방관

⁴연세대학교 체육학과, 강사

(2020년 3월 30일 접수: 2020년 4월 29일 수정: 2020년 4월 29일 채택)

The Effects of Regular Taekwondo Exercise on Brain wave activation and Neurotrophic Factors in Undergraduate male students

Min-Seong Ha^{1,*} · Hee-Tae Roh² · Hae-Chan Park³ · Su-Youn Cho^{4,†}

¹Laboratory of Exercise Biochemistry and Neuroendocrinology, Faculty of Health and Sports, University of Tsukuba, Japan

²Department of Physical Education, College of Arts and Physical Education, Dong-A University, Korea

³Department of Rehabilitation, Korea Armed Forces Athletic Corps

⁴Department of Physical Education, Yonsei University, Korea

(Received March 30, 2020; Revised April 29, 2020; Accepted April 29, 2020)

요 약 : 본 연구는 규칙적인 태권도 트레이닝이 비만 중년 여성의 뇌신경성장인자 및 인지기능에 미치는 영향을 알아보는데 목적이 있었다. 본 연구를 위하여 중년 비만 여성 33명이 연구대상자로 선정되었으며, 연구대상자들은 태권도 그룹(TG, $n=15$)과 대조그룹(CG, $n=18$)에 무선 배정되었다. 태권도 그룹은 16주간 일주일에 5번 태권도 트레이닝을 실시하였으며, 두 그룹 모두 트레이닝 전과 후 각각 brain-derived neurotrophic factor(BDNF), vascular endothelial growth factor(VEGF), insulin-like growth factor-1(IGF-1) 농도 검사와 Stroop Color and Word test를 실시하였다. 연구 결과 태권도 그룹의 BDNF와 IGF-1이 트레이닝 후 유의하게 증가한($p<.05$) 반면 VEGF와 Stroop Color and Word Test 결과는 유의한 차이가 나타나지 않아 규칙적인 태권도 트레이닝이 비만 중년 여성의 뇌신경영양인자에는 긍정적이지만 뇌 인지기능에는 영향이 없는 것으로 나타났다.

주제어 : 태권도, 뇌신경영양인자, 인지, 중년, 비만

†Corresponding author
(E-mail: csy@yonsei.ac.kr)

Abstract : The purpose of this study was to investigate the effects of regular taekwondo training on neurotrophic factors and cognitive function in obese middle-aged women. Thirty-three middle-aged women with obesity were selected for this study and randomly assigned into a control group(CG, $n=18$) and an taekwondo group(TG, $n=15$). The TG performed taekwondo training 5 times weekly for 16 weeks, while the CG did not exercise training. Serum brain-derived neurotrophic factor(BDNF), vascular endothelial growth factor(VEGF), and insulin-like growth factor-1(IGF-1) levels were analyzed and Stroop Color and Word tests were performed before and after the intervention. The serum BDNF and IGF-1 levels were significantly increased in the TG after the intervention($p<.05$). On the other hand, no statistically significant differences were found in the serum VEGF levels, or in the Stroop Color and Word Test scores($p>.05$). These results suggest that regular taekwondo training may be affects levels of peripheral neurotrophic factors but not cognitive function in obese middle-aged women.

Keywords : taekwondo, neurotrophic factors, cognition, middle-aged women, obesity

