

뇌졸중을 경험하는 대상자를 위한 체성감각자극 중심치료의 효과 및 방법 제언

유인규*, 박지혁**

*전주대학교 작업치료학과

**연세대학교 작업치료학과

국문초록

본 문헌고찰의 목적은 뇌졸중을 경험하는 대상자들을 위한 체성감각 자극 중심치료의 효과와 관련된 지금까지의 문헌들을 확인하고, 본 문헌고찰에 근거하여 임상환경에서 보다 효과적으로 적용할 수 있는 이상적인 체성감각자극 훈련방법을 제안하고자 함이다. 먼저, 문헌연구를 통해 뇌졸중을 경험하는 대상자를 중심으로 지금까지 주로 적용되었던 전기적 체성감각자극 치료의 효과성과 제한점을 확인하고, 최근 문헌에 근거하여 임상환경에서 보다 효율적 적용이 가능할 것으로 기대되는 앞으로의 치료적 발전방향을 제시하였다.

본 문헌고찰 결과, 현재까지 뇌졸중을 경험하는 대상자의 기능회복을 위한 체성감각 중심훈련의 필요성을 강조하는 연구 결과가 어느 정도 축적되어 있었음에도 불구하고 실제 임상에서는 재활치료 시 치료적인 여건에 제한으로 인해 구체적인 체성감각 자극입력의 치료적 적용은 제한점이 많은 것으로 확인되었다. 뿐만 아니라, 현재 이용되고 있는 치료도구 역시 체성감각 및 특수감각을 고려한 도구는 거의 없는 것이 현실이었다. 하지만 본 문헌고찰을 통해서 분명히 확인할 수 있었던 것은 적절한 체성감각과 특수감각의 통합적 적용은 뇌졸중을 경험하는 대상자의 기능회복에 매우 긍정적인 효과를 보여주었다는 점이다. 뿐만 아니라, 치료적 환경에서 적용 가능한 적절한 기계적 인터페이스의 적용은 향후 뇌 손상 환자의 재활에 매우 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것이라고 기대된다.

주제어 : 뇌졸중, 체성감각자극

I. 서론

체성감각손상은 뇌졸중을 경험하는 대상자들이 흔히 경험하는 증상으로, 대상자의 활동수준을 저하시

키고 운동능력의 회복속도를 늦추는 근본적인 원인이 된다고 설명한다(Connell, Lincoln, & Radford, 2008). 뇌졸중을 경험하는 대상자의 약 50%가 체성감각계의 손상을 보이며, 일반적으로 감각이상과 운동

기능의 문제를 동시에 가지는 뇌졸중 환자의 예후는 순수하게 운동기능의 문제가 있는 뇌졸중 환자보다 그 예후가 좋지 않다고 설명한다(Winward, Halligan, & Wade, 2002).

체성감각계는 말초에서부터 오는 신호를 받아들여 통합하고 이러한 신호들이 연합피질 영역의 다른 감각신호와 관계되는가를 판별하는 수직계층적, 수평적 신호 분석체계를 가지며, 물체의 속성에 대한 이해를 돕기 위한 정보를 제공하는데 가장 중요한 역할을 담당한다. 체성감각계는 관절, 인대, 근육 및 피부에 위치하며, 근육 길이, 근육신장, 근긴장도, 관절의 위치와 같은 고유감각 정보와 통각, 온도감각, 압각 정보를 전달한다(Shumway-Cook & Wollacott, 2007).

뇌졸중 후 운동 손실을 회복시키기 위한 다양한 재활 치료방법 중 반복적인 운동훈련은 뇌졸중 진단 이후에 일상생활동작의 재교육 촉진을 위한 가장 효과적인 재활치료프로그램 중 하나로 보고된다(Hidler, Nichols, Pelliccio, & Brady, 2005). 하지만 효과적인 치료계획과 다양한 훈련프로토콜의 발전에도 불구하고 운동손상은 여전히 빈번한 후유 증상으로 나타난다(Kan, Huq, Hoey, Goetschalckx, & Mihailidis, 2011).

