

중추신경계 장애에서 작업의 치료적 효과에 대한 고찰: 경험-의존 가소성의 신경생물학적 근거를 바탕으로

박지혁*, 한대성**, 권재성*

*연세대학교 보건과학대학 작업치료학과

**상지영서대학교 작업치료과

국문초록

본 연구의 목적은 작업의 신경생물학적 영향을 신경과학적 연구들을 바탕으로 알아보고 치료적 작업의 효과적인 임상 적용에 대한 신경학적 근거들을 제시하는 것에 있다. 작업은 신경계 작업치료에서 치료적 매개체로 사용되어 신경학적 기능 회복을 촉진하고 대상자들의 작업참여와 삶의 질을 향상시킨다. 특히 자연스러운 환경에서 내적 동기에 의해 자발적으로 수행된 작업은 신경가소성을 도와주는 신경화학적물질의 발현을 촉진하여 학습과 기억을 향상시킨다. 치료적 작업은 경험-의존 가소성을 통해 신경계의 회복을 유도할 수 있는 적절한 작업적 활동을 말한다. 경험-의존 가소성에 의해 어떠한 작업을 경험했느냐에 따라 신경계의 변화의 특성이 달라지는데 동물 모델 연구와 임상 연구에서 제시된 다양한 신경병변 모델에서 신경학적 호전과 수행기술의 향상이 보고되었다. 치료적 작업을 임상에 효과적으로 적용하기 위해서는 경험-의존 가소성을 촉진 할 수 있는 요소들을 포함해야 한다. 경험-의존 가소성을 촉진할 수 있는 작업은 목적이 명확하고 내적 동기를 유발하는 과제 지향적 활동으로 실제 활동과 매우 유사하여야 하고, 목표로 하는 수행기술에 특성화 되어 있어야하며, 반복과 강도를 고려하여 적용되어야한다.

주제어 : 경험-의존 신경가소성, 신경가소성, 신경계 작업치료, 치료적 작업

I. 서 론

작업치료사들은 서비스 대상자들의 삶에 대한 참여도를 높이고 건강을 증진시키며 삶의 질을 향상시키기 위하여 작업을 치료적 매개체로 사용해왔다(Roley et al., 2008). 작업치료의 대상군은 매우 다양하다. 초기 작업치료에서는 다양한 작업 활동을 정신과 환자들에게 임상적으로 적용 하였고, 2차 세계대전 직후 미국에서는 전쟁으로 인해 신체장애를 입은 군인들에게 치료적 작업을 통

한 재활 서비스를 제공하였다(Reed & Sanderson, 1999). 또한 다양한 발달 장애 아동들에게 정상 발달을 촉진하고 감각 처리를 정상화시키기 위하여 치료적 작업을 사용하였고, 노화가 진행됨에 따라 나타날 수 있는 치매와 같은 인지장애에서도 작업은 치료적 효과를 보였다(Baldelli et al., 2007; Elbasan, Kay 305 Han, & Duzgun, 2012). 이와 같이 작업은 아동에서 노인에 이르기까지, 신체적 장애에서 정신적 장애에 대해 치료적으로 다양하게 사용되어 왔다. 이러한 다양한 작업치료 대상자

들은 신경계 장애를 동반하는 경우가 많다. 뇌혈관 장애로 인해 신경계에 손상을 일으키는 뇌졸중은 작업치료사들이 가장 많이 치료하는 대상 중 하나이며, 노령인구가 늘어감에 따라 뇌의 노화로 인한 치매나 파킨슨 환자도 작업치료의 대상에서 그 수가 증가하고 있다. 신경계 환자들을 대상으로 한 작업치료는 작업이 신경계에 긍정적인 영향을 준다는 신념을 바탕으로 하지만, 이러한 신념에 대한 신경생물학적인 근거를 논의하기 위해서는 몇 가지 고려되어야 할 사항들이 있다.

작업의 신경생물학적 영향에 대해 논의하기 위해서는 작업의 신경학적 특징을 규정하는 것이 필수적이다. 작업치료에서 작업이라는 용어는 굉장히 넓은 의미로 사용된다(Roley et al., 2008). 작업은 인간이 하고자 하는 모든 것을 말하며, 인간의 삶의 전반을 포함한다(Law, Polatajko, Baptiste, & Townsend, 1997). 작업은 다양한 형태와 목적을 가진다. 신경계 작업치료에서 전통적으로 사용되는 치료적 작업은 신경계의 기능향상을 통한 작업수행의 증진을 목적으로 하고, 형태 또한 매우 다양하다. 그러므로 다양한 형태의 치료적 작업들이 공통적으로 가지고 있는 특징들을 찾아 치료적 작업을 객관적으로 정의할 수 있어야 작업의 신경생물학적 영향에 대한 논의가 가능해진다. 이러한 작업의 특징을 반영한 동물실험 모델은 인간실험모델에서 살펴보기 힘든 신경 화학적 혹은 신경 세포적 영향에 대해 확인할 수 있는 장점이 있다. 왜냐하면 동물실험모델은 환경적, 생물학적 변인들을 통제하는 것이 인간실험모델보다 수월하고, 신경생물학적 평가를 하기 위해 실험 직후 실험동물의 사후 검사가 가능하기 때문이다. 현재 동물실험모델을 통한 신경과학적 연구들은 작업치료분야에서 간과되는 경향이 있지만, 동물 실험모델을 통한 다양한 신경계의 가소성에 대한 연구들은 작업으로 인한 신경학적 변화를 설명하는데 많은 뒷받침을 해주고 있다(Nithianantharajah & Hannan, 2006).

경험-의존 가소성(experience-dependent plasticity)은 작업이 중추신경계에 신경생물학적으로 어떻게 변화를 이끌어 내는지에 대한 기전을 제공해 준다. 경험-의존 가소성은 많은 동물실험모델과 인간실험모델에서 다양한 신경계 연구 방법 등을 통해 증명되었다(Kleim & Jones, 2008; Nithianantharajah & Hannan, 2006). “작업(occupation)”이라는 용어를 사용하지는 않았지만, “경험(experience)”이라는 용어가 작업치료에서 말하는 “작

업”을 내포하고 있다. 작업의 신경과학적 영향을 살펴보기 위해서는 경험-의존 가소성과 관련되어 있는 연구들을 작업치료적인 관점에서 다시 살펴보고 재구성할 필요가 있다. 많은 연구들이 작업의 신경과학적 영향에 대한 근거들을 제공하고 있지만, “작업”이라는 용어를 사용하지 않았기 때문에 작업치료분야에서 간과되어 왔다. 작업의 신경생물학적 영향은 신경계 작업치료에서 필수적인 근거이다. 어떠한 작업의 특징들로 인하여 신경계의 변화가 생기는데 대한 근거를 바탕으로 신경계 환자들에게 치료적 작업이 제공되어야 한다.

그러나, 신경계 작업치료 현장에서 신경과학적 혹은 신경생물학적 특징을 바탕으로 한 작업에 대한 정의가 부족하고, “작업”이라는 용어가 사용되지 않은 연구들이 간과되어 치료적 작업의 신경과학적 영향에 대한 고찰이 부족한 실정이다. 그러므로 본 고찰의 목적은 신경과학적 작업의 정의를 바탕으로 동물실험모델에서 인간실험모델에 이르기까지 다양한 신경과학적 연구들을 고찰하여 작업의 신경생물학적 영향과 중추신경계 질환에 대한 작업의 치료적 효과를 알아보고자 하는 것이다.