1. 서론

규칙적인 운동은 세포증식 및 성장 그리고 신경 세포의 발달 및 기능 촉진과 관련된 단백질을 상향 조절함으로써 뇌기능을 향상시킬 수 있다 [1,2]. 뇌기능 향상에 대한 운동의 효과는 동물과 사람을 대상으로 실시된 여러 연구들에서 규칙적인 운동이 Brain-derived neurotrophic factor (BDNF), vascular endothelial growth factor (VEGF), 그리고 insulin-like growth factor-1(IGF-1)와 같은 neurotrophin의 긍정적인 변화를 유발한 결과들을 통해 입증되었다[3,4]. BDNF는 뇌가소성(neuroplasticity)과 신경생성(neurogenesis)에 중요한 기능을 하는 신경영양인자(neurotrophin)로 뇌 전체 특히 해마에 고도로 집중 분포되어 신경의 생존 및 성장 그리고 시냅스 가소성을 지원하고 기억과 학습과 같은 인지 과정에 중요한 역할을 한다고 알려져 왔다[5]. 또한 최근의 연구들에서는 BDNF가 에너지 대사와의 관련이 있으며 저하된 BDNF가 비만을 유발한다고 보고하면서 비만과 인지기능과의 관련 가능성을 제시하였다[6]. BDNF와 함께 neurotrophin으로서 중요한 역할을 하는 VEGF는 평활근, 골격근, 내피 세포, 대식세포 및 교세포를 포함하는 다수의 세포 및 조직에서 발현되어 혈관의 생성 및 성장을 촉진시키며, IGF-I는 에너지 대사 및 항상성을 조절하고 시냅스 가소성, 시냅스 밀도, 신경 전달 및 신경 발생과 관련된 주요 성장 인자로서 혈관 유지 및 재형성에 중요하게 관여한

다고 알려져 있다[7]. 이러한 가운데 최근 몇몇 연구들은 태권도 트레이닝이 뇌기능 향상에 효과적인 운동일 수 있음을 제안하였다[8,9].

태권도의 기본 동작 및 폼새는 팔과 다리를 비롯한 전신 근육을 이용하도록 구성되어 있으며, 다양한 기술과 동작을 연속적 그리고 반복적으로 실시하기 때문에 심폐지구력, 근력, 유연성과 같은 건강 체력 뿐 아니라 민첩성, 순발력, 협응력 등 대부분의 체력 요소를 증가시킬 수 있다[10]. 특히 폼새는 지르기, 치기, 막기, 차기 등의 기본 동작과 기본동작을 연결한 일련의 패턴으로 구성되어 운동하는 동안 여러 가지 기술이나 동작이 반복되고 전신 관절과 근육이 복잡하고 빠르게 협응하며 이루어지기 때문에 빠르고 정확한 판단이 필요하다. 또한 동작을 외워야 하는 과제가 주어지고 이러한 과제를 수행하면서 집중력과 회상이 이뤄지기 때문에 뇌와 신경의 조화로운 능력이 요구된다[11,12]. 이와 같은 태권도의 동작과 훈련 특성이 신체적, 인지적 발달을 동시에 충족시킬 수 있다고 보고되고 있지만[13] 이전의 연구들은 대부분 초등학교 등 성장기 어린이들을 대상으로 실시되었으며, 태권도의 인지기능 향상 효과에 대한 생리학적인 기전을 제시하고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 비만 중년 여성을 대상으로 장기간의 태권도 훈련이 체구성과 뇌신경영양인자인 BDNF, VEGF, IGF-1의 변화에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 이를 통해 성인의 비만예방 및 인지기능 향상과 나아가 노화로 인

한 뇌인지 기능 저하 예방을 위한 운동으로서 태권도의 가치를 과학적으로 검증하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상

본 연구에서는 의학적으로 특별한 질환이 없고, 최근 6개월간 계획된 운동이나 식이조절의 경험이 없으며 체지방율 28% 이상인 만 50세 이상~60세 이하 여성 33명을 연구대상자로 선정하였다. 선정된 33명의 대상자들은 태권도 그룹(15명)과 컨트롤 그룹(18명)에 각각 무작위로 배정되었으며, 대상자들에게 실험의 목적과 방법 및 절차에 대하여 상세히 설명하고, 본인이 원하지 않을 경우 언제든지 실험 참가를 중단해도 좋다고 하는 등의 제반 사항들이 포함되어 있는 실험 동의서를 받은 후 프로그램이 진행되었다. 실험 대상자의 신체적 특성은 <Table 1>과 같다.

2.2. 실험설계

본 연구의 대상자들은 태권도 프로그램을 시작하기 전 신장, 체중, 체지방율 등의 기본검사와 함께 혈액 채혈 및 인지기능 검사를 실시하였다. 사전 검사 후 16주간 태권도 그룹은 16주 태권도 프로그램을, 컨트롤 그룹은 일상생활을 유지하였으며, 태권도 프로그램 종료 후 모든 연구대상자들은 사전 검사와 동일한 방법으로 사후 검사를 실시하였다.