Posner와 Petersen(1990)은 역동적인 정보수집이 이루어지는 체성감각입력의 메카니즘을 설명하면서, 뇌졸중 후 운동조절과 운동기술의 빠른 회복을 위해서는 정확한 체성감각 입력의 필요성을 언급하였다. Calautti와 Baron(2003)과 Conforto, Cohen, Santos, Scaff와 Marie(2007)은 체성감각의 입력이 뇌졸중 후 운동기능 회복에 주는 효과성에 대한 연구를 진행하였는데, 연구결과 체성감각의 입력은 높은 과제수행 능력과 효과적인 운동 학습에 도움을 준다고 설명하였다.

하지만 이전의 체성감각 중심연구들은 대부분 보행 및 자세조절의 회복을 목적으로 이루어진 연구들이 많았으며, 주로 직접적인 전기신경자극을 통한 방법만을 이용하였을 뿐 상지 기능의 회복을 목적으로 한 연구나 치료활동에 적용될 수 있는 다양한 체성감각 입력 치료훈련 방법을 추가적으로 제시하지는 못하였다(Barros, Bittar, & Danilov, 2010; Vuillerme et

al., 2011). Wasaka와 Kakiqi(2012)는 체성감각 입력을 위한 과제 의존적 자극훈련은 새로운 과제에 대한 선택적이고 역동적인 감각입력효과를 줄 수 있을 것이라고 설명하였으며, Nathan 등(2012)은 특히 기술이 요구되는 움직임 일수록 지속적인 조절과 운동 명령에 따른 실행과정을 통해 더욱 효과적이고 지속적인 체성감각 정보를 제공받을 수 있을 것이라고 설명하였다.

본 문헌고찰의 목적은 체성감각 자극이 뇌졸중 환자의 운동조절에 주는 효과에 대한 문헌들을 확인하고, 이론에 근거하여 임상 환경에서 치료적 과제수행 시 사실적으로 적용할 수 있는 효과적인 체성감각 자극훈련 방법을 제안하고자 한다.

II. 본 론

1. 뇌졸중의 회복을 위한 중재

최근 뇌졸중을 위한 치료적인 방법이 많이 발달되고 있지만, 집중재활은 아직까지 잃어버린 기능의 회복과 장애를 최소화하기 위한 가장 효과적인 방법으로 제시되고 있다(Roiha et al., 2010). 재활은 환경적인 요구나 손상으로 인해 재조직화되는 과정으로, 그 과정은 중추신경계 능력을 기초로 한다(Pons et al., 1991). 즉, 뇌졸중 이후 대뇌피질은 구심성 신경 지배의 차단이나 중추신경영역의 손상 이후에 재조직화 과정을 거치게 되는데, 이러한 재조직화 과정은 잔여 중추신경계의 능력수준에서 이루어지며 회복기간의 추가적인 신경자극이나 재활운동은 뇌의 넓은 부분의 정상적인 활성화 패턴을 이끈다는 것이 현재까지의 연구의 흐름이다. 특히 뇌졸중을 경험하는 많은 대상자들이 신경생리학적으로 구심성 감각입력(sensory afferent input)이 감소되어 있고, 그 중에서도 운동과정의 모니터에 매우 중요하게 작용하는 체성 감각체계에 문제가 있는 경우 운동기능회복에 심각한 장애를 일으키는 것으로 보고되고 있다(Frost et al., 2003).

2. 뇌졸중 대상을 위한 전기적 신경 자극 치료

전기적 체성감각 자극은 말초신경감각 자극의 형태로 적용되며 일정한 간격으로 전기적인 자극이 전달된다. 말초신경자극은 많은 연구결과를 통해서 행동학적, 생리학적인 방향으로 정의되었는데(Klaiput & Kitisomprayoonkul, 2008), 말초신경 자극의 단일 자극은 피층가소성의 효과를 촉진하여 만성 혹은 급성 뇌졸중 대상자의 마비 측 운동기능의 회복을 돕는다고 설명한다. 단일 자극의 보고된 효과의 크기는 말초신경자극의 강도에 따라 따라서, 강도가 높을수록, 그리고 단일 자극의 마지막 시점에 현저하게 효과가 나타난다고 보고되고 있다(Conforto et al., 2007). 또한 전기적 체성감각 자극의 방법 중 정중신경자극 (median nerve stimulation)의 경우 훈련 효과의 보유를 허락하기 때문에 운동훈련과 자극의 조합을 형성할 수 있다는 장점을 갖고 있기도 하다(Calautti & Baron, 2003).

