

신경가소성 원리를 이용한 강제유도운동치료에 대한 고찰: 경직성 편마비형 뇌성마비 아동을 대상으로

조상윤*

*연세대학교 대학원 작업치료학과

국문초록

강제유도운동치료는 최근 신경재활 분야에서 가장 주목 받고 있는 상지 재활 치료방법 중 하나로 하루 6시간씩 주 5일 2주간 강도 높은 훈련을 환측 팔에 제공하고, 건측의 사용을 억제하기 위해 깨어 있는 시간의 90%를 구속하는 치료방법이다. 최근에는 전통적인 강제유도운동치료의 임상적 한계를 바탕으로 수정된 강제유도운동치료가 많이 적용되고 있다. 수정된 강제유도운동치료는 하루 5시간씩 주 5일, 10주간 건측을 억제하고 하루 30분간 손상측을 치료하는 방법이다. 이는 일상생활 수행 평가인 소아 운동 활동 측정표(Pediatric Motor Activity Log; PMAL)와 상지 질적 평가(Quality of Upper Extremities Skills Test; QUEST), 환측의 상지 기능을 평가하는 멜버른 상지 평가(Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function; MAULF), 환측과 건측의 양손 협응을 보기 위한 Assisting Hand Assessment(AHA)를 통해 강제유도운동치료의 효과를 입증하였다.

본 고찰에서는 강제유도운동치료 적용 후, 신경학적 변화를 살펴본 연구를 중점적으로 분석하였다. 경직성 편마비형 뇌성마비 아동에게 강제유도운동치료 또는 수정된 강제유도운동치료를 적용한 결과, 신체 부분의 움직임의 양에 따라 대뇌피질에 나타나는 신체 부위의 크기가 변한다는 것을 보여주었다. 또한 반대측 운동피질의 활성을 증가시켜주고, 동측 피질의 활성을 감소시켜 신경재조직에 영향을 주기 때문에 강제유도운동치료는 신경가소성의 원리를 이용한 상지 재활 치료 방법이라 하겠다.

주제어 : 강제유도운동치료, 뇌성마비, 사용 의존성 피질 재구성, 상지 재활, 신경가소성

I. 서 론

뇌성마비(cerebral palsy)는 아동에게서 발생하는 발달장애 중 가장 일반적인 신경장애로 미성숙한 뇌의 결손 혹은 손상으로 인한 움직임과 자세의 장애로 정의되며, 비진행성 운동장애 증후군으로 운동 및 감각장애, 자세 이상, 정신지체, 시각 및 언어 장애, 지

각 및 협응 장애 등의 증상을 보인다(Bax, 1964; Nelson & Russman, 2002). 미성숙한 중추신경계를 가진 뇌성마비 아동의 경우 자세와 움직임, 손 기능 장애를 가지게 되는데 제한된 손 기능은 뇌성마비 아동의 운동 장애 중 하나의 특징으로, 손 장애는 근본적인 원인과 발달하는 뇌가 손상된 시기에 따라서 달라질 수 있다(Arner, Eliasson, Nicklasson, Sommerstein,

교신저자 : 조상윤(cho556@nate.com)

|| 접수일: 2013. 6. 5 || 심사일: 2013. 6. 15
|| 게재승인일: 2013. 6. 30

& Hagglund, 2008).

뇌성마비의 원인은 크게 출산 전, 출산 시, 출산 후로 나누어 볼 수 있다. 출산 전 요인은 전체 10% 정도를 차지하는데, 이 중 임신 중 감염과 다태임신의 비율이 높다. 출산 시 원인으로는 무산소증과 핵황달이 주요인으로 꼽히며, 이는 뇌성마비의 원인 중 가장 큰 비율인 약 60%를 차지한다. 또한, 출산 후 뇌막염이나 뇌염으로 인한 감염, 외상성 뇌손상 및 혈관 합병증으로부터 뇌성마비가 야기될 수 있다(Budden, 2005). 최근, 조산아와 저체중아의 생존율이 증가함에 따라 뇌성마비의 발생률은 계속 증가하는 추세이다(Missiuna, Smits, Rosenbaum, Woodside, & Law, 2001).