2.2.1 기본검사

모든 실험 대상자는 기본검사로 신장, 체중, 체

지방율을 측정하였으며, 신장은 반자동신장측정계인 HD(STDK社, Japan)를, 체중과 체지방율은 Inbody520(Biospace社, Korea)을 이용하여 금속 품들을 제거한 후 안정시에 측정하였다.

2.2.2. 인지기능 검사

인지 기능은 스트룹 색채-단어 검사(Stroop color-word test) 성인버전을 이용하였다. 검사는 단어 읽기 조건(Word), 색채 읽기 조건(Color), 색채-단어 읽기 조건(Color-word)에 대한 평가가 실시되었다.

2.2.3. 태권도 프로그램

태권도 프로그램은 2주간의 태권도 적응훈련 후 실시되었으며, 총 16주간 주 5회의 빈도로 1회 60분간 최대심박수의 50~80% 강도로 전문 지도자의 시범과 지도에 따라 진행되었다. 태권도 일일 프로그램은 <Table 2>와 같다.

2.2.4. 혈액 채취 및 분석방법

채혈은 8시간 공복 후 안정 상태에서 실시되었으며, 21gauge needle과 plain vacutainer tube을 이용하여 전완정맥에서 5ml의 혈액을 채취하였다. 채취된 혈액은 15~20분간 2,500~3,000rpm의 속도로 원심 분리한 후 혈청(serum)을 분리하였으며, 분리된 혈청은 혈중 변인들(BDNF, VEGF, IGF-1)의 분석시까지 냉동(-70°C) 보관하였다. 혈청 BDNF, VEGF, IGF-1 농도 분석은 sandwich enzyme-linked immunosorbent assay(ELISA) 방법을 이용하여 분석하였으며, BDNF는 Human BDNF Kit(#DBD00;R&D Systems, Minneapolis, MN, USA)를 VEGF는

Table 1. Subject characteristics

Variables/Group	Control (n=18)	TKD (n=15)	p-value
Age (years)	57.72±3.66	56.33±3.40	.271
Height (cm)	157.89±3.95	158.20±4.63	.836
Weight (kg)	62.57±6.69	63.39±5.31	.703
BMI (kg/m ²)	25.05±1.93	25.33±2.05	.691
body fat (%)	34.19±4.11	35.07±4.85	.577
muscle mass (kg)	20.71±2.32	21.74±2.64	.240

Data are presented as mean ± standard deviation. p-value was analyzed by independent t-test. TKD: taekwondo

Table 2. Taekwondo Program

Classification	Time(min)	Contents	
Warm-up	10	Stretching	
Main exercise	TKD basic movement	5	Stance, Block, Punch, Strike, Thrust
	Poomsae	10	Taegeuk 1-4 chapter
	Kicking	10	Front kick, Side kick, Round house kick, Downward kick, Step(forward, side, backward), Practice mitt kicking
	Taekwon gymnastics	15	2 music-based gymnastics
Cool-down	10	Stretching	

Table 3. The changes in body composition

Variables/Group	Control (<i>n</i> =18)		TKD (<i>n</i> =15)		Time × Group	
	Baseline	16 Weeks	Baseline	16 Weeks	<i>F</i>	<i>p</i>
Weigh (kg)	62.57±6.69	62.46±6.09	63.39±5.31	59.63±4.26 [#]	13.217	.001*
BMI(kg/m ²)	25.05±1.93	25.03±1.79	25.33±2.05	23.85±1.78 [#]	13.565	.001*
body fat(%)	34.19±4.11	34.47±3.90	35.07±4.85	32.26±5.40 [#]	18.381	.000*
muscle mass(kg)	20.71±2.32	20.36±1.95	21.74±2.64	20.97±2.17	2.391	.132

Data are presented as mean ± standard deviation. TKD, taekwondo. [#] Compared with baseline within the group(*p* <0.05). * *p* <0.05.

Human VEGF Kit(#DVE00; R&D Systems, Minneapolis, MN, USA)를, IGF-1은 Human IGF-I Duoset(#DY291; R&D Systems, Minneapolis, MN, USA)를 사용하여 각각 microplate reader(E max pressio, Molecular device社, USA)를 이용하여 흡광도 450nm에서 정량화하였다.