전기적 체성감각 자극은 쉽게 재생산되고 대상자의 적극적인 참여가 요구되지 않는다는 장점을 갖고 있다. 전기적 체성감각 자극의 효과를 알아본 연구들을 보면 뇌졸중 발병 1주에서 6개월 이후의 전기적 체성감각 자극의 적용은 일차체성감각 영역의 재조직화를 이끌어 낼 수 있었다고 설명한다(Gallien et al., 2003; Rossini et al., 2001). 또한 장기간의 연구에서는 만성 뇌졸중을 경험하는 대상자의 마비된 손에 전기적인 체성감각 자극의 적용은 손의 기능적인 운동수행능력에 매우 긍정적인 효과를 주었다고 설명하였다. 그리고 단순한 기능 증진뿐 만 아니라 복잡하고 고도의 기능적 통합이 요구되는 일상생활활동 동작과 연관성이 있는 과제 수행에도 매우 효과적이었다고 보고한다(Huang et al., 2004; Tecchio et al., 2006).

하지만, 이러한 효과성에도 불구하고 임상에서 치료사들이 적용하기에는 많은 한계점을 갖고 있다. 첫째, 자극을 적용하기 위해서는 직접적인 전기자극방법을 이용해야 한다는 점에서 환자들에게 거부감을 줄 수 있다는 점이다. 2시간 정도의 자극이 지속적으로 적용되어야 하기 때문에 반복적인 적용의 어려움

을 갖게 한다. 둘째, 정확한 방법에 대한 정의가 명확하지 못하다. 과거 연구들을 보면 많은 효과성은 증명되고 있지만 그 방법의 통일성이 부족하고 실험의 명확한 방법을 제시해주는 논문 역시 극히 적었다. 셋째, 대상자의 적극적인 참여 부재이다. 본 치료방법의 장점이기도 한 이 문제점은 신체적으로 마비증상을 보이는 대상자들에게 정적인 자세의 장기간 노출은 대상자의 운동기능에 부정적인 영향을 줄 수 있다.

최근 다음과 같은 측면을 고려하여 임상 현장에서 주로 적용하고 있는 대표적인 치료적 접근법으로는 FES (Functional Electrical Stimulation)를 이용한 전기적 자극치료방법으로, 현재 다양한 손상을 경험하는 대상자의 기능회복을 목적으로 많이 이용되고 있다. 특히 작업치료 임상환경에서 FES를 이용한 전기적 자극치료방법은 뇌졸중을 경험하는 대상자의 기능적 손가락 펴를 회복시키기 위한 목적으로 임상에서 흔히 사용되고 있다. 전기적 자극은 자발적 제어가 어려운 근육에 전기적인 자극을 가하여 근육의 수축을 유발하고 기능적인 움직임을 만들어내는 효과를 준다고 설명되고 있다. 특히 뇌졸중으로 인해 마비를 경험하는 대상자에게 기능적인 활동을 하는 동안 적절한 전기적인 자극의 제공은 관절가동범위의 증진과 장악력을 증가 시키는데 매우 효과적이라고 설명한다. 하지만, 과거연구결과에 의하면, 뇌졸중을 경험하는 대상자를 중심으로 FES를 이용한 일시적인 전기적 자극 치료결과 수의적 움직임을 조절하기 위한 기능적 측면은 개선이 되었던 반면, 궁극적으로 움직임을 위한 기능적 능력의 개선은 통계적으로 유의한 변화를 확인할 수 없었다고 설명한다. 또한, 강한 자극에 의한 근육의 피로도, 낮은 효율성과 같은 추가적인 문제점으로 인해 아직 만족스러운 결과를 얻고 있지는 못하고 있는 것이 지금까지의 연구의 결과이다(Alon, Levitt, & McCarthy, 2007; de Kroon, van der Lee, Ijzerman, & Lankjorst, 2002).

