

유산소 운동이 소아 및 청소년의 인지기능에 미치는 영향 : 문헌고찰

강경두¹⁾ · 조정환²⁾ · 한덕현³⁾

유타대학교 체육대학 운동 & 스포츠과학학부,¹⁾ 서울여자대학교 자연과학대학 체육학과,²⁾
중앙대학교 의과대학 정신건강의학과실³⁾

Effect of Aerobic Exercise on Cognitive Functions in Children and Adolescents : A Review

Kyong Doo Kang, Ph.D.¹⁾, Jung Hwan Cho, Ph.D.²⁾, and Doug Hyun Han, M.D., Ph.D.³⁾

¹⁾Department of Exercise and Sport Science, University of Utah, Salt Lake City, UT, USA

²⁾Department of Human Movement Science, Seoul Women's University, Seoul, Korea

³⁾Department of Psychiatry, Chung Ang University College of Medicine, Seoul, Korea

The purpose of this review was to investigate the relationship between aerobic exercise and cognitive function as well as synthesize the effect of aerobic exercise intervention studies centered on psychiatric symptoms associated with general cognitive deficit. Prospective studies on aerobic exercise and improvement of cognitive function were reviewed and synthesized. In addition, this literature review provides significant positive results on the relationship between aerobic exercise and general cognitive deficit associated with psychiatric symptoms. Review of this literature suggests that there is a positive relationship between participation in aerobic exercise and cognitive function. In this text, there are at least three general pathways by which aerobic exercise may facilitate executive function in children : 1) cognitive demands inherent in engaging in physical activity, 2) cognitive demands inherent in cooperation of complex motor tasks, and 3) physiological changes resulting from aerobic exercise. Another main finding of this review is that physical activity has a stronger influence on cognitive deficit, including attention-deficit hyperactivity disorder, depression, and anxiety. Development of cognitive function is the most important factor for children and youth. Therefore, future research should prove relationship between physical activity and cognitive function using a more scientific and quantitative approach design.

KEY WORDS : Physical Activity · Aerobic Exercise · Cognitive Function · Children and Youth.

서 론

최근까지 신체활동 혹은 운동이 인지기능향상에 순기능적 역할을 한다는 다양한 연구들이 보고되고 있다.¹⁻³⁾ Chu 등¹⁾은 1268명의 70세 노인의 8년 추적연구에서 신체활동이 단축형정신상태 설문지(Short Portable Mental Status Questionnaire)로 평가된 인지기능의 향상과 관련이 있다고 보고

하였다. 신체활동은 골격근 수축으로 야기되는 신체의 모든 움직임으로 정의되며, 여가활동, 가사에 필요한 노동 및 육체적 작업의 개념으로 알려져 있다. 또한, 신체활동에 비해 운동은 더욱 구조적, 계획적, 그리고 규칙적인 의미⁴⁾를 담고 있으며, 신체의 항상성 유지와 신진대사 활동에 순기능적 역할을 하고 있다.⁵⁾ 뿐만 아니라, 신체적 활동은 인간의 다양한 심리적 범주에 영향을 미치고 있다.

이 중 인지기능은 삶을 살아가는 데 외부 자극에 대한 대처와 목표와 전략에 맞는 행동들이 적절한지에 대한 기준이 될 수 있다.⁶⁾ 인지기능이란 충동, 지각, 흥미, 동기, 기억, 논리, 사고, 학습, 문제해결, 판단과 같은 지적 과정을 의미하며, 상황을 판단하고 정보를 처리하는 능력, 시간과 장소에 대한 지각 능력, 복잡한 자료를 구성하는 능력, 자극에 정확하게 반응하는 능력 등을 포함하고 있다.^{7,8)} 인지기능 역할을 담당하는 전두엽은 다른 뇌 영역에 비해 청소년기까지 신체적 성장과 동

Date received : April 21, 2015

Date of revision : June 8, 2015

Date accepted : June 9, 2015

Address for correspondence : Doug Hyun Han, M.D., Ph.D., Department of Psychiatry, Chung Ang University College of Medicine, 102 Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul 06973, Korea

Tel : +82.2-6299-3132, Fax : +82.2-6299-1114

E-mail : hduk70@gmail.com

본 연구는 보건복지부 보건의로 연구개발사업 주의력결핍과잉행동장애 중개연구(과제번호 A120013)의 지원으로 수행되었음.