II. 본 론

1. 신경학적 작업의 정의

작업치료에서 일반적으로 작업이란 사회과학적으로 정의된다. 작업치료 임상상의 틀에서는 여러 문헌들에서 정의한 작업을 아래와 같이 제시하고 있다(Roley et al., 2008).

- “시간에 따라 진행되고 수행에 대한 의미를 가지며 복합적 과제를 수반하는 목적 지향적인 수행”(Christiansen, Baum, & Bass-Haugen, 2005)
- “문화적 가치를 반영하고 삶의 체계를 규정하며 각 개인에게 의미 있는 일상 활동 - 자기 관리나 즐거움 혹은 사회참여를 위한 인간의 욕구를 충족시킴”(Crepeau, 2003)
- “사람들이 일상을 통해 시간을 채우며 삶의 의미를 충족시키는 활동 - 작업은 정신적 능력들과 기술들을 포

함하고 관찰할 수 있는 신체적 차원일 수도 있음”(Hinojosa & Kramer, 1997)

- ♦ 작업은 사람들이 자신을 위해 하는 모든 것을 말하며, 자신을 돌보고, 삶을 즐기며, 공동체의 사회적, 경제적인 구조에 기여하는 것을 포함함(Law et al., 1997)
- ♦ “작업의 형태, 개별적인 발달체계를 가진 개인, 주관적 의미들과 목적, 그리고 작업적 수행 결과 사이의 역동적 관계”(Nelson & Jepson-Thomas, 2003)

이와 같은 다양한 사회과학적 정의들은 그 의미가 광범위하므로 신경계 재활에서 신경학적 측면의 작업에 대한 정의로 사용하기에는 어려움이 있다. 신경과학 혹은 신경계 재활에서 작업치료의 치료적 작업에 포함될 수 있는 개념은 기술적 훈련(skilled training)과 과제 지향적 훈련(task-oriented training)이다.

기술적 훈련은 작업치료사들이 사용하는 치료적 작업의 중요한 요소이다. 신경계 손상 환자들은 기능장애로 인해 수행기술(performance skill)이 떨어지고, 그로 인해 작업수행(occupational performance)에 문제가 생겨 작업참여가 어려워진다. 그러므로 작업치료에서는 신경계 손상으로 인하여 저하된 수행기술을 재교육시키는 것이 중요한 목표 중 하나이다(Roley et al., 2008). 그렇기 때문에 작업치료사들이 사용하는 치료적 작업은 일반적인 활동의 반복이 아니라 새로운 기술이 포함된 기술적 훈련 혹은 활동이라고 할 수 있다. 일반적으로 이러한 기술적 활동은 하나의 수행기술이 아니라 여러 가지 수행기술들이 요구되는 활동이다.

과제 지향적 훈련은 작업치료사들이 신경계 재활에서 치료적 작업으로 다양하게 사용되고 있고, 특히 뇌졸중 재활에서 여러 연구를 통해 그 치료적 효과가 보고되고 있다. 이러한 과제 지향적 훈련의 특징은 15가지로 정리될 수 있다(Timmermans, Spooren, Kingma, & Seelen, 2010). 과제 지향적 훈련은 1) 기능적이고, 2) 일상생활동작과 같이 실제 일상과 관련된 활동이며, 3) 대상자 중심적이고, 4) 반복적이면서 과부하 원칙을 적용하고, 5) 실제 생활에서 사용하는 물건을 사용하며, 6) 실제적인 환경에서 수행을 하게하고, 7) 수행의 난이도를 점진적으로 높여주며, 8) 하나의 과제에 다양한 수행이 포함되어있고, 9) 수행에 대한 피드백을 주고, 10) 다양

한 공간적 면에서 움직임이 이루어지며, 11) 종합적 기술이 필요하고, 12) 훈련 강도는 대상자가 스스로 조절하며, 13) 무작위 연습을 제공하고, 14) 양측을 사용하고, 15) 훈련이 분산학습으로 이루어진다. 이러한 특징들은 작업치료에서 실시하는 일상생활동작의 특징들과 일치하는데 복합적인 과제 수행기술들이 필요하고, 환경과의 상호적인 연관성이 포함된다.

그러므로, 작업치료에서 사용하는 작업은 신경계 재활에서 치료적으로 사용되고 있는 기술적 훈련과 과제 지향적 훈련을 포함하고, 실제적 환경에서 일상 활동과 관련된 목적을 가진 종합적 수행기술을 필요로 하는 활동으로 정의할 수 있다.

2. 작업의 신경생물학적 영향

작업은 신경생물학적으로 신경계에 다양한 영향을 끼친다. 작업의 신경생물학적인 효과에 대한 대표적 연구로는 신경과학에서 고전적 연구인 환경적 다양성(Environmental Enrichment; EE)에 대한 연구이다. 환경적 다양성이라는 개념은 1947년 Donald Hebb의 연구에서 자유롭게 돌아다니는 쥐와 실험실 우리에 갇혀 있던 쥐를 비교하는 연구에서 사용되었다(Hebb, 1947). 환경적 다양성이라는 개념은 동물실험모델에서 많이 사용되는데 일반적으로 새롭고 복잡한 환경적 자극을 말하며, “복잡하고 무생물적인 사회적 자극의 복합”으로 정의된다(Rosenzweig, Bennett, Hebert, & Morimoto, 1978). 실제로 동물실험모델에서는 일반적 실험우리보다 더 넓은 공간, 장난감, 스스로 운동할 수 있는 쳇바퀴나 구조물, 보금자리를 만들 수 있는 재료들을 제공해주고, 새로운 환경적 자극을 주기위해 주기적으로 장난감이나 구조물의 위치를 변경해 주었다(Laviola, Hannan, Macri, Solinas, & Jaber, 2008; Nithianantharajah & Hannan, 2006; van Praag, Kempermann, & Gage, 2000). 이러한 새로운 환경적 변화는 운동적, 인지적, 감각적 자극을 제공한다(Nithianantharajah & Hannan, 2006). 동물실험모델에서 환경적 다양성이 제공한 자극들은 내적동기에 의한 자발적 수행(the performance of natural motivated behavior)을 촉진하였다(Kiss et al., 2011).

내적동기에 의한 자발적 수행은 동물실험모델에서 작

업으로 간주 될 수 있다. 환경적 다양성을 제공해줌으로써 유발되는 행동들은 자발적 운동, 놀이, 탐색활동, 환경과의 상호작용, 보금자리를 만드는 행동 등으로 관찰되어진다(Simpson & Kelly, 2011). 이러한 행동들은 작업의 핵심적인 요소를 포함하고 있다. 왜냐하면 자발적이고 동기부여 된 행동이고, 종합적 수행 기술(운동, 인지, 지각 등)을 필요로 하며 주변 환경과 상호작용을 하는 행동들이기 때문이다. 그러므로 환경적 다양성을 제공함으로써 발생하는 신경학적 변화들은 생물이 내적동기에 의한 자발적 수행 즉 작업수행을 통한 환경과의 상호작용으로 인하여 발생한 것으로 볼 수 있으며, 환경적 다양성을 제공 하였을 때 다양한 신경생리학적 변화가 보고되고 있다(van Praag et al., 2000).