2.3. 자료처리 방법

본 연구의 결과는 SPSS 통계 패키지 21.0을 이용하여 기술통계량을 산출하였다. 태권도 그룹과 컨트롤 그룹 각각의 처치에 따른 종속변인들의 차이를 알아보기 위하여 전후를 반복으로 하는 이원 변량분산분석(Two-way ANOVA)을 수행하였으며, 상호작용 효과가 유의한 경우에 대해서는 대응표본 t 검정과 독립표본 t 검증을 이용하여 주 효과를 분석하였다. 통계적 유의수준은 *p*<.05로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 신체적 특성

16주간의 태권도 훈련에 따른 연구대상자의 신체적 특성 및 변화는 <Table 3>과 같다. 트레이닝 전과 후 그룹간 체중, BMI, 체지방율에 대한 two-way repeated measures ANOVA 결과 트레이닝 전후와 그룹간 상호작용 효과가 나타났다(*p*<.05). 이에 대한 주효과 분석 결과 태권도 그룹에서 트레이닝 전에 비해 트레이닝 후 체중, BMI, 체지방율이 유의하게 감소한 것으로 나타났다(*p*<.05). ACSM에서는 체중감량을 위해 주당 225분을 초과하는 운동을 권고하고 있는 가운데, 본 연구에서 실시한 태권도 프로그램은 최대심박수 50~80%의 강도로 1회 60분, 주당 5회 실시되어 ACSM의 체중감량을 위한 운동량을 충족시켰다고 생각된다. 또한 태권도는 10MET의 운동 강도가 요구되는 격렬한 신체활동으로 분류되며 [14], 유산소 능력과 상, 하체의 근력 및 민첩성, 힘, 속도, 균형, 유연성, 조정력이 요구되는 운동

의 특성으로 인해 다양한 체력 요소를 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 체중감량을 위한 복합운동으로서도 효과적이라고 판단된다.

3.2. 신경성장인자의 변화

16주간의 태권도 트레이닝에 따른 혈중 뇌신경성장인자의 변화는 <Table 4>와 같다. 16주간의 태권도 트레이닝에 따른 혈중 뇌신경성장인자에 대한 반복측정 이원분량분석 결과 혈청 BDNF와 IGF-1 각각 그룹과 전·후간 상호작용효과가 나타났다($p < .05$). 이에 대한 주 효과 분석 결과 태권도 그룹에서 트레이닝 전에 비해 트레이닝 후 BDNF와 IGF-1 농도가 유의하게 증가한 것으로 나타나($p < .05$) 장기간의 태권도 트레이닝은 비만 중년여성의 신경성장인자를 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

비만이 건강에 미치는 부정적인 영향들이 지속적으로 보고되고 있는 가운데 최근의 연구들에서는 비만이 신경가소성(neuroplasticity)과 신경생성(neurogenesis)에 중요한 기능을 하는 BDNF와 같은 신경영양인자를 감소시키고 뇌혈관 및 혈액-뇌장벽(blood-brain barrier, BBB)을 손상시킴으로써 뇌의 구조 및 기능적 변화를 일으켜 인지기능의 저하 및 인지장애를 유발할 수 있다고 보고하고 있다[15]. 또한 비만으로 인해 감소된 BDNF는 포만감을 유발하여 비만의 1차적 원인인 칼로리 섭취를 증가시킴으로써 에너지 항상성에 부정적인 영향을 미치고 비만을 더욱 악화시키는 주요한 요인이 되는 것으로 알려지면서[6] 비만과 BDNF의 관련성에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 최근의 연구들에서는 규칙적인 운동은 체구성에 긍정적인 변화를 통해 비만을 개선함과 동시에 비만으로 인한 산화적 스트레스를 낮춤으로써 혈청 BDNF의 수준을 증가시킬 수 있다고

보고하였다[16]. 이와 같은 연구결과들은 본 연구에서 나타난 16주간의 태권도 훈련에 따른 체중 및 체지방 감소가 BDNF 증가와 관련이 있을 수 있음을 시사하고 있다. 이와 같은 BDNF의 증가와 함께 16주간의 태권도 훈련은 IGF-1의 농도도 증가시킨 것으로 나타났다.