시에 발전하는 것으로 알려져 있다.⁹⁾ 이러한 특성으로 인해 신체활동이 아동기 혹은 청소년기 성장에 매우 중요한 역할을 할 수 있다고 판단된다. 실제로 청소년과 아동의 신체활동은 인지기능 유지 및 향상에 긍정적 효과가 있다는 연구결과가 보고된 바 있다.^{10,11)}

하지만, 최근 Guthold 등¹²⁾은 13-15세(34개국) 아동 및 청소년의 신체활동량을 분석한 결과, 남학생의 23.8%와 여학생의 15.4%만이 중강도 이상의 신체활동을 충족하고 있는 것으로 나타났다. 반면, 우리나라 청소년의 경우, 하루 60분 주 5일 이상 신체활동을 실천하는 학생이 13.8%에 불과했다.¹³⁾ 신체활동이 부족하게 되면 체력저하 및 비만을 증가시킬 뿐만 아니라, 우울, 불안, 기억력 감소 등 뇌와 관련된 인지기능을 저하시키며,¹⁴⁾ 주의력결핍 과잉행동장애(attention-deficit hyperactivity disorder, ADHD),¹⁵⁾ 우울장애¹⁶⁾ 및 불안장애¹⁷⁾와 같은 정신의학적 증상의 발현에 영향을 준다. 또한, 규칙적인 신체활동이 알츠하이머 질환과 치매증상의 발병을 지연시킨다고 보고되고 있다.^{18,19)} 이는 소위 인지비축모델 가설(cognitive reserve hypothesis)로 설명되는데, 이는 본론에서 자세히 설명할 것이다.

다수 선행연구들은 인지기능 향상의 효과적인 운동 유형으로 유산소 운동을 보고하고 있다.²⁰⁻²³⁾ 유산소 운동은 뇌기능 활성화와 관련된 생리학적인 기전과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 구체적으로, 신경세포 생성(neurogenesis), 신경영양인자(brain-derived neurotrophic factor, BDNF)와 신경성장인자(nerve growth factor)의 증가, 세포사멸(apoptosis) 감소로 분류되고 있다.^{24,25)} 그러나 국내에서 시행된 신체활동과 인지기능에 관한 연구들은 주로 노인 중심의 결과들로 국한되어 있으며,^{26,27)} 아동 및 청소년 중심의 연구는 과학적 접근이 미비한 제한점을 가지고 있다.²⁸⁾ 따라서 본 연구에서는 정상 아동 및 청소년의 유산소 운동참여가 실행기능과 집중력을 중심으로 한 인지기능에 미치는 영향에 대한 문헌적 고찰을 하였다. 또한, 소아 청소년에서 가장 호발하는 주의력결핍과잉행동장애와 우울증을 중심으로 유산소 운동의 치료 보조 효과와 기전에 대해서 서술하고자 한다.

본 론

1. 유산소 운동과 실행기능

광범위한 운동 유형 중에 대부분의 연구들은 '유산소 운동(aerobic exercise)' 효과에 초점을 맞추었다. 또한 인지기능 중 운동의 효과를 보기 위해서 실행기능(executive function)을 선택하였다. 이와 같은 맥락에서 유산소 운동과 실행기능의 관련성을 통해 인지기능 향상 효과를 설명하고자 한다.

실행기능이란, 전전두엽(prefrontal cortex)이 담당하는 처리과정으로서 자신의 행동을 조절하는 자기조정(self-regulation)을 가능하게 할 수 있는 신경 심리학적 과정이다.²⁹⁾ 특히, 실행기능은 아동기의 인지적, 사회 정서적 발달에 중요한 역할을 한다.³⁰⁾ 또한 실행기능은 고기능적 기능³¹⁾이기 때문에 신체 활동이 단지 낮은 기능의 인지기능이 아닌 중등도 이상의 고기능적 인지기능을 향상시킨다는 것에 대한 증거가 될 수 있다.

전두엽을 포함하고 있는 신경회로는 집행기능의 핵심적인 기관이다.³²⁾ 운동능력, 언어, 감각기관, 집중력 등의 한 가지 기능만을 담당하고 있는 뇌 영역과 달리 전두엽 영역은 비교적 늦은 청소년기까지 그 발달이 이루어진다.⁹⁾ 이런 느린 발달 때문에 아동기 및 청소년기의 경험이 전두엽 발달에 영향을 미치게 되는 것이다. 즉, 실행기능은 단순한 하위 작동 기관들이 복잡하게 얽히고 조화를 이루어 목적 지향적 행동을 하게 만드는 복잡한 기능을 의미한다. 따라서 청소년기는 단순한 하위 기능을 즐길 뿐 아니라 이들 하위 기능이 모여 다중기능을 요구하는 다양한 경험이 중요시되는 것이다.

그 중 유산소 운동은 청소년의 실행기능 발달에 효과적이라고 할 수 있다. 다수 선행 연구에서 유산소 운동은 심혈관계 기능 향상과 정적 상관성이 있는 것으로 보고하고 있다.^{33,34)} 뿐만 아니라, 운동 강도에 따른 효과의 차이에서도 매우 흥미로운 결과들이 보고되었다. 중강도 유산소 운동은 청소년의 집행기능 향상에 효과적이며^{35,36)} 걷기와 같은 가벼운 유산소 운동 역시 실행기능 향상에 효과적이었다.³⁷⁾

최근 10년 동안 다수의 연구자들은 실행기능과 관련된 변인들에 대한 유산소 운동의 효과를 관찰하고자 하였다. 먼저 충동 조절과 유산소 운동의 관계를 연구한 Tomporowski 등³⁸⁾은 중강도 이상의 treadmill 걷기가 청소년(13-16세)의 충동 조절 능력과 정적 상관관계가 있다고 보고하였고, Chen 등³⁹⁾은 30분 정도의 규칙적인 조깅 참여가 아동(9-10세)의 충동성을 감소시켰다고 보고하였다.