환경적 다양성으로 유발된 작업수행은 신경계의 신경화학적 변화를 유발한다. 일반적으로 동물실험모델에서 보고되고 있는 신경화학적 변화들은 신경친화성인자(neurotrophic factor), 신경전달물질, 스트레스 호르몬 등이다(Simpson & Kelly, 2011). 신경친화인자란 신경세포의 생존과 기능을 촉진시키는 단백질로 신경연접의 가소성에 관련되어있는 물질이다(Deister & Schmidt, 2006). 대표적으로 뇌유래신경영양인자(Brain-Derived Neurotrophic Factor; BDNF)와 신경성장인자(Nerve Growth Factor; NGF)를 들 수 있다. 뇌유래신경영양인자(BDNF)는 기억을 생성하는 해마(hippocampus)에서 장기상승작용(Long-Term Potentiation; LTP)을 촉진한다(Ickes et al., 2000). 장기상승작용이란, 두 개의 신경세포 사이에 지속적인 신호 전달이 있었을 때 새로운 신경연접이 발생하여 연접이 강화되는 것을 말하는데 기억과 학습에 있어 가장 대표적인 세포 기전이다(Segal, 2005). 동물실험모델에서 다양한 환경 자극을 통해 자발적 작업 활동을 촉진 시켰을 때, 뇌유래신경영양인자(BDNF) 발현이 기억과 관련된 해마, 전두엽, 대뇌겉질에서 증가 하였다(Nithianantharajah & Hannan, 2006). 신경성장인자(NGF)도 뇌유래신경영양인자(BDNF)와 같이 장기상승작용(LTP)에 중요한 역할을 하는데, 다양한 환경적 자극에 1년 동안 있었던 쥐들의 해마, 내후각 뇌겉질(entorhinal cortex), 시각겉질(visual cortex)에서 발현이 증가하였다. 이러한 영역에서 신경성장인자(NGF) 발현의 증가는 쥐들이 기억력과 학습에 대한 검사에서 높은 수행력을 보인 것과 관련되어 있다(Ernfors,

Wetmore, Olson, & Persson, 1990; Ickes et al., 2000; Simpson & Kelly, 2011). 그러므로 환경적 다양성으로 인해 유발된 작업수행은 뇌유래신경영양인자(BDNF)와 신경성장인자(NGF)의 발현을 촉진시켜 기억과 학습 기능을 향상시킨다고 볼 수 있다. 이러한 신경화학적 요소(neurochemical factor)들은 뇌 신경세포의 변화의 바탕이 된다.

환경적 다양성으로 유발된 작업수행은 뇌 신경세포의 다양한 변화를 촉진시킨다. 환경적 다양성은 신경학적 변화는 여러 뇌 영역에서 나타내는데, 해마의 치상핵(dentate gyrus)에서는 새로운 신경세포들이 생성되었다(van Praag et al., 2000). 또한 대뇌 겉질에서 새로운 연접이 생기고 신경돌기가지들이 뻗어 나왔으며, 신경세포의 수상돌기(dendrite)의 밀도가 증가하였고 기초적 신경연접이 강화되었다(Altman & Das, 1964; Diamond et al., 1966; Greenough & Volkmar, 1973; Holloway, 1966). 새로운 연접의 생성(synaptogenesis)은 동물실험모델의 환경적 다양성 연구에서 많이 보고되고 있다(van Praag et al., 2000). 신경계에서 신경세포 사이의 새로운 연접의 생성은 발달과정 혹은 학습하는 과정에서 나타나는 신경학적 변화이다. 환경적 다양성에 노출된 쥐들은 시각겉질(visual cortex), 청각겉질(auditory cortex), 후각겉질(olfactory cortex)의 발달이 촉진되었고, 감각과 관련이 적은 연합영역과 해마에서도 재조직화(restructuring)를 보였다(Berman, Hannigan, Sperry, & Zajac, 1996; Cancedda et al., 2004; Diamond, Rosenzweig, Bennett, Lindner, & Lyon, 1972; Dinse, 2004; Engineer et al., 2004; Faherty, Kerley, & Smeyne, 2003; Hennessy, Smotherman, & Levine, 1977; Sale et al., 2004; Turner, Lewis, & King, 2003). 이러한 뇌 신경세포들의 변화들은 단순히 감각자극만으로 일어난 것이 아니라 내적으로 동기화된 능동적 행동 즉 작업을 통한 환경과의 상호작용에 의한 것으로 볼 수 있다. 이와 같이 특정 경험이나 활동에 의한 뇌 가소성을 활동-의존 가소성(activity-dependent plasticity) 혹은 경험-의존 가소성(experience-dependent plasticity)라고 한다(Kleim & Jones, 2008).

작업적 경험이나 활동은 경험-의존 가소성을 유발한다. 경험-의존 가소성 혹은 활동-의존 가소성이란, 뇌와 신경 회로가 경험에 따라 변화 할 수 있는 능력을 말한

다. 1980년대 초 원숭이의 감각 결손 경험 혹은 과도한 감각자극 경험으로 인한 체감각결질(somatosensory cortex)의 재구조화가 보고되면서, 경험-의존/활동-의존 가소성이라는 개념이 나오기 시작하였다(Merzenich et al., 1983). 초기 경험-의존 가소성에 대한 연구들은 동물의 감각 경험에 따른 신경계에서의 감각 시스템의 변화에 초점이 맞춰져 있었다. 이러한 감각경험은 능동적 경험이라기보다는 수동적인 경험이며, 작업의 특징인 동기부여 된 능동적 활동으로 보기에는 어려움이 있었다. 동물실험모델에서 목적 있는 작업으로 볼 수 있는 능동적 운동 경험이나 훈련에서도 경험-의존 가소성이 확인되었다. 설치류(rodent)와 유인원(non-human primate)에서는 동기 부여된 능동적 활동 즉 작업경험이 경험-의존 가소성으로 인해 대뇌겉질을 재구조화 한다는 것이 확인되었다(Deister & Schmidt, 2006; van Praag et al., 2000). 예를 들어 동물실험모델 중 설치류인 쥐를 대상으로 한 실험에서는 먹이로 내적동기를 부여해 쥐에게 앞발을 사용하여 먹이를 먹도록 한 집단(기술 훈련 집단: skilled reaching condition)과 일반적으로 먹이를 먹은 집단(비기술 훈련 집단: unskilled reaching condition)을 비교한 결과 앞발을 사용하여 먹이를 먹도록 한 기술 훈련 집단의 대뇌 겉질에서 앞발의 발목과 발가락 영역이 확장되었다(Kleim, Barbay, & Nudo, 1998; Maldonado, Allred, Felthausen, & Jones, 2008). 어떤 활동을 경험했느냐에 따라 신경계의 가소성에 의한 변화가 다르게 나타났다는 것을 동물실험모델에서 알 수 있었다. 이러한 경험-의존 가소성에 대한 증거는 동물 실험에서만 아니라 인간에게서도 보고되고 있다(Kleim & Jones, 2008).