3. 체성감각 자극중심 훈련

모든 감각 자극은 감각 수용기를 통해서 신호를 입

력 받는다. 입력 받은 신호는 수용기에서 활동전압으로 전환된 후 구심신경 섬유를 거쳐 반사활동으로 전개되고 또한 몇몇 뉴런의 중계 부위를 거쳐 시상과 대뇌피질에 전달되어 감각을 유발시킨다. 감각은 분류 방법에 따라 다양하게 분류할 수 있지만, 일반적으로 특수감각과 일반감각으로 구분하는 방법이 보편적으로 사용된다. 신체의 특정 부분에 분포한 외각 수용기를 통해서 처리되는 감각을 특수감각이라고 한다면, 이와 달리 신체의 어느 곳에서나 받아들일 수 있는 감각을 일반감각이라고 한다(Sober & Sabes, 2003).

체성감각 자극은 촉각, 압각, 진동각, 위치 및 운동감각 수용체를 활성화시켜 대뇌로 가는 감각자극 경로를 자극하는 것으로, 체성감각 신경경로에 자극을 주는 것을 말한다. 체성감각 경로의 통합성이란 말초에서 척수를 거쳐 뇌의 전 영역을 횡단하고 있는 체성감각 신경경로가 정상적으로 기능하는 상태를 의미한다(Scheidt, Conditt, Secco, & Mussa-Ivaldi, 2005).

구체적으로 감각자극은 뇌 내에 잠재해 있는 수많은 세포들이 소실된 기능을 대체하고 병변에 침범된 경로를 대신해 새로운 신경경로로 분화되는 과정을 촉진시킨다. 감각자극은 손상초기에 주어 질수록 기능회복에 도움이 되고 일관성 있고 반복적으로 제공될수록 기능회복의 정도도 크며, 감각자극에는 수동적 자극뿐만 아니라 능동적인 움직임, 적극적 재활 과정에의 참여, 그리고 일상적 움직임 등도 포함된다(Fasoli, Krebs, & Hogan, 2004; Popovic, Popovic, & Sinkjaer, 2002). 감각의 자극은 피부나 근육, 관절에 분포되어 있는 수용체를 활성화시키는 효과를 가져오며 국소적으로 발생한 대뇌피질의 병변은 이웃하는 피질과 반대편 대뇌 반구에 변화를 초래한다(Johansson, 2000; Kaas, 1991). 즉 말초의 수용체를 통한 감각자극이든 뇌 내 병변으로 인한 중추영역에서의 감각수용 능력의 변화는 모두 대뇌피질이 재구성되도록 촉진한다.

감각경로를 통해 유입되는 자극이 신경계의 가소성을 촉진시키는 기전은 이처럼 손상 받은 대뇌피질이 병변으로 인해 변화가 발생하는 것과 같이 특정 감각

자극, 경험, 학습에 의해서도 변화될 수 있다는 가정에서 출발한다(Taub, Uswatte, & Elbert, 2002). 중추신경계 손상 환자에게 기능회복을 목표로 제공한 감각자극의 예로는 앞서 설명한 촉각, 압각, 진동각, 고유수용감각, 온각, 및 통각 등의 체감각이나 시각, 후각, 미각, 및 청각 등의 특수감각이 있다. 뇌 손상 환자에게 충분하고도 비위험적이며 다양한 감각자극은 망상활성체를 자극하여 운동피질을 활성화 시키며, 감각자극을 반복적으로 제공함으로써 뇌 손상이 전에 기능하지 않았던 부위를 훈련시킬 수 있다(Goble & Brown, 2008).

환경적 자극과 관련된 임상연구의 예로 Edwardson, Lucas, Carey와 Fetz(2012)는 뇌 손상 후 신체적·인지적 기능이 재생되는 정도는 활동에 의존적인 환경자극의 기회가 많을수록 촉진된다고 하였다. 또한 뇌경색을 가진 쥐를 대상으로 한 실험에서 다양한 활동과 함께 다른 쥐들과의 상호작용이 가능하도록 풍부한 환경 속에 둔 쥐가 규격화된 실험실 환경 속에 있는 쥐보다 기능수행을 유의하게 잘 수행하는 것으로 나타났다(Ke et al., 2011). 최근 다음과 같은 측면을 보완하기 위해서 최근 재활공학기술을 접목한 치료적 장치가 개발되고 있는데, 그 중 가장 많은 연구에서 설명되고 있는 치료적 방법은 3차원적 가상현실(virtual reality)의 적용과 로봇재활 치료(robot-assisted rehabilitation)방법이다. 과거연구결과에 의하면 이와 같은 적절한 기계적 인터페이스의 접목은 현재 치료사 중심으로 진행되고 있는 재활치료에서 보완할 수 없었던 대상자의 기능적 회복경과에 따른 장애의 정확한 척도를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 기능적 행동 장애를 가진 대상자들에게 정량적인 기준에 근거한 모니터링과 치료적인 처방이 가능하다고 설명한다(Miyoshi, Takahashi, Lee, Suzuki, & Komeda, 2010).