뇌 신경가소성에 영향을 주는 신경영양인자인 IGF-1은 해마에서 높은 수준으로 분비되며, 시냅스 생성, 신경 생성, 혈관 신생, 시냅스 가소성과 학습 및 기억과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 사람과 동물을 대상으로 한 여러 연구들은 운동이 노화로 인한 뇌기능 저하 예방에 효과적임을 입증하면서 이러한 효과는 운동으로 인한 BDNF와 IGF-1의 증가와 이들 물질 간의 밀접한 상호의존성 때문이라고 보고하였다[17]. 즉, 운동은 IGF-1을 증가시키는데 이는 내피세포의 성장을 자극하여 해마에서 BDNF를 상승시키는 산화질소합성효소(nitric oxide synthase, eNOS)의 발현을 증가시키고 이로 인해 해마의 BDNF가 상향 조절됨으로써 양측해마회(bilateral parahippocampal gyrus)와 중간 측두회(middle temporal gyrus)의 기능적 연결성이 증가된다. 또한 증가된 BDNF는 시냅스형성(synaptogenesis)과 수상돌기가시밀도(dendritic spine density)를 향상시켜, 장기강화(long-term potentiation; LTP) 형태의 뉴런과 시냅스가소성의 연결력을 상승시켜 뇌인지기능에 긍정적인 영향을 줄 수 있다. Carro와 그의 동료들은[1] 운동을 통해 증가된 BDNF와 IGF-1이 밀접하게 관련이 있으며, 동물을 대상으로 말초혈관에 주입한 IGF-1이 BDNF의 발현을 증가시켰다고 보고하며 BDNF와 IGF-1의 관련성을 입증하였으며, Cho & Roh[8]은 노인 여성을 대상으로 16주간의 태권도 트레이닝이 BDNF와 IGF-1을 증가시켰다고

Table 4. The changes in the neurotrophic factors

Variables/Group	Control (<i>n</i> =18)		TKD (<i>n</i> =15)		Time × Group	
	Baseline	16 Weeks	Baseline	16 Weeks	<i>F</i>	<i>p</i>
BDNF(ng/mL)	23.79±6.46	23.64±6.54	24.92±8.25	26.83±8.40 [#]	5.812	.022*
VEGF(pg/mL)	159.22±41.22	158.64±43.26	162.57±49.13	170.67±48.59	2.560	.120
IGF-1(pg/mL)	301.84±78.25	294.17±73.65	308.33±83.50	322.03±82.57 [#]	16.818	.000*

Data are presented as mean ± standard deviation. TKD, taekwondo. [#] Compared with baseline within the group($p < 0.05$). * $p < 0.05$.

보고하여 본 연구를 뒷받침 하고 있다.

한편 본 연구에서 16주간의 태권도 트레이닝이 BDNF와 IGF-1을 증가시킨 반면 VEGF에서는 변화가 없는 것으로 나타났다. VEGF은 BDNF, IGF-1과 함께 대표적인 신경영양인자로 Izzicupo 과 그의 동료들[7]은 활동적인 움직임에 의해 VEGF이 골격근에서 혈류로 방출되는데 운동 강도 보다는 운동 중 동원되는 근육의 양이 많을수록 방출이 더욱 크게 유도될 수 있다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서 실시된 태권도 훈련이 VEGF에 영향을 미치지 못한 것은 태권도가 복합운동의 형태를 띠고 있긴 하지만 전신의 근육을 사용하는 근력 운동에 비해 적은 근육이 동원되었으며, 유산소 운동의 특성이 조금 더 강했던 것이 원인이었을 것으로 추정된다. 하지만 운동 형태 외에도 VEGF에 영향을 미칠 수 있다고 알려진 식이, 스트레스 및 생활습관 요소 등 다양한 요인들과의 관련성도 배제할 수 없어 추후 다양한 생활환경 조건에서의 연구가 필요하다고 생각된다.