작업경험은 인간의 신경계에서 경험-의존 가소성을 유발한다. 인간의 작업이란 동물실험모델에서 본 것보다 더욱 복잡하다. 치료적으로 사용되는 과제 지향적훈련은 동물실험모델의 능동적 활동과 같이 자연스럽게 발생하기 보다는 조작되고 조정된 것들이다. 자연스럽게 실제적인 인간의 작업들이라 하더라도 그 작업 경험의 특징에 따라 신경계에 영향을 미치는 것이 다르다. 예를 들어 영국의 택시 운전기사를 대상으로 한 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging; MRI) 연구에서는 택시운전기사들의 뒤쪽 해마의 크기가 대조군 보다 큰 것으로 나타났다(Maguire et al., 2000). 뒤쪽 해마는 여러 길 찾기

(navigation)에 특화되어 있는 부위로 알려져 있다. 택시 운전이라는 작업적 경험이 특성화된 뇌의 변화를 가지고 온 것이다. 택시운전 경력이 길수록 뒤쪽 해마의 크기가 더 큰 것으로 보고되었다. 이러한 상관관계는 뒤쪽 해마의 크기변화가 택시운전경험으로 기인한다는 것을 설명해준다. 인간의 작업 경험과 관련된 신경가소성은 전문적인 연주자들에게서도 보고되고 있다.

음악을 연주하는 것은 인간에게 있어 모든 문화권에서 나타나는 자연스러운 작업이다. 음악을 연주하기 위해서는 매우 고차원적인 인지과정이 필요하고 정확한 감각-운동 협응이 필요하다. 7년 이상 연주경력이 있는 바이올린 연주자들과 음악연주 경험이 없는 대조군을 대상으로 한 MRI 연구에서는 두 집단의 오른쪽 대뇌겉질의 체감각영역을 비교하였다(Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh, & Taub, 1995). 바이올린 연주와 같은 현악기 연주의 경우 현에 코드를 집기위해서 왼쪽 두 번째에서 다섯 번째 손가락의 기민성과 감각적 민감성이 요구된다. 오른쪽 손의 경우 연주 활을 사용하여 현을 켜야 하기 때문에 왼손과는 감각적으로나 운동적으로 다른 역할을 한다. 이러한 작업적 특성은 양쪽 대뇌반구의 경험-의존 가소성의 차이를 살펴보는데 좋은 모델이 된다. 연구 결과 7년 이상 경력을 가진 현악기 연주자들의 왼쪽 손가락을 담당하고 있는 오른쪽 대뇌반구의 체성감각영역의 위치가 변화였고 활성화 정도도 올라갔지만, 오른쪽 손가락을 담당하고 있는 왼쪽 대뇌반구의 영역은 변화가 없었다. 또한 첫 번째 손가락 보다는 다섯 번째 손가락 영역이 더 많은 변화를 보였으며, 이는 첫 번째 손가락은 현의 코드를 잡는 것에 사용되지 않고 단지 악기를 잡는데 사용하기 때문인 것으로 보인다. 악기 연주자들을 대상으로 한 다른 뇌 영상 연구에서도 뇌의 다른 영역들이 서로 협응하는 것을 발견하면서 경험-의존 가소성이 확인 되었다(Zatorre, Chen, & Penhune, 2007). 연주자들에게 연주한 경험이 있는 음악을 들려주었을 때 청각영역(auditory)과 함께 운동계획영역인 보완운동영역(supplementary motor area)이 활성화 되었고, 청각적 되먹임(auditory feedback)을 차단시킨 상태에서 연주를 하도록 하였을 때에도 운동영역과 함께 청각 영역이 활성화 되었다. 대조군과 비교하여 연주자들에게만 동시 활성이 나타난 것은 연주의 경험이 대뇌 겉질의 영역간의 기능적 연결을 변화시킨 것으로 볼 수 있다. 악기 연주 경험에 따른 양측 뇌의 차이는

인간의 뇌가 작업경험에 따라 다르게 변화할 수 있음을 설명해준다.

작업적 경험은 뇌의 다양한 신경학적 변화를 초래한다. 이러한 신경학적 변화는 동물실험모델과 인간실험모델에서 모두 확인 되었으며, 두 가지로 요약 할 수 있다. 첫째는 다양한 자극적 환경에 의해 촉발된 내적동기에 의한 자발적 작업활동은 신경 가소성의 기본 기전인 장기상승 작용을 도와주는 뇌유래신경영양인자(BDNF)와 신경성장인자(NGF)를 발현하여 학습과 기억을 도와준다(van Praag et al., 2000). 두 번째로는 작업 경험에 따라 신경학적 변화의 특징이 달라지는데 이것을 경험-의존 신경가소성이라 한다. 경험-의존 신경가소성은 인간의 특정 작업에 따라서 뇌의 변화가 달라지는 것을 말한다(Diamond et al., 1972; Nithianantharajah & Hannan, 2006). 다시 말하면, 인간의 작업은 뇌의 학습과 기억을 촉진하고, 신경학적 변화의 특징과 방향성을 안내한다고 말할 수 있다. 지금까지 살펴본 작업의 신경학적 영향은 손상이 없는 뇌에 대한 것이다. 이러한 변화가 뇌손상에서 어떠한 영향을 미치는지 그리고 치료적 효과를 기대할 수 있는지에 대해서 살펴보도록 하겠다.

3. 신경계 손상에 대한 작업의 치료적 효과

내적 동기로 유발된 작업의 치료적 효과는 다양한 중추 신경계 질환의 동물모델에서 확인되었다. 대표적인 뇌손상 동물모델인 뇌졸중 모델과 외상성 뇌손상 모델에서 치료적 효과가 보고되었다. 뇌졸중 동물 모델에서 뇌신경가소성을 촉진시켜주는 뇌유래신경영양인자(BDNF)와 신경성장인자(NGF) 발현이 증가하였으며, 별아교세포(astrocyte)와 희소돌기아교세포(oligodendrocyte)의 분화된 세포가 증가하였다(Nithianantharajah & Hannan, 2006). 또한, 경색부위(infarct volume)가 줄어들고 별세포와 신경세포의 비율이 정상화 되고 신경세포의 가지돌기가시(spine)의 밀도가 높아졌다(Johansson & Belichenko, 2002; Nithianantharajah & Hannan, 2006). 이와 같은 신경학적 변화는 신경학적 회복으로 운동과 인지 기술의 기능적 회복을 촉진시켰다(Ohlsson & Johansson, 1995). 외상성 뇌손상 동물실험모델에서도 비슷한 치료적 효과를 보이는데, 뇌유래신경영양인자(BDNF)가 증가하고 손상 부위 크기가 작아졌으며 가지

돌기들에서 더 많은 가지들이 나오고 세포들의 생존율이 증가하였다(Chen, Kline, Dixon, Zafonte, & Wagner, 2005; Gaulke, Horner, Fink, McNamara, & Hicks, 2005). 기능적으로도 운동과 인지 장애들이 호전되었다(Kolb & Gibb, 1991; Will, Rosenzweig, & Bennett, 1976). 뇌손상 모델에서만뿐만 아니라 퇴행성 뇌병변 모델에서도 다양한 환경 자극에 대한 신경학적 치료효과들이 보고되었다.