이상의 선행문헌 탐색내용에서 알 수 있듯이 지금까지 문헌에서 나타난 비침습적 감각자극 방법으로는 촉각자극, 시각자극, 청각자극, 미각자극 등이 활용되었으며 대부분 체성감각과 특수감각이 통합적으로 적용되었음을 확인할 수 있었다.

III. 결 론

이와 같이 뇌 손상 환자의 기능회복을 위한 체성각각 중심훈련의 필요성을 강조하는 연구 결과가 어느 정도 축적되어 있었음에도 불구하고 실제 임상에서는 재활치로서 사실 적인 체성각각 자극입력을 중요하게 고려하지 않고 있다. 또한 현재 이용되고 있는 치료 도구 역시 체성각각 및 특수각각을 고려한 도구는 거의 없는 것이 현실이다. 하지만 본 문헌고찰을 통해서도 확인할 수 있듯이 적절한 체성각각과 특수각각의 통합적 적용은 뇌 손상 환자의 기능회복에 매우 긍정적인 효과를 보여주었음을 확인 할 수 있었다. 일반적으로 감각신경계는 인체가 외부의 상황에 대해서 인식하고 상황에 적절하게 반응상태를 유지할 수 있도록 도움을 준다. 또한 이러한 감각체계는 인간이 환경에 적응하는데 있어서 매우 필수적인 정보 입력 수단으로 설명된다(서대원, 2010). 적절한 한 감각의 입력과 해석은 감각정보가 처리 과정의 고위수준으로 올라가는데 있어 모든 수준에서 들어오는 정보를 조절할 수 있을 뿐 아니라 정보를 선택적으로 조율할 수 있는 능력을 갖게 한다. 특히 상지의 경우 적절한 체성각각의 입력과 해석은 일상생활동작 수행에 있어서 없어서는 안 되는 매우 중요한 요소가 된다.

이에, 본 문헌고찰에 근거하여 다음과 같은 체성각각 자극중심 훈련방법을 제안하고자 한다. 바로, 햅틱스(haptics) 재활이다. 'Haptics'라는 단어는 그리스어로 '만지다'를 뜻하며 햅틱각각이란 사람의 피부 및 근육 등에서 느끼는 모든 감각을 의미한다(Montfort, 2002; Morris, Tan, Barbagli, Chang, & Salisbury, 2007).

햅틱 감각은 크게 두 가지 형태의 감각으로 나누어질 수 있다. 첫째는 근각각(kine-sthesia)에 관련된 것으로, 우리가 물체의 질량이나 굳고 말랑말랑한 정도, 물체의 외형 등을 느낄 때 근육과 관절의 움직임을 통해 촉감을 느끼는 현상이다. 이 과정은 물리적으로는 힘과 연관되어 있으므로, 햅틱 디바이스는 힘을 생성하기에 유리한 로봇모양과 같은 기구적 구조를 띠고 있으며 이와 같은 목적으로 만들어진 햅틱

디바이스를 힘피드백장치(force feedback device)라고 부른다. 둘째는 질감(tactility)에 관련된 것으로 접촉하고 있는 표면의 무늬 혹은 작은 모양들, 표면의 부드럽고 거친 정도, 냉 온감 등을 느낄 때 피부를 표면에 직접 접촉하여 느끼는 현상이다. 이 과정은 여러 가지 복잡한 물리적 요소들로 이루어져 있어서 질감을 재현하고자 하는 햅틱 디바이스들의 모양도 매우 다양하며, 이와 같이 질감을 전달하는 목적으로 만들어진 장치를 질감제시장치(tactile display)라고 부른다. 이와 같이 햅틱 디바이스는 목적에 따라 힘피드백장치와 질감제시장치의 두 분야로 나뉘어지며, 초창기 연구는 힘피드백장치에 집중되었으나 최근 들어서 질감제시장치에 대한 연구가 활성화되기 시작하고 있다(Boian, Deutsch, Lee, Burdea, & Lewis, 2003; Ronsse, Miall, & Swinnen, 2009).