3.3. 인지기능의 변화

16주간의 태권도 트레이닝에 따른 인지기능변화를 알아보기 위하여 실시된 스트룹 색채-단어 검사 결과는 <Table 5>와 같다, 스트룹 색채 단어 검사에 대한 반복측정 이원변량분석 결과 단어(word), 색채(color), 색채-단어(color-word) 검사 모두 전,후 간 유의한 차이가 나타났으나 ($p<.05$), 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 이는 16주간의 태권도 트레이닝이 인지 기능의 변화를 유도하지 못하였음을 시사하는 결과이다. 그러나 혈중 BDNF 농도는 대뇌 피질의 BDNF 수준과 상관성이 매우 높음이 증명[18]되었으며, 인간을 대상으로 운동에 따른 뇌 인지 기능의 변화를 유

도할 수 있는 주요 지표로 활용되고 있다[16]. 비록 스트룹 색채-단어 검사가 인지 간섭을 억제하는 능력을 평가하기 위해 광범위하게 사용되는 신경심리 검사[19]로 운동에 의한 인지 기능의 변화를 검증하기 위한 도구로 사용되고 있지만 [8,20], 추후 연구에서는 뇌의 구조적/기능적 변화를 보다 직접적으로 평가할 수 있는 비침습적 영상의학 기법과 함께 인지 기능의 변화를 평가해야 될 필요성이 있다고 판단된다.

4. 결론

본 연구는 비만한 중년 여성을 대상으로 장기간의 태권도 훈련이 체구성과 뇌신경영양인자인 BDNF, VEGF, IGF-1 그리고 뇌인지기능의 변화에 미치는 영향을 알아보는데 목적이 있었다. 본 연구결과 장기간의 태권도 훈련은 비만인의 체구성에 긍정적인 변화를 유발할 수 있으며, 뇌신경영양인자를 증가시키는데 효과적인 것으로 생각된다. 그러나 태권도를 통한 신경영양인자의 긍정적 변화가 뇌 인지기능에 직접적으로 영향을 미치는 것은 명확하지 않으며, 추후 연구에서는 뇌의 구조적/기능적 변화를 검증할 수 있는 보다 과학적인 평가가 이뤄져야 할 것이라고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2015S1A5B5A02015262)

Table 5. The changes in the Stroop tests

Variables/Group	Control ($n=18$)		TKD ($n=15$)		Time \times Group	
	Baseline	16 Weeks	Baseline	16 Weeks	<i>F</i>	<i>p</i>
Word(score)	57.11 \pm 8.04	58.39 \pm 7.40	58.40 \pm 9.32	60.67 \pm 7.95	1.584	.218
Color(score)	57.28 \pm 8.25	58.22 \pm 8.38	59.20 \pm 9.27	61.33 \pm 7.72	2.660	.113
Color-Word(score)	57.50 \pm 8.40	59.06 \pm 8.77	59.80 \pm 9.56	62.27 \pm 8.42	2.021	.165

Data are presented as mean \pm standard deviation. TKD, taekwondo.