미국 뇌성마비 학회 분류에 따르면, 뇌성마비는 장애 정도, 신경운동학적, 침범부위에 따라 분류할 수 있다(AACPD, 2003). 장애 정도에 따른 분류로는 경도(mild), 중등도(moderate), 중증(severe)으로 나누어 볼 수 있으며, 신경운동학적 분류로는 근긴장도에 따라 경직형, 무정위형, 실조형, 이완형, 강직형, 혼합형으로 나누어 볼 수 있다. 이 중 경직형이 전체의 약 65% 정도로 가장 큰 비율을 차지한다.

경직형 아동의 상지 기능은 움직이기 위해 과도한 노력을 하거나, 공포나 불안감을 느끼게 되면 근 긴장도가 더 증가되어 물체를 잡기 위해 팔을 앞으로 뻗는 능력이 제한되고, 손은 주먹이 꼭 쥐어지게 되어 다양한 움직임이 결여되거나 제한된다. 이는 대뇌 피질의 운동영역의 손상이 주된 원인인데, 특히 브로드만 4번 영역의 손상으로 나타난다. 브로드만 4번 영역은 일차운동영역(primary motor area)이라 불리며, 모든 수의적 운동에 관계하는 피질로서 하위운동신경원(Lower Motor Neuron; LMN)에 연결되어 골격근을 움직이게 하지만, 일차적으로는 손과 같은 원위부 근육의 정확한 운동에 필요한 근육을 조절하는 역할을 한다. 일차운동영역이 손상되면 수의 운동을 못하게 되나 이는 영구적인 마비는 아니고 점차적으로 회복된다. 손상 초기, 사지 근위부의 전체적인 운동은 비교적 보존되는 반면, 원위부의 운동 중 특히 손의 숙련된 미세한 운동이 심하게 제한되는 양상

을 보인다(Budden, 2005).

마지막으로 침범부위에 따른 분류로는 뇌가 어느 정도 손상 받았는지에 따라 단마비, 편마비, 양하지마비, 삼지마비, 사지마비, 하지마비로 나누어 볼 수 있다. 이 중 왼쪽이나 오른쪽 한 곳의 상지와 하지의 마비를 나타내는 편마비형 뇌성마비 아동은 환측 상지에 비정상적인 자세패턴과 경직성으로 인해 관절가동범위에 제한을 가지게 된다(정재권과 오명화, 1999).

정상적인 상지의 기능은 먹기, 옷 입기, 글쓰기 등과 같은 소 운동(fine motor)을 위한 기본 바탕이 되고, 기기, 걷기, 균형 유지하기 및 보호반응 등과 같은 대 운동(gross motor)에 있어서도 중요한 역할을 한다(Shumway-cook & Wollacott, 2007). 이러한 측면에서 볼 때, 독립적인 생활을 위해 하지보다 상지의 기능 향상이 더욱 중요하다(Sheng & Lin, 2009).

상지의 기능을 향상시키기 위한 재활 훈련으로는 신경 근 전기 자극 치료, 로봇을 이용한 상지 훈련(robot-assist arm training), 목표 지향적 상지 훈련 등이 있다(Urton, Kohia, Davis, & Neill, 2007). 최근 이와 같은 상지 재활 훈련으로 집중적인 훈련과 반복적 과제 수행에 초점을 맞춘 치료 기법으로 강제유도 운동 치료가 있다(Lin, Chang, Wu, & Chen, 2009).

본 논문에서는 강제유도운동치료의 정의 및 이론적 배경에 대해 알아보고, 경직성 편마비형 뇌성마비 아동을 대상으로 강제유도운동치료 적용 후, 뇌의 신경학적 변화를 살펴본 연구에 대해서 분석해보고자 한다.

II. 본 론

1. 강제유도운동치료

강제유도운동치료(Constraint-Induced Movement Therapy; CIMT)는 최근 신경재활 분야에서 가장 주목 받고 있는 치료법 중 하나이다. 강제유도운동치료는 단기간의 강도 높은 훈련을 환측 팔에 제공하고,

건측 팔을 2주간 깨어 있는 시간의 90% 동안 사용하지 못하도록 제한함으로써 손상된 상지의 기능 및 사용을 향상시키는 재활프로그램이다(Taub et al., 1993). 강제유도운동치료의 전제 원칙은 1) 손상이 적은 쪽 또는 건측의 역할을 통한 환측의 강제적 사용, 2) 환측의 형상화 기법(shaping)을 통한 훈련, 3) 이 두 가지를 포함한 강도 높은 수행이다(박수현과 유은영, 2004). 강제유도운동치료라는 용어는 1998년 이전에는 강요된 사용(forced use)으로 불리다가 현재는 건측 억제 유도 운동, 건측 상지 운동 제한 치료 등으로 다양하게 사용되고 있다(김세연, 2010).