이와 같은 기술적 특징을 통해 뇌 손상 대상자를 위한 체성각각을 느낄 수 있는 게임이라든지, 반력을 느낄 수 있는 조이스틱, 가상의 물체를 조작하거나 추진해보는 일상생활 시뮬레이터, 각종 물리적 특성을 임의로 변경할 수 있는 환자용 재활훈련기기 등에 햅틱스 기술은 충분히 적용이 가능할 것이라고 생각된다. 또한 위와 같은 자극 형태의 적용은 뇌 손상 환자들에게 자극 적이지 않으면서 역동적인 체성각각을 제공할 수 있는 효과적인 방법으로 기대할 수 있겠다.

더 나아가 문헌고찰에서도 확인되었듯이 사람이 정보를 느끼는 과정은 어느 한 가지 감각만으로 결정되지 않는다. 그리고 선행 연구결과 체성각각과 특수각각각각의 통합은 뇌 기능손상자의 기능회복에 시너지 효과를 줄 수 있다고 보고되어 왔다. 예를 들어 어떤 물체의 거칠기를 느낀다고 할 경우 거칠기는 촉각에 관련된 정보이지만 사람은 만져지는 느낌뿐 아니라 소리나 눈으로 보이는 표면 성질을 모두 조합하여서 거칠기 정보를 받아들여게 된다. 이처럼 각 감각 모달리티 간의 연관성은 촉각 정보를 더욱 풍성하게 하는데 적용될 수 있을 것이다. 가상의 물체의 촉감을 구현하는 데 있어서 햅틱 디바이스만으로는 표현에 한계가 있기 마련이나, 시각, 청각, 후각, 미각 정보를 잘 덧씌움으로써 촉감을 더욱 풍부하게 만들 수가

있다. 이러한 접근을 위해서는 앞서 언급한 정신물리학, 생리학, 연구가 필수적이다. 또한 햅틱스 기술은 기존의 감각 표현법을 이용하여 촉감 자체를 풍부하게 할 뿐 아니라, 다른 감각과 함께 가상 현실자체를 실감나게 만드는 하나의 요소로 이용될 것이다. 이러한 기술은 이제 더 이상 상상의 이야기가 아니다. 이미 현실에 다가와 있으며 이러한 기술의 도입은 재활영역에 있어서도 예외가 아니다. 앞서 언급한 체성감각 중심재활훈련을 목적으로 하는 기계적 인터페이스의 적용은 향후 뇌 손상 환자의 기능향상에 매우 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것이라고 생각된다.