한편, 집중력 저하와 유산소 운동의 관계를 연구한 Budde 등⁴⁰⁾은 가벼운 서킷운동과 조화운동(coordination exercise)이 청소년의 선택적 집중력을 향상시키는 데 효과적이었으며, Pontifex 등⁴¹⁾은 20분간의 일회성 유산소 운동이 일시적으로 학습 집중력을 향상시켰다고 하였다.

앞서 보고된 중재 연구들은 유산소 운동과 향상된 실행기능, 효율적인 뇌 기능 향상 간의 인과적 관계를 제시하고 있다. 더불어, 이와 같은 인과적 관계는 대상군의 나이와 실행기능의 하위 구성 성분이 결과에 중요한 요소가 된다는 것을 시사하고 있다.

2. 유산소 운동을 통한 실행기능의 변화

최근 들어, 의학 및 스포츠 과학영역에서 신체활동을 통한 인지기능 향상의 중요성을 인식하고 다양한 신체활동을 통해 인지능력의 특성과 영향에 대한 연구가 활발히 전개되고 있다. Best⁴²⁾는 유산소 운동이 실행기능 향상에 어떠한 과정으로 이루어지는가에 대하여 소개하였다. 첫 번째는 스포츠 경기에 참여하는 것 자체가 긍정적인 영향을 미치며, 전략을 수립하고 구체적인 계획을 세울 때 실행기능이 발전한다. ‘인지기능’적인 용어로 이를 바꾸자면 주어진 임무에 맞게 창조하고, 추적하며, 변형시키는 것이다. 한 예로, 비디오 게임 훈련이 실행능력을 발전시키는 과정이 이와 유사한 과정이라고 할 수 있다.⁴³⁾

두 번째는 복잡한 운동기능을 조화시키는 과정에 일어난다. 즉, 경기 흐름에 적절한 작은 운동 기술들을 조화시키는 과정에서 더욱 복잡하고 고기능적인 운동기능들이 발전하는 것을 의미한다. 비록, 단순한 기술들은 반복적인 연습을 통해 쉽게 학습될 수도 있지만, 복잡한 기술에 대한 학습은 스포츠 경기 중에 지각하는 개인적 운동 감각들이 더 효과적일 수 있다.⁴⁴⁾ 스포츠 경기에서 성공적인 수행에는 시공간적으로 정확한 판단을 돕는 주의집중력과 상황을 일관성 있게 예측할 수 있는 지적능력이 매우 중요한 역할을 한다.⁴⁵⁾ 이러한 관점에서 볼 때 청소년의 스포츠 참여는 인지기능과 관련된 신경 심리학적 기능에 순기능적 역할을 할 수 있을 것이라고 판단된다.

아동 혹은 청소년들이 신체활동에 참여할수록 운동감각이 더욱 증가한다. Cross 등⁴⁶⁾은 운동기술을 학습할 때, 운동과정상의 감각이 전두엽의 활성화와 관련이 있다는 것을 기능성 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI) 연구로 증명하였다. 복잡한 운동기능을 하는 동안 전전두엽(prefrontal cortex)이 활성화되면서 해마(hippocampus)와 소뇌(cerebellum)에서도 변화가 일어나게 된다. Diamond와 Lee⁴⁷⁾는 인지기능과 운동수행 모두 선택적 과정(selective processing)과 관련이 있으며 이로 인해 운동수행은 인지기능과 연결이 될 수밖에 없다고 주장하였다. 즉, 이들 뇌 부위가 운동에 의해 활성화 되었다는 이야기는 운동이 수행능력의 향상뿐 아니라, 집행기능의 예비 단계와 진행 단계 형성을 촉진하는 역할을 한다는 것을 의미한다.

특히, 고강도의 유산소 운동은 아동기와 청소년기뿐만 아니라 전 생애를 통해서도 인지기능의 향상에 지속적인 영향을 미친다.^{48,49)} 뇌 발달의 중요한 시기로 알려진 아동기에는 유산소 신체활동이 뇌의 전두엽과 두정엽의 활성화를 높이는 것으로 알려져 있으며, 이러한 결과는 규칙적인 신체활동이 인지기능에 효과적이라는 것과 관련된다.⁵⁰⁾

마지막으로, 반복적인 유산소 운동은 도파민과 노에피네프린과 같은 신경전달 물질의 생성을 촉진하게 되며, 학습과 기억을 향상시킨다.⁵¹⁾

프린과 같은 신경전달 물질의 생성을 촉진하게 되며, 학습과 기억을 향상시킨다.⁵¹⁾

3. 인지비축가설(Cognitive reserve hypothesis)