내적동기에 의한 자발적 작업은 퇴행성 뇌병변에 대하여 치료적 효과를 보였다. 퇴행성 뇌병변 중 알츠하이머 치매와 파킨슨씨병에서도 신경영양인자(neurotrophin factor)의 증가를 보였다. 알츠하이머 모델의 경우 신경성장인자(NGF) 발현이 증가하였고, 파킨슨씨병의 경우에는 뇌유래신경영양인자(BDNF)가 증가하였다(Bezard et al., 2003; Levi, Jongen-Relo, Feldon, Roses, & Michaelson, 2003). 알츠하이머의 원인이라고 할 수 있는 이상 단백질인 베타 아미로이드(amyloid- β)의 뇌축적이 감소하였다는 보고가 있으며 새로운 세포 생성이 촉진되었다(Arendash et al., 2004; Lazarov et al., 2005). 그 결과 학습과 기억향상을 보였다(Jankowsky et al., 2005). 파킨슨씨병의 경우 바닥핵(basal ganglia)의 흑색질(substantia nigra)의 도파민 신경세포의 퇴행성 병변이 그 원인인데, 다양한 자극적 환경을 제공하여 내적으로 동기화된 작업을 유발한 결과 도파민 신경세포와 도파민 전달자(Dopamin Transporter; DAT)의 감소를 지연시켰다(Bezard et al., 2003; Faherty, Raviie Shepherd, Herasimtschuk, & Smeyne, 2005). 또한, 신경학적 변화와 함께 운동 장애 회복이 촉진되었으며, 도파민 신경세포에 독소로 작용하는 MPTP (1-methyl-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine)에 대한 저항성이 향상되었다(Jadavji, Kolb, & Metz, 2006). 환경적 다양성으로 유발된 동기화된 활동들은 다양한 뇌 병변 동물 실험모델에서도 치료적 효과를 보였다. 환경적 다양성으로 유발된 활동들은 자율적이고 광범위한 작업이라 한다면, 치료적 작업은 더 특성화된 목적적 활동을 의미한다.

동물실험모델에서 치료적 작업의 모델로 볼 수 있는 것은 목적 있는 활동인 기술적 뺑기(skilled reaching)이다. 동물실험모델에서 기술적 뺑기 활동은 신경재활에서 치료적으로 사용하는 과제 지향적 훈련(task-oriented

training)으로 볼 수 있다. 동물실험모델에서 사용되는 기술적 뺑기는 먹이를 앞발을 이용해 먹도록 하는 활동으로 다양한 뇌병변 쥐들을 대상으로 적용되었다. 쥐를 사용한 뇌졸중 모델에서는 일반적으로 수술을 통해 중간대뇌 동맥 폐색(Middle Cerebral Artery Occlusion; MCAO) 혹은 일차운동영역의 뇌경색을 유발시킨다(Klein, Sacrey, Whishaw, & Dunnett, 2012). 뇌졸중 쥐를 대상으로 기술적 뺑기 훈련을 적용한 결과 일차운동영역의 손상부위는 남아있었지만, 기술적 뺑기의 수행 기능은 향상되었다(Gharbawie, Gonzalez, Williams, Kleim, & Whishaw, 2005). 이 결과를 통해, 기술적 뺑기는 동물 실험모델에서 신경가소성으로 인한 기능적 향상을 유발한다고 볼 수 있다. 쥐를 이용한 편측 뇌경색 모델에서 5주간의 기술적 훈련을 받은 집단이 자발적 운동을 한 집단에서 나타나지 않은 기술적 뺑기에 대한 회복을 보였다(Maldonado et al., 2008). 헌팅턴 병의 동물 모델은 줄 무늬체에 신경독소인 흥분성 아미노산(Excitotoxic Amino Acid; EAA)을 주사하여 편측 장애를 유발시킨다(Klein et al., 2012). 운동장애가 유발된 측으로 기술적 뺑기 훈련을 시킨 쥐에게서 뺑기에 대한 수행도가 향상되었다. 뇌병변 동물모델에서 치료적 작업은 훈련이 기능회복과 그와 관련된 신경가소성을 촉진 하였다(Dobrossy & Dunnett, 2005). 이러한 치료적 작업의 효과는 실제 신경계 재활의 임상 환경에서도 관찰되었다.

과제 지향적 훈련은 치료적 작업 중 하나이며 경험-의존 신경가소성을 통해 기능 회복을 촉진한다. 과제 지향적 훈련은 작업치료에서 사용되는 목적 있는 활동(purposeful activity)으로서 현재 신경계 작업치료 임상현장에서 사용되고 있는 대표적인 치료적 활동이다. 과제 지향적 훈련의 치료적 효과는 여러 신경계 장애를 대상으로 한 연구들에서 보고되고 있다. 대표적인 과제 지향적 훈련은 강제유도운동치료(Constraint Induced Movement Therapy; CIMT)이다. 뇌졸중 환자들을 대상으로 한 강제유도운동치료는 대뇌 겉질에서 손을 담당하는 영역을 확장시키고 그 활성도를 증가시켰는데(Fritz, Butts, & Wolf, 2012; Wittenberg et al., 2003), 이러한 신경계의 변화는 강제유도운동치료의 뇌졸중 운동회복에 대한 기능적 효과를 설명해준다. 또한 운동회복과 뇌 영상을 통한 신경계 변화는 상관성을 보였다(Fritz et al., 2012). 강제유도운동치료를 통한 상지의 과제 지향

적 훈련 경험이 경험-의존 신경가소성을 유발하여 뇌졸중 상지의 기능적 회복을 촉진 한 것이다. 과제 지향적 훈련의 치료효과는 뇌졸중, 외상성 뇌손상, 파킨슨씨병, 척추손상 등 다양한 신경계질환에서 보고되고 있다.

작업의 신경계 장애에 대한 치료적 효과는 동물실험과 임상연구를 통해서 증명되었다. 동물실험모델에서 내적 동기에 의한 자발적 활동은 다양한 신경계질환에서 기능적 회복과 더불어 신경 가소성을 촉진시키는 신경학적 변화를 유발하였고, 단순한 운동보다 다양하고 복합적인 효과를 보였다. 대표적인 치료적 작업인 과제 지향훈련은 동물모델과 임상연구에서 모두 신경계 질환으로 인한 기능 손상을 호전 시켰으며 그것과 관련된 경험-의존 가소성을 보였다.

4. 치료적 작업의 임상적 적용

신경계 작업치료에서 치료 모델의 신경과학적 기반은 경험-의존 가소성이다. 치료 대상자의 작업 경험에 따라 신경계가 변화하기 때문에 적절한 치료적 작업을 경험시켜줌으로써 신경가소성을 이끌어내어 신경계 손상으로 인한 기능 장애를 호전 시켜 작업참여를 촉진하는 것이다(그림 1). 그러므로 어떠한 치료적 작업의 요소가 경험-의존 가소성을 촉진 시키는가는 치료적 작업을 신경계 장애를 가진 대상자들에게 적용할 때 매우 중요하다. Kleim과 Jones(2008)는 경험-의존 신경가소성의 열 가지 원칙을 제시하였다(표 1). 여기서 제시된 원칙들을 고려하여 치료적 작업을 제공하였을 때 신경학적 변화를 통해 기능적 회복의 가능성을 높일 수 있다. 원칙들 중 주목해야 할 것은 특이성과 반복성, 강도, 전이, 간섭이다. 치료적 작업을 적용할 때 그 작업이 무엇이냐에 따라서 신경계가 변화하고 기능이 회복되므로, 치료적 작업의 적용 시 작업은 회복시키고자 하는 수행 기술의 특이성을 가지고 있어야 하고, 충분한 반복과 강도로 적용되어야 경험-의존 가소성을 유발시킬 수 있다.