참 고 문 헌

- 서대원. (2010). 감각신경계의 신경생리와 임상적 적용. *대한임상신경생리학회지*, 12, 35-46.
- Alon, G., Levitt, A. F., & McCarthy, P. A. (2007). Functional electrical stimulation enhancement of upper extremity functional recovery during stroke rehabilitation: A pilot study. *Neurorehabilitation and neural repair*, 21, 207-215.
- Barros, C. G., Bittar, R. S., & Danilov, Y. (2010). Effects of electrotactile vestibular substitution on rehabilitation of patients with bilateral vestibular loss. *Neuroscience Letter*, 476, 123-126.
- Boian, R. F., Deutsch, J. E., Lee, C. S., Burdea, G. C., & Lewis, J. (2003). *Haptic effects for virtual reality-based post-stroke rehabilitation*. Haptics 2003 Conference: Los Angeles, CA, USA.
- Calautti, C., & Baron, J. C. (2003). Functional neuroimaging studies of motor recovery after stroke in adults: A review. *Stroke*, 34, 1553-1566.
- Conforto, A. B., Cohen, L. G., Santos, R. L., Scaff, M., & Marie, S. K. (2007). Effects of somatosensory stimulation on motor function in chronic cortico-subcortical strokes. *Journal of Neurology*, 254, 333-339.
- Connell, L. A., Lincoln, N. B., & Radford, K. A. (2008). Somatosensory impairment after stroke: Frequency of different deficits and their recovery. *Clinical Rehabilitation*, 22, 758-767.
- de Kroon, J. R., van der Lee, J. H., Ijzerman, M. J., & Lankhorst, G. J. (2002). Therapeutic electrical stimulation to improve motor control and functional abilities of the upper extremity after stroke: A systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 16, 350-360.
- Edwardson, M. A., Lucas, T. H., Carey, J. R., & Fetz, E. E. (2012). New modalities of brain stimulation for stroke rehabilitation. *Experimental Brain Research*, 29, 1-24.
- Fasoli, S. E., Krebs, H. I., & Hogan, N. (2004). Robotic technology and stroke rehabilitation: Translating research into practice. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 11, 11-19.
- Frost, S. B., Barbay, S., Friel, K. M., Plautz, E. J., & Nudo, R. J. (2003). Reorganization of remote cortical regions after ischemic brain injury: A potential substrate for stroke recovery. *Journal of Neurophysiology*, 89, 3205-3214.
- Gallien, P., Aghulon, C., Durufle, A., Petrilli, S., de Crouy, A. C., Carsin, M., et al. (2003). Magnetoencephalography in stroke: A 1-year follow-up study. *European Journal of Neurology*, 10, 373-382.
- Goble, D. J., & Brown, S. H. (2008). The biological and behavioral basis of upper limb asymmetries in sensorimotor performance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32,

598-610.

- Hidler, J., Nichols, D., Pelliccio, M., & Brady, K. (2005). Advances in the understanding and treatment of stroke impairment using robotic devices. *Topics in Stroke Rehabilitation*, *12*, 22-35.
- Huang, M., Davis, L. E., Aine, C., Weisend, M., Harrington, D., Christner, R., et al. (2004). MEG response to median nerve stimulation correlates with recovery of sensory and motor function after stroke. *Clinical Neurophysiology*, *115*, 820-833.
- Johansson, B. B. (2000). Brain plasticity and stroke rehabilitation. *Stroke*, *31*, 223-230.
- Kaas, J. H. (1991). Plasticity of sensory and motor maps in adult mammals. *Annual Review of Neuroscience*, *14*, 137-167.
- Kan, P., Huq, R., Hoey, J., Goetschalckx, R., & Mihailidis, A. (2011). The development of an adaptive upper-limb stroke rehabilitation robotic system. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, *8*, 33.
- Ke, Z., Yip, S. P., Li, L., Zheng, X. X., Tam, W. K., & Tong, K. Y. (2011). The effects of voluntary, involuntary, and forced exercises on motor recovery in a stroke rat model. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 8223-8226.
- Klaiput, A., & Kitisomprayoonkul, W. (2008). Increased pinch strength in acute and subacute stroke patients after simultaneous median and ulnar sensory stimulation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *23*, 351-356.
- Miyoshi, T., Takahashi, Y., Lee, H., Suzuki, T., & Komeda, T. (2010). Upper limb neurorehabilitation in patients with stroke using haptic device system: Reciprocal bi-articular muscle activities reflect as a result of improved circle-drawing smoothness. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, *5*, 370-375.
- Montfort, N. (2002). From PlayStation to PC, Technology Review. *Massachusetts Institute of Technology*, *105*, 68-73.
- Morris, D., Tan, H., Barbagli, F., Chang, T., & Salisbury, K. (2007). *Haptic feedback enhances force skill learning*. World Haptics 2007, Second Joint IEEE: Piscataway, NJ, USA.
- Nathan, D. E., Prost, P. W., Guastello, S. J., Jeutter, D. C., & Reynolds, N. C. (2012). Investigating the neural correlates of goal-oriented upper extremity movements. *NeuroRehabilitation*, *31*, 421-428.
- Pons, T. P., Garraghty, P. E., Ommaya, A. K., Kaas, J. H., Taub, E., & Mishkin, M. (1991). Massive cortical reorganization after sensory deafferentation in adult macaques. *Science*, *252*, 1857-1860.
- Popovic, D. B., Popovic, M. B., & Sinkjaer, T. (2002). Neurorehabilitation of upper extremities in humans with sensory-motor impairment. *Neuromodulation*, *5*, 54-67.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review Neuroscience*, *13*, 25-42.
- Roiha, K., Kirveskari, E., Kaste, M., Mustanoja, S., Makela, J. P., Salonen, O., et al. (2010). Reorganization of the primary somatosensory cortex during stroke recovery. *Clinical Neurophysiology*, *122*, 339-345.
- Ronsse, R., Miall, R. C., & Swinnen, S. P. (2009). Multisensory integration in dynamical