고위험군 인지기능 결핍과 관련된 유산소 운동 효과는 여러 가지 증상을 대상으로 보고되고 있다. 특히, 알츠하이머와 같은 고위험군에 속한 노인들의 운동효과는 더욱더 효과적이라는 결과가 보고되었다.^{52,53)} 이러한 결과는 인지기능 비축 가설(cognitive reserve hypothesis)로 설명이 되는데, 평소 건강한 인지 보유 상태보다는 인지기능이 저하될 위험에 처하게 될 때 신체활동이 인지기능 향상과 더욱 큰 정적인 관계가 나타난다.⁵⁴⁾ 즉, 유산소 운동의 효과가 크게 작용할수록, 고차원적 인지기능의 과제를 더욱 잘 수행할 수 있다는 증거가 될 수 있다.

노인에서의 유산소 운동에 따른 인지기능의 향상은 다수 연구에서 과학적 근거를 제시하고 있지만, 아동기에서는 아직 뚜렷한 근거를 제시하지 못하고 있다.⁵⁵⁾ 또한 소수의 선행 연구 중 아동의 신체 활동에 따른 인지기능의 향상은 정상 아이들에서보다는 ADHD, 주요 우울증(major depressive disorder), 자폐증(autism spectrum disorder) 등의 인지기능이 부족한 피험자를 중심으로 진행되었으며, 미약하나마 그 근거가 제시되고 있다. 본 연구에서는 ADHD 아동의 유산소 운동의 효과를 중심으로 서술하였다.

4. ADHD 아동과 유산소 운동

ADHD는 아동기에서 가장 흔히 보고되는 정신질환 중 하나로, 전 세계적으로 2-10% 정도의 유병률을 보이고 있는 장애다.⁵⁶⁾ 무엇보다도 ADHD의 주된 증상으로 과잉행동(hyperactivity) 및 충동성(impulsivity)이 나타나며, 학교 및 직장에서 조직화 능력의 결여, 충동조절의 어려움이 동반하는 부정적 특징을 가지고 있다.⁵⁷⁾

ADHD와 관련된 주된 뇌 부위는 배측 전두엽(dorsolateral prefrontal cortex)으로 주목되고 있다.⁵⁸⁾ 배측 전두엽은 인간의 운동, 인지기능 및 감정을 총괄하는 컨트롤 타워와 같은 역할을 하고 있다. 만약, 이 컨트롤 타워의 활성화가 떨어지게 된다면, 목적 지향적 행동을 위한 지속적 주의력, 조직화 능력, 충동성 등에 문제가 발생한다.⁵⁹⁾

ADHD 아동의 효과적인 중재방법은 약물치료^{29,60,61)}로 알려져 있으며, 가장 효과적으로 사용되는 약물은 메틸페니데이트(methylphenidate)와 암페타민(amphetamine)과 같은 중추신경 각성제이다.

하지만 최근 들어 약물에 반응을 보이지 않거나, 약물 부작용 때문에 약물을 사용할 수 없는 아동을 대상으로 새롭

고 다양한 치료들이 진행되고 있다. 이 중 하나로, 신체 활동, 조금 더 구체적으로는 운동 치료가 시도되고 있다.^{62,63} 특히, 유산소성 운동은 충동 억제능력 및 학업능력 향상,^{47,64} 과제 집중력 향상,⁶⁵⁻⁶⁸ 집행기능 향상¹⁰에 중요한 역할을 하고 있다.

유산소 운동 참여는 뇌신경 시냅스 사이에서 도파민과 노에피네프린을 증가시킨다.⁶⁹ 또한 이들 뇌 혈류와 신경전달물질의 증가는 혈관 생성을 늘리고, BDNF의 증가, 뇌 신경 가소성(neural plasticity)을 촉진하여 인지기능의 주요 부분을 담당하고 있는 뇌 피질의 두께를 증가시킨다.⁷⁰ 실제로, ADHD 아동의 유산소 운동(6주간) 효과를 기능성 자기공명 장치(fMRI)로 뇌의 활성화 변화를 관찰한 연구에서 오른쪽 전두엽과 측두엽 활성화의 뚜렷한 증가 추이가 나타났다.⁶³ 이는 유산소 운동이 인지기능 향상에 효과적인 중재방안일 뿐만 아니라 약물치료의 효과를 증진시킬 수 있다는 중요한 기반이 될 수 있다. 따라서 이들 두 곳의 뇌 부위가 운동에 의해 활성화 되었다는 이야기는 운동이 수행능력의 향상뿐 아니라, 집행기능의 예비 단계와 진행 단계 형성을 촉진하는 역할을 한다는 것을 의미한다.