전이와 간섭이란 어떠한 경험에 의해 생긴 신경학적 변화가 다른 행동에 영향을 미치고 확장시켜 나갈 수 있다는 개념이다. 전이와 간섭은 치료적으로 사용된 과제 지향적 훈련이 실제로 사용할 과제와 가장 비슷하였을 때 잘 일어난다고 볼 수 있다. 그러므로 작업치료사들이 사용하는 치료적 작업인 과제 지향적 훈련 혹은 목적 있는

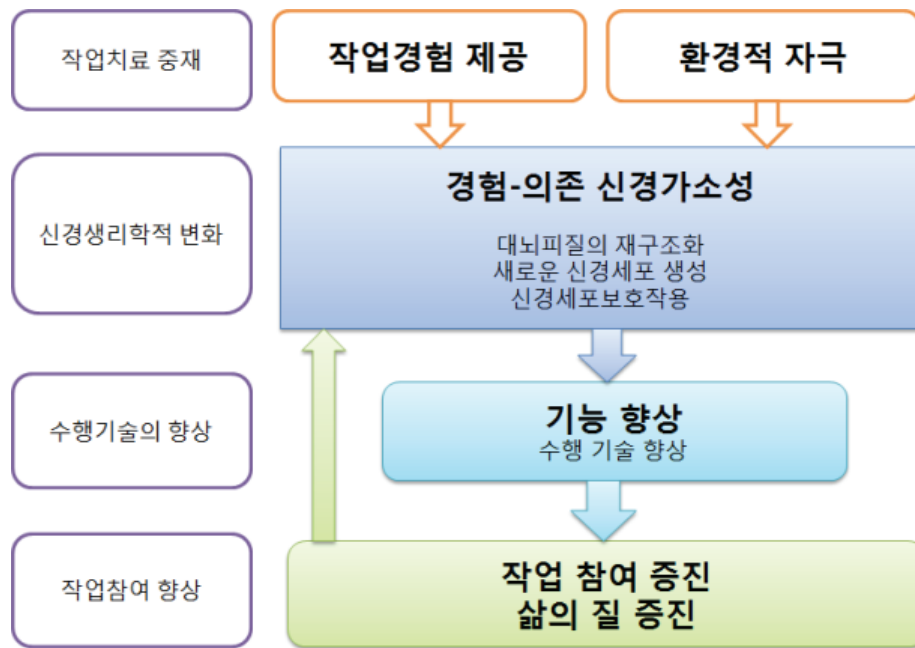


그림 1. 신경계 작업치료 모델

표 1. 경험-의존 가소성의 원칙

원칙	개념
1. 사용안하면 잃음 (Use it or lose it)	뇌의 특정 기능을 사용하지 않으면 그 기능이 퇴행할 수 있음
2. 사용하면 향상됨 (Use it and improve it)	뇌의 기능을 사용하도록 훈련하면 그 기능이 향상 될 수 있음
3. 특이성 (Specificity)	훈련 경험의 특징이 가소성의 특징으로 나타남
4. 반복성 (Repetition matters)	가소성을 유발하기 위해서는 충분한 반복이 되어야함
5. 강도 (Intensity matters)	가소성을 유발하기 위해서는 충분한 강도를 제공해야함
6. 시간성 (Time matters)	시기에 따라 다른 형태의 가소성이 유발됨
7. 특정성 (Salience matters)	가소성을 유발하기 위해서는 훈련 경험의 특징이 충분해야함
8. 나이 (Age matters)	훈련에 의한 가소성은 젊을수록 유발이 잘됨
9. 전이 (Transference)	훈련경험으로 인한 가소성은 비슷한 행동에 영향을 줌
10. 간섭 (Interference)	훈련 경험으로 인한 가소성은 다른 행동에 의해 영향을 받음

활동은 실제와 가장 가까운 것을 사용해야 한다. 반복과 강도는 경험-의존 신경가소성에서 매우 중요한 원칙이며, 신경가소성의 가장 기본 기전인 장기상승작용(LTP)을 유발하는데 매우 중요하다. 그러나 임상환경에서 이것을 충족하기 위해서는 여러 가지 어려움이 따른다. 대표적으로 강제유도운동치료가 이 두 가지 원칙을 잘 지키고 있음에도 불구하고 치료과정에서 대상자 탈락률이 많은 것이 제한점으로 제시되어왔다. 강제유도운동치료에서 사용된 치료적 작업이 대상자 스스로 동기부여된 활동이 아니기 때문이다. 작업치료에서의 치료적 작업의 특징은 대상자 중심(client-centered)으로 동기부여된 작업이다. 이러한 대상자 중심의 동기부여는 과제수행 시 사용되는 신경학적 과정의 반복과 강도를 지속적으로 유지해 줌으로써 경험-의존 가소성의 신경학적 기전인 장기상승작용(LTP)을 촉진시킨다. 그러므로 치료적 작업에서 경험-의존 가소성을 유발하기 위해서는 동기부여된 과제를 활용하는 것이 중요하다. 과제 지향적 훈련의 요소 중 치료적 효과를 향상시키는 요소들은 치료사의 피드백, 분산 훈련, 무작위 훈련, 그리고 치료 시 기능적 목표의 명확성이다(Timmermans et al., 2010). 그러므로 신경계 장애가 있는 대상자들에게 사용되는 치료적 작업을 적용할 때에는 치료사가 치료 작업 중에 피드백을 제공하고 작업 수행이 어려운 경우 여러 단계로 나눠서 분산 훈련을 시키며 그 순서를 무작위로 제공하고 과제의 목표를 명확하게 하여야 한다.

치료적 작업을 신경계 재활에 효과적으로 적용하기 위해서는 그 작업에 다음 요소가 포함되어야 한다. 첫째, 치료적 작업 활동은 향상시키고자 하는 수행기술에 특성화되어 있어야 한다. 둘째, 치료적 작업 활동의 수행기술 향상의 목표가 뚜렷해야 한다. 셋째, 적절한 반복과 강도를 제공해야 한다. 넷째, 실제적인 활동과 최대한 유사하여야 한다. 다섯째, 동기가 부여된 활동이어야 한다. 여섯째, 치료사가 작업 활동에 대한 지속적인 피드백을 제공해야 한다. 일곱째, 작업 활동을 나눠서 훈련해야 한다. 여덟째, 작업활동의 순서를 무작위로 훈련해야 한다. 이러한 요건들을 충족하였을 때, 경험-의존 가소성을 바탕으로 한 수행기술의 향상을 기대할 수 있다.

III. 결 론

본 고찰에서는 신경계에 대한 작업의 영향과 치료적 효과를 살펴보았다. 내적동기에 의한 자발적 수행 작업은 뇌유래신경영양인자(BDNF)와 신경성장인자(NGF)의 발현을 증가시켜 장기상승작용(LTP)을 촉진함으로써 학습과 기억을 향상시킨다. 신경계의 변화는 어떠한 작업 활동을 경험했는가에 따라 다르게 나타난다. 이것을 경험-의존 가소성이라 하며, 손상이 없는 뇌에서만 아니라 병변을 가진 뇌에서도 나타난다. 그러므로 신경계 작업치료에서 어떠한 작업 경험을 제공하는가는 경험-의존 가소성을 통한 수행 기술 향상에 매우 중요한 요소이다. 경험-의존 신경가소성을 촉진시켜 신경학적 수행 기술을 향상시키기 위해서는 목적이 분명하고 동기 부여된 활동을 반복과 강도를 고려해서 적용해야 하고 실제적인 활동과 유사한 활동을 사용하여야 한다. 또한 치료 시 지속적 피드백을 제공하여야 한다.