References

1. E. Carro, A. Nuñez, S. Busiguina, I. J. Torres-Aleman, "Circulating insulin-like growth factor I mediates effects of exercise on the brain", *J Neurosci*, Vol.20, No.8 pp. 2926-33, (2000).
2. M. Bibel, Y. A. Barde, "Neurotrophins: key regulators of cell fate and cell shape in the vertebrate nervous system", *Genes Dev*, Vol.14, No.23, pp.2919-37, (2000).
3. A. Maass, S. Düzel, T. Brigadski, M. Goerke, A. Becke, U. Sobieray, K. Neumann, M. Lövdén, U. Lindenberger, L. Bäckman, R. Braun-Dullaeus, D. Ahrens, H. J. Heinze, N. G. Müller, V. Lessmann, M. Sendtner, E. Düzel, "Relationships of peripheral IGF-1, VEGF and BDNF levels to exercise-related changes in memory, hippocampal perfusion and volumes in older adults", *Neuroimage*, Vol.1, No.131, pp.142-154, (2016).
4. P. D. Loprinzi, E. Frith, "A brief primer on the mediational role of BDNF in the exercise-memory link", *Clin Physiol Funct Imaging*, Vol.39, No.1, pp.9-14, (2019).
5. P. Komulainen, M. Pedersen, T. Hanninen, H. Bruunsgaard, T. A. Lakka, M. Kivipelto, "BDNF is a novel marker of cognitive function in ageing women: The DR's EXTRA Study", *Neurobiol Learn Mem*, Vol.90, No.4, pp.596-603, (2008).
6. T. Nakagawa, Y. Ogawa, K. Ebihara, M., Yamanaka, A. Tsuchida, M. Taiji, "Anti-obesity and anti-diabetic effects of brain-derived neurotrophic factor in rodent models of leptin resistance" *Int J Obes Relat Metab Disord*, Vol.27, No.5, pp.557-565, (2003).
7. P. Izzicupo, M. A. D'Amico, A. Di Blasio, G. Napolitano, A. Di Baldassarre, B. Ghinassi, "Nordic walking increases circulating VEGF more than traditional walking training in postmenopause", *Climacteric*, Vol.20, No.6, pp.533-539, (2017).
8. S. Y. Cho, H. T. Roh, "Taekwondo Enhances Cognitive Function as a Result of Increased Neurotrophic Growth Factors in Elderly Women", *Int J Environ Res Public Health*, Vol.16, No.6, pii: E962, (2019).
9. Y. J. Kim, E. J. Cha, S. M. Kim, K. D. Kang, D. H. Han, "The Effects of Taekwondo Training on Brain Connectivity and Body Intelligence", *Psychiatry Investig*, Vol.12, No.3, pp.335-40, (2015).
10. J. H. Khil, S. B. Kim, "The Effects of Taekwondo Exercise Programs on Body Composition and Bone Mineral Density in Obese Adult Women", *Taekwondo Science*, Vol.3, No.1, pp.23-33, (2010)
11. kukkiwon, "The Textbook of Taekwondo Poomsae", Osung Publishing House, pp.277, Seoul, (2008).
12. B. W. Kim, J. R. Kim, "Taekwondo compendium", Seolim publishing Company, Seoul, (1985).
13. K. D. Lakes, T. Bryars, S. Sirisinahal, N. Salim, S. Arastoo, N. Emmerson, D. Kang, L. Shim, D. Wong, C. J. Kang, "The Healthy for Life Taekwondo Pilot Study: A Preliminary Evaluation of Effects on Executive Function and BMI, Feasibility, and Acceptability", *Ment Health Phys Act*, Vol.6, No.3, pp.181-188, (2013).
14. B. E. Ainsworth, W. L. Haskell, M. C. Whitt, M. L. Irwin, A. M. Swartz, S. J. Strath, W. L. O'Brien, D. R. J. Bassett, K. H. Schmitz, P. O. Emplaincourt, D. R. Jacobs, A. S. Jr Leon, "Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities", *Med Sci Sports Exerc*, Vol.32, No.9, pp.498-504, (2000).
15. T. Ayabe, R. Ohya, K. Kondo, Y. Ano, "Iso- α -acids, bitter components of beer, prevent obesity-induced cognitive decline", *Sci Rep*, Vol.19, No.8, pp.4760, (2018)
16. T. Huang, K. T. Larsen, M. Ried-Larsen, N. C. Møller, L. B. Andersen, "The effects of physical activity and exercise on

- brain-derived neurotrophic factor in healthy humans: A review”, *Scand J Med Sci Sports*, Vol.24, No.1, pp.1-10, (2014).
17. C. Engesser-Cesar, A. J. Anderson, C. W. Cotman, “Wheel running and fluoxetine antidepressant treatment have differential effects in the hippocampus and the spinal cord”, *Neuroscience*, Vol.9, No.144, pp.1033-1044, (2007).
 18. F. Karege, M. Schwald, M. Cisse, “Postnatal developmental profile of brain-derived neurotrophic factor in rat brain and platelets”, *Neurosci Lett*, Vol.328, No.3, pp.261-264, (2002).
 19. F. Scarpina, S. Tagini, “The Stroop Color and Word Test”, *Front Psychol*, Vol.8, No.557, (2017).
 20. H. T. Roh, S. Y. Cho, “Effects of Acute Exhaustive Exercise on Serum BDNF, IGF-1 Levels and Cognitive Function”, *Journal of Sport and Leisure Studies*, Vol.45, No.2, pp. 969-978, (2011).