5. 청소년 우울증과 유산소 운동

우울증은 다른 정신질환에 비해 지속적으로 증가하고 있으며, 평생 유병률은 6.7%로 2006년에 비해 약 20% 증가하였다. 특히 청소년 우울증에 대한 유병률은 2006년에 비해 73.9% 증가하였다.⁷¹ 우울증의 초기 치료에 중요하게 고려해야 할 점은 인지적 손상이다.⁷² 시간이 지남에 따라 우울증 증상의 정도가 심각해질 뿐 아니라, 항우울제 혹은 항불안제 약물에 대한 부작용을 일으키기 때문이다. 이러한 부작용들을 감소시키기 위해 일부 연구자들은 운동치료에 대한 필요성을 보고하였다.⁷³ 또한 청소년 우울증은 약물치료 후 다시 재발할 수 있는 확률이 높은 증상이기도 하다.⁷⁴ 하지만 규칙적인 운동은 우울증 재발 위험률도 감소시킬 수 있다.⁷⁵

실제로 Nabkasorn 등⁷⁶은 49명의 우울증 청소년을 대상으로 16주간 중강도 정도의 유산소 운동(조깅)을 진행하였다. 그 결과 전체적인 우울증 증상이 감소하였을 뿐 아니라, 기분상태와 연관된 코티졸과 에피네프린과 같은 호르몬의 수치도 감소하였다. 최근 Callister 등⁷⁷은 12명의 청소년 우울증 환자를 대상으로 12주간 유산소 운동을 실시한 결과, 우울증 증상이 유의하게 감소하였다고 보고하였다.

다수 연구에서 우울증 증상에 대한 유산소 운동 효과의 몇 가지 기전이 보고되었다. 첫째, 규칙적인 유산소 운동은 부신피질 자극 호르몬(adrenocorticotrophin), 코티솔(cortisol), 카테콜라민(catecholamine), 오피오이드 펩티드(opioid peptide), 사이토카인(cytokine)과 같은 생물학적 요인들에 긍정

적 변화를 유도한다.⁷⁸ 둘째, 유산소 운동은 중추신경시스템의 신경활성물질을 활성화시켜 기분상태를 향상시킨다.⁷⁹

하지만, 우울증 증상에 대한 유산소 운동 효과에 대한 소수 연구에서는 운동기간, 강도와 같은 운동설계에 제한점과 운동에 대한 동기나 기대와 같은 외적변수의 제한점을 가지고 있다.⁷⁶ 미래 연구에서는 이러한 제한점을 극복하기 위한 적절한 매뉴얼이 필요하다고 판단된다.

6. 연구의 제한점

본 연구의 가장 큰 제한점은 연구 자료의 접근성이다. 인지 기능 결핍과 관련된 다양한 증상에 대한 연구나 서적보다는 ADHD와 우울증이라는 특정 증상에 국한되어 서술하였다. 그러나 이러한 제한점에도 불구하고 본 연구는 향후 '유산소 운동'이라는 대체 치료방안에 대한 고민을 다루는 데 도움이 될 것이다.

결론 및 제언

위의 기술된 내용처럼, 신체 활동 혹은 운동은 비단 신체적 발달뿐만 아니라 심리적 정서적 발달에 유의한 영향을 미친다. 유산소 운동은 집행능력 향상에 유의한 효과를 보이고, 인지능력에 약간의 결여가 있는 ADHD 혹은 우울, 불안 장애 아동을 대상으로 주로 연구되었다. 최근 각 의료기관에서도 만성 혹은 스트레스성 기분장애 환자의 보조적 치료 방법으로 운동 치료를 장려하고 있다.

하지만 여전히 어떤 운동이 얼마만큼 효과적이며 어느 정도로 더 영향을 미치는지는 명백하게 연구되지 못하고 있다. 또한 지금까지 고찰한 연구의 대부분은 '운동'이라는 중재변인을 사용하였다. 신체활동과 운동의 차이가 있으므로, 이 두 가지와 인지기능 향상의 인과관계 규명을 위한 접근법도 필요하다고 판단된다.

마지막으로 추후 연구에서는 더욱 계량적이고 구체적인 접근의 연구를 통하여 무선적이고 통제된 시도가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 학교를 비롯한 교육 기관에서는 학생들의 신체적, 심리적 및 사회적 건강을 위하여 지속적인 신체 활동을 제공하여야 하며, 이를 통한 효과 및 결과는 부모 및 보호자들에게 알려지고 장려되어야 할 것이다.

중심 단어: 신체활동·유산소 운동·인지기능·소아 및 청소년.

References

- 1) Chu DC, Fox KR, Chen LJ, Ku PW. Components of late-life exercise and cognitive function: an 8-year longitudinal study. *Prev Sci* 2015;16:568-577.