- behaviors: Maximum likelihood estimation across bimanual skill learning. *Journal of Neuroscience*, *29*, 8419–8428.
- Rossini, P. M., Tecchio, F., Pizzella, V., Lupoi, D., Cassetta, E., & Pasqualetti, P. (2001). Interhemispheric differences of sensory hand areas after monohemispheric stroke: MEG/MRI integrative study. *Neuroimage*, *14*, 474–485.
- Scheidt, R. A., Conditt, M. A., Secco, E. L., Mussa-Ivaldi, F. A. (2005). Interaction of visual and proprioceptive feedback during adaptation of human reaching movements. *Journal of Neurophysiology*, *93*, 3200–3213.
- Shumway–Cook, A., & Wollacott, M. (2007). *Motor Control: Theory and practical applications*. (3rd ed.). Maryland : Lippincott Williams & Wilkins.
- Sober, S. J., Sabes, P. N. (2003). Multisensory integration during motor planning. *Journal of Neuroscience*, *23*(18), 6982–6992.
- Taub, E., uswatte, G., & Elbert, T. (2002). New treatments in neurorehabilitation founded on basic research. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*, 228–236.
- Tecchio, F., Zappasodi, F., Tombini, M., Caulo, M., Vernieri, F., & Rossini, P. M. (2007). Interhemispheric asymmetry of primary hand representation and recovery after stroke: A MEG study. *Neuroimage*, *36*, 1057–1064.
- Vuillerme, N., Hlavackova, P., Franco, C., Diot, B., Demongeot, J., & Payan, Y. (2011). Can an electro–tactile vestibular substitution system improve balance in patients with unilateral vestibular loss under altered somatosensory conditions from the foot and ankle? *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 1323–1326.
- Wasaka, T., & Kakiqi, R. (2012). The effect of unpredicted visual feedback on activation in the secondary somatosensory cortex during movement execution. *BMC Neurosciences*, *13*, 138.
- Winward, C. E., Halligan, P. W., & Wade, D. T. (2002). The Rivermead Assessment of Somatosensory Performance (RASP): Standardization and reliability data. *Clinical Rehabilitation*, *16*, 523–533.

Abstract

A Research Study of the Effects and Strategies in Somatosensory Stimulation Training for Stroke Patients

Yoo, In-gyu*, Ph. D., O.T., Park, Ji-Hyuk**, Ph.D., O.T.

*Dept. of Occupational Therapy, College of Alternative Medicine, Jeonju University

**Dept. of Occupational Therapy, College of Health Sciences, Yonsei University

The purpose of the research study is to confirm in effectiveness of somatosensory stimulation and to propose ideal training strategy for functional recovery of stroke patients. Through the previous literatures, our study investigated to the advantages and disadvantages in electrical somatosensory stimulation for stroke patients. Also, our study suggested to applicable strategies and confirmed to growth direction about new somatosensory stimulation therapy for functional recovery in stroke patients.

Result of research study, although many study demonstrated to the effectiveness about somatosensory stimulation therapy for stroke patients, many therapists have experienced many difficulties in somatosensory stimulation application for stroke patients in rehabilitation environments. Thus, few have the therapeutic tools for somatosensory or specific sensory input. However, apparently the previous literatures showed that effectiveness of somatosensory stimulation on functional recovery of patients with brain damage. In conclusion, we can be confirmed that an ideal somatosensory stimulation program is very effective in promoting recovery and the integrity of the somatosensory pathway of stroke patients. Furthermore, we anticipate that using the customized mechanical interface provides to positive effects in rehabilitation of patients with brain damage.

Key words : Somatosensory stimulation, Stroke