참 고 문 헌

- Altman, J., & Das, G. D. (1964). Autoradiographic examination of the effects of enriched environment on the rate of glial multiplication in the adult rat brain. *Nature*, 204, 1161-1163.
- Arendash, G. W., Garcia, M. F., Costa, D. A., Cracchiolo, J. R., Wefes, I. M., & Potter, H. (2004). Environmental enrichment improves cognition in aged Alzheimer's transgenic mice despite stable beta-amyloid deposition. *Neuroreport*, 15(11), 1751-1754.
- Baldelli, M. V., Pradelli, J. M., Zucchi, P., Martini, B., Orsi, F., & Fabbo, A. (2007). Occupational therapy and dementia: The experience of an Alzheimer special care unit. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 44(Suppl 1), 49-54.
- Berman, R. F., Hannigan, J. H., Sperry, M. A., & Zajac, C. S. (1996). Prenatal alcohol exposure

- and the effects of environmental enrichment on hippocampal dendritic spine density. *Alcohol*, 13(2), 209–216.
- Bezard, E., Dovero, S., Belin, D., Duconger, S., Jackson–Lewis, V., & Przedborski, S. (2003). Enriched environment confers resistance to 1 – m e t h y l – 4 – p h e n y l – 1 , 2 , 3 , 6 – tetrahydropyridine and cocaine: involvement of dopamine transporter and trophic factors. *Journal of Neuroscience*, 23(35), 10999–11007.
- Cancedda, L., Putignano, E., Sale, A., Viegi, A., Berardi, N., & Maffei, L. (2004). Acceleration of visual system development by environmental enrichment. *Journal of Neuroscience*, 24(20), 4840–4848.
- Chen, X., Li, Y., Kline, A. E., Dixon, C. E., Zafonte, R. D., & Wagner, A. K. (2005). Gender and environmental effects on regional brain–derived neurotrophic factor expression after experimental traumatic brain injury. *Neuroscience*, 135(1), 11–17.
- Christiansen, C., Baum, C. M., & Bass–Haugen, J. (2005). *Occupational therapy: performance, participation, and well–being* (3rd ed.). Thorofare, NJ: Slack.
- Crepeau, E. (2003). Analyzing occupation and activity: A way of thinking about occupational performance. In E. Crepeau, E. Cohn, & B. Schell (Eds.), *Willard and Spackman's occupational therapy* (10ed., pp. 189–198). Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins.
- Deister, C., & Schmidt, C. E. (2006). Optimizing neurotrophic factor combinations for neurite outgrowth. *Journal of Neural Engineering*, 3(2), 172–179.
- Diamond, M. C., Law, F., Rhodes, H., Lindner, B., Rosenzweig, M. R., & Krech, D. (1966). Increases in cortical depth and glia numbers in rats subjected to enriched environment. *Journal of Comparative Neurology*, 128(1), 117–126.
- Diamond, M. C., Rosenzweig, M. R., Bennett, E. L., Lindner, B., & Lyon, L. (1972). Effects of environmental enrichment and impoverishment on rat cerebral cortex. *Journal of Neurobiology*, 3(1), 47–64.
- Dinse, H. R. (2004). Sound case for enrichment. Focus on "Environmental enrichment improves response strength, threshold, selectivity, and latency of auditory cortex neurons". *Journal of Neurophysiology*, 92(1), 36–37.
- Dobrossy, M. D., & Dunnett, S. B. (2005). Optimising plasticity: Environmental and training associated factors in transplant–mediated brain repair. *Reviews in Neuroscience*, 16(1), 1–21.
- Elbasan, B., Kay 305 Han, H., & Duzgun, I. (2012). Sensory integration and activities of daily living in children with developmental coordination disorder. *Italian Journal of Pediatrics*, 38(1), 14.
- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270(5234), 305–307.
- Engineer, N. D., Percaccio, C. R., Pandya, P. K., Moucha, R., Rathbun, D. L., & Kilgard, M. P. (2004). Environmental enrichment improves response strength, threshold, selectivity, and latency of auditory cortex neurons. *Journal of Neurophysiology*, 92(1), 73–82.
- Ernfors, P., Wetmore, C., Olson, L., & Persson, H. (1990). Identification of cells in rat brain and peripheral tissues expressing mRNA for members of the nerve growth factor family. *Neuron*, 5(4), 511–526.
- Faherty, C. J., Kerley, D., & Smeyne, R. J. (2003). A golgi–cox morphological analysis of neuronal changes induced by environmental enrichment. *Developmental Brain Research*, 141(1–2), 55–61.
- Faherty, C. J., Raviie Shepherd, K., Herasimtschuk, A., & Smeyne, R. J. (2005). Environmental

- enrichment in adulthood eliminates neuronal death in experimental Parkinsonism. *Molecular Brain Research*, 134(1), 170–179.
- Fritz, S. L., Butts, R. J., & Wolf, S. L. (2012). Constraint-induced movement therapy: from history to plasticity. *Expert Review of Neurotherapeutics*, 12(2), 191–198.
- Gaulke, L. J., Horner, P. J., Fink, A. J., McNamara, C. L., & Hicks, R. R. (2005). Environmental enrichment increases progenitor cell survival in the dentate gyrus following lateral fluid percussion injury. *Molecular Brain Research*, 141(2), 138–150.
- Gharbawie, O. A., Gonzalez, C. L., Williams, P. T., Kleim, J. A., & Whishaw, I. Q. (2005). Middle cerebral artery (MCA) stroke produces dysfunction in adjacent motor cortex as detected by intracortical microstimulation in rats. *Neuroscience*, 130(3), 601–610.
- Greenough, W. T., & Volkmar, F. R. (1973). Pattern of dendritic branching in occipital cortex of rats reared in complex environments. *Experimental Neurology*, 40(2), 491–504.
- Hebb, D. O. (1947). The effects of early experience on problem solving at maturity. *American Psychologist*, 2, 306–307.
- Hennessy, M. B., Smotherman, W. P., & Levine, S. (1977). Early olfactory enrichment enhances later consumption of novel substances. *Physiology and Behavior*, 19(4), 481–483.
- Hinojosa, J., & Kramer, P. (1997). Statement—fundamental concepts of occupational therapy: occupation, purposeful activity, and function. *American Journal of Occupational Therapy*, 51(10), 864–866.
- Holloway, R. L., Jr. (1966). Dendritic branching: some preliminary results of training and complexity in rat visual cortex. *Brain Research*, 2(4), 393–396.
- Ickes, B. R., Pham, T. M., Sanders, L. A., Albeck, D. S., Mohammed, A. H., & Granholm, A. C. (2000). Long-term environmental enrichment leads to regional increases in neurotrophin levels in rat brain. *Experimental Neurology*, 164(1), 45–52.
- Jadavji, N. M., Kolb, B., & Metz, G. A. (2006). Enriched environment improves motor function in intact and unilateral dopamine-depleted rats. *Neuroscience*, 140(4), 1127–1138.
- Jankowsky, J. L., Melnikova, T., Fadale, D. J., Xu, G. M., Slunt, H. H., & Gonzales, V. (2005). Environmental enrichment mitigates cognitive deficits in a mouse model of Alzheimer's disease. *Journal of Neuroscience*, 25(21), 5217–5224.
- Johansson, B. B., & Belichenko, P. V. (2002). Neuronal plasticity and dendritic spines: effect of environmental enrichment on intact and postischemic rat brain. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 22(1), 89–96.
- Kiss, P., Atlasz, T., Szabadfi, K., Horvath, G., Griecs, M., & Farkas, J. (2011). Comparison between PACAP- and enriched environment-induced retinal protection in MSG-treated newborn rats. *Neuroscience Letter*, 487(3), 400–405.
- Kleim, J. A., Barbay, S., & Nudo, R. J. (1998). Functional reorganization of the rat motor cortex following motor skill learning. *Journal of Neurophysiology*, 80(6), 3321–3325.
- Kleim, J. A., & Jones, T. A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(1), S225–239.
- Klein, A., Sacrey, L. A., Whishaw, I. Q., & Dunnett, S. B. (2012). The use of rodent skilled reaching as a translational model for investigating brain damage and disease. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(3), 1030–1042.
- Kolb, B., & Gibb, R. (1991). Environmental