- 2) **Elleberg D, St-Louis-Deschênes S.** The effect of acute physical exercise on cognitive function during development. *Psychol Sport Exerc* 2010;11:122-126.
- 3) **Petrovitch H, White L.** Exercise and cognitive function. *Lancet Neurol* 2005;4:690-691.
- 4) **Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM.** Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep* 1985;100:126-131.
- 5) **Hawley JA, Hargreaves M, Joyner MJ, Zierath JR.** Integrative biology of exercise. *Cell* 2014;159:738-749.
- 6) **Luria A.** The working brain. New York: Basic Books;1973. p.192.
- 7) **Murray R, Huelskoetter MM, O'Driscoll D.** The nursing process in later maturity. Englewood Cliffs: Prentice Hall;1980.
- 8) **Tomporowski PD, Ellis NR.** Effects of exercise on cognitive processes: a review. *Psychol Bull* 1986;99:338-346.
- 9) **Colcombe S, Kramer AF.** Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychol Sci* 2003;14:125-130.
- 10) **Sibley BA, Etnier JL.** The relationship between physical activity and cognition in children: a meta analysis. *Pediatr Exerc Sci* 2003; 15:243-256.
- 11) **Etnier JL, Salazar W, Landers DM, Petruzzello SJ, Han M, Nowell P.** The influence of physical fitness and exercise upon cognition functioning: a meta-analysis. *J Sport Exerc Psychol* 1997;19:249-277.
- 12) **Guthold R, Cowan MJ, Autenrieth CS, Kann L, Riley LM.** Physical activity and sedentary behavior among schoolchildren: a 34-country comparison. *J Pediatr* 2010;157:43-49.e1.
- 13) **Ministry of Health and Welfare.** Trends of Health Risk Behaviors among Korean Adolescents Over the past 10 years; 2014 [cited 2014 Oct 22]. Available from URL: http://www.mw.go.kr/front_new/alsal0301vw.jsp?PAR_MENU_ID=04&MENU_ID=0403&page=15&CONT_SEQ=306050
- 14) **Han SJ, Moo SH.** Cardiorespiratory Fitness is Associated with Depression Symptom, Blood BDNF, and Cardiovascular Disease Risk Factor in Female Obese Adolescents. *J Korean Soc Meas Eval Phys Educ Sports Sci* 2011;13:105-113.
- 15) **Castellanos FX, Sonuga-Barke EJ, Milham MP, Tannock R.** Characterizing cognition in ADHD: beyond executive dysfunction. *Trends Cogn Sci* 2006;10:117-123.
- 16) **Austin MP, Ross M, Murray C, O'Carroll RE, Ebmeier KP, Goodwin GM.** Cognitive function in major depression. *J Affect Disord* 1992; 25:21-29.
- 17) **Bishop S, Duncan J, Brett M, Lawrence AD.** Prefrontal cortical function and anxiety: controlling attention to threat-related stimuli. *Nat Neurosci* 2004;7:184-188.
- 18) **Larson EB, Wang L, Bowen JD, McCormick WC, Teri L, Crane P, et al.** Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older. *Ann Intern Med* 2006; 144:73-81.
- 19) **Booth FW, Chakravarthy MV.** Cost and consequences of sedentary living: new battleground for an old enemy. Washington, DC: President's Council on Physical Fitness and Sports;2002
- 20) **Baker LD, Frank LL, Foster-Schubert K, Green PS, Wilkinson CW, McTiernan A, et al.** Effects of aerobic exercise on mild cognitive impairment: a controlled trial. *Arch Neurol* 2010;67:71-79.
- 21) **Colcombe SJ, Erickson KI, Scalf PE, Kim JS, Prakash R, McAuley E, et al.** Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2006;61:1166-1170.
- 22) **Dustman RE, Ruhlring EM, Russell EM, Shearer DE, Bonekat HW, Shigeoka JW, et al.** Aerobic exercise training and improved neuropsychological function of older individuals. *Neurobiol Aging* 1984; 5:35-42.
- 23) **Erickson KI, Kramer AF.** Aerobic exercise effects on cognitive and neural plasticity in older adults. *Br J Sports Med* 2009;43:22-24.
- 24) **Woo MJ.** The relationship between exercise and cognition: Literature review of brain studies. *Korean J Phys Educ* 2010;49:133-146.
- 25) **Cotman CW, Berchtold NC, Christie LA.** Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends Neurosci* 2007;30:464-472.
- 26) **Kim YS.** The Effect of Cognitive Ability and Self - Esteem on Regular Exercise in the Elderly. *Korean J Phys Educ* 2001;40:181-193.
- 27) **Lee KM, Choi JH, Kim HJ.** The Effect of Regular Exercise Training on Cognitive Function in the Elderly Women. *Korean J Growth Dev* 2002;10:81-90.
- 28) **Shon JH, Yoo HS.** Effects of Chronic Combined Exercise on Cognitive Function and Depression in Elderly Women. *Korean Soc Sport Psychol* 2010;21:183-195.
- 29) **Barkley RA, Grodzinsky G, DuPaul GJ.** Frontal lobe functions in attention deficit disorder with and without hyperactivity: a review and research report. *J Abnorm Child Psychol* 1992;20:163-188.
- 30) **Isquith PK, Crawford JS, Espy KA, Gioia GA.** Assessment of executive function in preschool-aged children. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev* 2005;11:209-215.
- 31) **Tranel D, Anderson SW, Benton AL.** Development of the concept of 'executive function' and its relationship to the frontal lobes. In: Boller F, Grafman J, editors. *Handbook of neuropsychology*. Amsterdam: Elsevier Science;1994. p.125-148.
- 32) **Kim HG.** Clinical Evaluation of the Frontal Lobe Syndrome Using Kims Frontal-Executive Neuropsychological Test. *Korean J Rehabil Psychol* 2001;8:173-190.
- 33) **Blumenthal JA, Emery CF, Madden DJ, George LK, Coleman RE, Riddle MW, et al.** Cardiovascular and behavioral effects of aerobic exercise training in healthy older men and women. *J Gerontol* 1989; 44:M147-M157.
- 34) **Macko RF, DeSouza CA, Tretter LD, Silver KH, Smith GV, Anderson PA, et al.** Treadmill aerobic exercise training reduces the energy expenditure and cardiovascular demands of hemiparetic gait in chronic stroke patients. A preliminary report. *Stroke* 1997; 28:326-330.
- 35) **Tuckman BW, Hinkle JS.** An experimental study of the physical and psychological effects of aerobic exercise on schoolchildren. *Health Psychol* 1986;5:197-207.
- 36) **Hinkle JS, Tuckman BW, Sampson JP.** The psychology, physiology, and the creativity of middle school aerobic exercisers. *Elem Sch Guid Couns* 1993;28:133-145.
- 37) **Caterino MC, Polak ED.** Effects of two types of activity on the performance of second-, third-, and fourth-grade students on a test of concentration. *Percept Mot Skills* 1999;89:245-248.
- 38) **Tomporowski PD, Davis CL, Lambourne K, Gregoski M, Tkacz J.** Task switching in overweight children: effects of acute exercise and age. *J Sport Exerc Psychol* 2008;30:497-511.
- 39) **Chen AG, Yan J, Yin HC, Pan CY, Chang YK.** Effects of acute aerobic exercise on multiple aspects of executive function in preadolescent children. *Psychol Sport Exerc* 2014;15:627-636.
- 40) **Budde H, Voelcker-Rehage C, Pietrabyk-Kendziorra S, Ribeiro P, Tidow G.** Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neurosci Lett* 2008;441:219-223.
- 41) **Pontifex MB, Saliba BJ, Raine LB, Picchetti DL, Hillman CH.** Exercise improves behavioral, neurocognitive, and scholastic performance in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Pediatr* 2013;162:543-551.
- 42) **Best JR.** Effects of Physical Activity on Children's Executive Function: Contributions of Experimental Research on Aerobic Exercise. *Dev Rev* 2010;30:331-551.
- 43) **Rueda MR, Rothbart MK, McCandliss BD, Saccomanno L, Posner MI.** Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2005;102: 14931-14936.
- 44) **Diamond A.** All or none hypothesis: a global-default mode that characterizes the brain and mind. *Dev Psychol* 2009;45:130-138.
- 45) **Fontani G, Lodi L, Felici A, Migliorini S, Corradeschi F.** Attention in athletes of high and low experience engaged in different open skill sports. *Percept Mot Skills* 2006;102:791-805.