- enrichment and cortical injury: Behavioral and anatomical consequences of frontal cortex lesions. *Cerebral Cortex*, 1(2), 189–198.
- Laviola, G., Hannan, A. J., Macri, S., Solinas, M., & Jaber, M. (2008). Effects of enriched environment on animal models of neurodegenerative diseases and psychiatric disorders. *Neurobiology of Disease*, 31(2), 159–168.
- Law, M., Polatajko, H., Baptiste, W., & Townsend, E. (1997). Core concepts of occupational therapy. In E. Townsend (Ed.), *Enabling occupation: An occupational therapy perspective* (pp. 29–56). Ottawa, ON: Canadian Association of Occupational Therapists.
- Lazarov, O., Robinson, J., Tang, Y. P., Hairston, I. S., Korade-Mirnic, Z., & Lee, V. M. (2005). Environmental enrichment reduces abeta levels and amyloid deposition in transgenic mice. *Cell*, 120(5), 701–713.
- Levi, O., Jongen-Relo, A. L., Feldon, J., Roses, A. D., & Michaelson, D. M. (2003). ApoE4 impairs hippocampal plasticity isoform-specifically and blocks the environmental stimulation of synaptogenesis and memory. *Neurobiology of Disease*, 13(3), 273–282.
- Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., & Frackowiak, R. S. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 97(8), 4398–4403.
- Maldonado, M. A., Allred, R. P., Felthaus, E. L., & Jones, T. A. (2008). Motor skill training, but not voluntary exercise, improves skilled reaching after unilateral ischemic lesions of the sensorimotor cortex in rats. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 22(3), 250–261.
- Merzenich, M. M., Kaas, J. H., Wall, J., Nelson, R. J., Sur, M., & Felleman, D. (1983). Topographic reorganization of somatosensory cortical areas 3b and 1 in adult monkeys following restricted deafferentation. *Neuroscience*, 8(1), 33–55.
- Nelson, D., & Jepson-Thomas, J. (2003). Occupational form, occupational performance, and a conceptual framework for therapeutic occupation. In P. Kramer, J. Hinojosa, & C. B. Royeen (Eds.), *Perspectives in human occupation: Participation in life* (pp. 87–155). Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins.
- Nithianantharajah, J., & Hannan, A. J. (2006). Enriched environments, experience-dependent plasticity and disorders of the nervous system. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(9), 697–709.
- Ohlsson, A. L., & Johansson, B. B. (1995). Environment influences functional outcome of cerebral infarction in rats. *Stroke*, 26(4), 644–649.
- Reed, K. L., & Sanderson, S. N. (1999). *Concepts of occupational therapy* (4th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins.
- Roley, S. S., DeLany, J. V., Barrows, C. J., Brownrigg, S., Honaker, D., Sava, D. I., et al. (2008). Occupational therapy practice framework: Domain and practice (2nd ed.). *American Journal of Occupational Therapy*, 62(6), 625–683.
- Rosenzweig, M. R., Bennett, E. L., Hebert, M., & Morimoto, H. (1978). Social grouping cannot account for cerebral effects of enriched environments. *Brain Research*, 153(3), 563–576.
- Sale, A., Putignano, E., Cancedda, L., Landi, S., Cirulli, F., Berardi, N., et al. (2004). Enriched environment and acceleration of visual system development. *Neuropharmacology*, 47(5), 649–660.
- Segal, M. (2005). Dendritic spines and long-term plasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(4), 277–284.
- Simpson, J., & Kelly, J. P. (2011). The impact of environmental enrichment in laboratory rats—

- behavioural and neurochemical aspects. *Behavioural Brain Research*, 222(1), 246–264.
- Timmermans, A. A., Spooren, A. I., Kingma, H., & Seelen, H. A. (2010). Influence of task-oriented training content on skilled arm-hand performance in stroke: A systematic review. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 24(9), 858–870.
- Turner, C. A., Lewis, M. H., & King, M. A. (2003). Environmental enrichment: Effects on stereotyped behavior and dendritic morphology. *Developmental Psychobiology*, 43(1), 20–27.
- van Praag, H., Kempermann, G., & Gage, F. H. (2000). Neural consequences of environmental enrichment. *Nature Reviews Neuroscience*, 1(3), 191–198.
- Will, B. E., Rosenzweig, M. R., & Bennett, E. L. (1976). Effects of differential environments on recovery from neonatal brain lesions, measured by problem-solving scores and brain dimensions. *Physiology and Behavior*, 16(5), 603–611.
- Wittenberg, G. F., Chen, R., Ishii, K., Bushara, K. O., Eckloff, S., & Croarkin, E. (2003). Constraint-induced therapy in stroke: Magnetic-stimulation motor maps and cerebral activation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 17(1), 48–57.
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: Auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(7), 547–558.

Abstract

Neurobiological Influence of Occupation on Neurological Disorders Through Experience-Dependent Plasticity

Park, Ji-Hyuk*, Ph.D., O.T., Han, Dae-Sung**, M.S., O.T.,
Kwon, Jae-Sung*, M.A., O.T.

*Dept. of Occupational Therapy, Yonsei University

**Dept. of Occupational Therapy, Sangji Youngseo College

The purpose of this review is to investigate neurobiological evidence of the importance of occupational therapy for neurorehabilitation, and to suggest what features should be included for inducing therapeutic effects on patients with neurological disorders. In occupational therapy, occupation is the therapeutic media used to improve the functional performance of participation and quality of life. Natural motivated behavior increases the levels of neurotrophic factors enhancing neural plasticity. Experience-dependent plasticity means that neural plasticity depends on the experience of the individual. Experience and occupation guide changes in the neural system, as reported by neuroscientific evidence in animals and humans. For various neurological disorders, experience-dependent plasticity was induced through occupational therapy. Occupational therapy should be a motivated task-oriented activity specified to a target performance skill, reparative, highly intensive, and close to a real occupation in everyday life. This kind of therapeutic activity can enhance a patient's functional recovery through experience-dependent plasticity in the human brain.

Key words : Experience-dependent plasticity, Neurological occupational therapy, Neuroplasticity, Therapeutic occupation