- 46) **Cross ES, Schmitt PJ, Grafton ST.** Neural substrates of contextual interference during motor learning support a model of active preparation. *J Cogn Neurosci* 2007;19:1854-1871.
- 47) **Diamond A, Lee K.** Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science* 2011;333:959-964.
- 48) **Hillman CH, Buck SM, Themanson JR, Pontifex MB, Castelli DM.** Aerobic fitness and cognitive development: Event-related brain potential and task performance indices of executive control in preadolescent children. *Dev Psychol* 2009;45:114-129.
- 49) **Pontifex MB, Raine LB, Johnson CR, Chaddock L, Voss MW, Cohen NJ, et al.** Cardiorespiratory fitness and the flexible modulation of cognitive control in preadolescent children. *J Cogn Neurosci* 2011;23:1332-1345.
- 50) **Chaddock L, Erickson KI, Prakash RS, Voss MW, VanPatter M, Pontifex MB, et al.** A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control. *Biol Psychol* 2012;89:260-268.
- 51) **Ferris LT, Williams JS, Shen CL.** The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:728-734.
- 52) **Scarmeas N, Stern Y.** Cognitive reserve: implications for diagnosis and prevention of Alzheimer's disease. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2004;4:374-380.
- 53) **Scarmeas N, Zarahn E, Anderson KE, Habeck CG, Hilton J, Flynn J, et al.** Association of life activities with cerebral blood flow in Alzheimer disease: implications for the cognitive reserve hypothesis. *Arch Neurol* 2003;60:359-365.
- 54) **van Uffelen JG, Chin A Paw MJ, Hopman-Rock M, van Mechelen W.** The effects of exercise on cognition in older adults with and without cognitive decline: a systematic review. *Clin J Sport Med* 2008;18:486-500.
- 55) **Kim JY.** The Study of Physical Activity Level on Serum BDNF and Cognitive Function in Adolescence. *Korean J Growth Dev* 2014; 22:119-152.
- 56) **American Psychiatric Association.** Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 4th ed. Washington, DC: American Psychiatric Association;2000.
- 57) **Hodgens JB, Cole J, Boldizar J.** Peer-based differences among boys with ADHD. *J Clin Child Psychol* 2000;29:443-452.
- 58) **Barkley RA.** Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Handbook for Diagnosis and Treatment. New York: The Guilford Press; 1990.
- 59) **Seidman LJ, Valera EM, Makris N, Monuteaux MC, Boriell DL, Kelkar K, et al.** Dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex volumetric abnormalities in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder identified by magnetic resonance imaging. *Biol Psychiatry* 2006;60:1071-1080.
- 60) **Whalen CK, Henker B.** Attention deficit/hyperactivity disorder. In: Ollendick TH, Hersen M, editors. *Handbook of Child Psychopathology*. New York: Plenum;1998.
- 61) **Cho SC.** Attention Deficit Hyperactivity Disorder. The general notion of child psychiatric disorder. Seoul: Seoul University;1999. p.261-263.
- 62) **Kang KD, Choi JW, Kang SG, Han DH.** Sports therapy for attention, cognitions and sociality. *Int J Sports Med* 2011;32:953-959.
- 63) **Choi JW, Han DH, Kang KD, Jung HY, Renshaw PF.** Aerobic exercise and attention deficit hyperactivity disorder: brain research. *Med Sci Sports Exerc* 2015;47:33-39.
- 64) **Allen JJ.** Jogging can modify disruptive behaviors. *Teach Except Child* 1980;12:66-70.
- 65) **Verret C, Guay MC, Berthiaume C, Gardiner P, Béliveau L.** A physical activity program improves behavior and cognitive functions in children with ADHD: an exploratory study. *J Atten Disord* 2012;16:71-80.
- 66) **Bass CK.** Running can modify classroom behavior. *J Learn Disabil* 1985;18:160-161.
- 67) **Mahar MT, Murphy SK, Rowe DA, Golden J, Shields AT, Raedeke TD.** Effects of a classroom-based program on physical activity and on-task behavior. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:2086-2094.
- 68) **McKune AJ, Pautz J, Lomjard J.** Behavioural response to exercise in children with attention-deficit hyperactivity disorder. *South African J Sports Med* 2003;15:17-21.
- 69) **Kim H, Heo HI, Kim DH, Ko IG, Lee SS, Kim SE, et al.** Treadmill exercise and methylphenidate ameliorate symptoms of attention deficit/hyperactivity disorder through enhancing dopamine synthesis and brain-derived neurotrophic factor expression in spontaneous hypertensive rats. *Neurosci Lett* 2011;504:35-39.
- 70) **Halperin JM, Healey DM.** The influences of environmental enrichment, cognitive enhancement, and physical exercise on brain development: can we alter the developmental trajectory of ADHD? *Neurosci Biobehav Rev* 2011;35:621-634.
- 71) **Korean Ministry of Health and Welfare.** The epidemiological survey of mental disorders in Korea 2011. Seoul: Korean Ministry of Health and Welfare;2012.
- 72) **Oxman TE.** Antidepressants and cognitive impairment in the elderly. *J Clin Psychiatry* 1996;57 Suppl 5:38-44.
- 73) **Dunn AL, Weintraub P.** Exercise in the prevention and treatment of adolescent depression: a promising but little researched intervention. *Am J Lifestyle Med* 2008;2:507-518.
- 74) **Compton SN, March JS, Brent D, Albano AM 5th, Weersing R, Curry J.** Cognitive-behavioral psychotherapy for anxiety and depressive disorders in children and adolescents: an evidence-based medicine review. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 2004;43: 930-959.
- 75) **Blumenthal JA, Babyak MA, Doraiswamy PM, Watkins L, Hoffman BM, Barbour KA, et al.** Exercise and pharmacotherapy in the treatment of major depressive disorder. *Psychosom Med* 2007; 69:587-596.
- 76) **Nabkasorn C, Miyai N, Sootmongkol A, Junprasert S, Yamamoto H, Arita M, et al.** Effects of physical exercise on depression, neuroendocrine stress hormones and physiological fitness in adolescent females with depressive symptoms. *Eur J Public Health* 2006;16: 179-184.
- 77) **Callister R, Giles A, Nasstasia Y, Baker AL, Dascombe B, Halpin S, et al.** Healthy Body Healthy Mind: Trialling an exercise intervention for reducing depression in youth with major depressive disorder. *Int J Exerc Sci: Conference Proceedings* 2013;10:6.
- 78) **McArdle WD, Katch FI, Katch VL.** Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance. 4th ed. Baltimore: Williams and Wilkins;1996.
- 79) **Chaouloff F.** Effects of acute physical exercise on central serotonergic systems. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:58-62.