강제유도운동치료는 장시간 동안 강제적으로 집중적인 환측 상지 움직임 및 일상생활동작 훈련을 시행하는 것이기 때문에 이로 인한 신체적 불편함, 심리적 불안 및 부담감이 증가될 수 있다는 제한점이 있다(Page, Levine, Sisto, Bond, & Johnston, 2002). 이러한 강제유도운동치료의 제한점을 보완하기 위하여, 수정된 강제유도운동치료(modified Constraint-Induced Movement Therapy; mCIMT)가 고안되었다. 수정된 강제유도운동치료의 가장 대표적인 방법은 건측 상지의 제한시간을 하루 5시간으로 하고 1~2시간 동안 집중적인 환측 상지 사용훈련을 10주 정도 시행하는 것이다(Page et al., 2002).

2. 강제유도운동치료의 이론적 기초

1) 학습된 무사용(learned non-use)

강제유도운동치료의 이론적 기초를 제공한 것은 원숭이를 대상으로 한 실험이었다. 원숭이들의 한쪽 팔에 감각신경을 절제하여 탈감각화(deafferentation) 시켰더니 원숭이들은 운동기능이 남아있음에도 불구하고 탈감각화 된 상지를 사용하지 않았다. 그러나 양 팔을 모두 탈감각화 하였을 때는 양 팔을 모두 잘 사용하는 것을 관찰하였다. 관찰을 통해 감각적 피드백이 없는 팔의 사용은 실패를 경험하게 되고, 이로 인해 부정적 강화를 받는다는 것을 알았다. 이러한 부정적 강화로 인해 한쪽 팔을 사용하지 않게 되는 현상을 학습된 무사용(learned nonuse) 이론

이라 하였다(Taub, Uswatte, Mark, & Morris, 2006)(그림 1).

Taub는 이러한 학습된 무사용 현상을 극복하기 위하여 건측 상지의 움직임을 제한시키고, 환측 상지의 인식을 증가시키는 형상화 기법(shaping)을 이용하여 손상측 팔의 사용을 강화하는 강제유도운동치료를 제안하였다(Taub, 1980).

2) 사용 의존성 피질 재구성

(use-dependent cortical reorganization)

사용 의존성 피질 재구성 이론은 인간의 신체부위에 대한 대뇌 피질 표상의 크기는 사용량에 따라 비례하여 증가하며, 피질 재구성의 정도가 병리학적 회복 정도와 관련이 있다는 것이다(Elbert et al., 1998; Nudo, Wise, Sifuentes, & Miliken, 1996).

Elbert 등(1994)은 중추신경계 손상을 입은 사람에게 광범위한 피질 재구성이 나타난다는 사실을 알아내었다. 이는 학습된 무사용으로 인해 손상된 팔을 집중적이고 반복적인 훈련을 통해 사용하는 기회가 많아질수록 피질 재구성을 더욱 촉진시키며 결과적으로 상지의 기능을 담당하는 피질 표상의 크기를 증가시켜 상지의 움직임을 이끌어 낼 수 있다는 뇌의 가소성을 입증하는 것이다. 사용에 따른 피질 재구성은 손상된 팔의 사용과 움직임에 대한 기초를 확립하며 일반적으로 영구적인 학습된 무사용을 보이는 손상된 팔을 일상생활에서도 사용할 수 있도록 전환한다(Taub et al., 2006)(그림 2).

Kopp 등(1999)은 건측의 사용을 제한하는 강제유도운동치료를 실시하고 3개월 후, 대뇌 피질을 관찰하였더니 환측 상지와 같은 쪽의 대뇌반구에 손상된 상지의 운동을 담당하는 영역이 생겼다고 보고하였다. 또 다른 연구에서는 편마비 환자에게 강제유도운동치료를 적용한 후 기능적 자기공명영상법(functional Magnetic Resonance Imaging; fMRI)을 촬영 결과, 대상자들의 손상된 대뇌피질의 운동영역의 주변영역이 활성화되었다고 하였다(Levy, Nicholas, Schmalbrock, Kell, & Chakeres, 2001). 이와 같은 연구들은 강제유도운동치료가 사용에 따른 피질 재구성을 보인다는

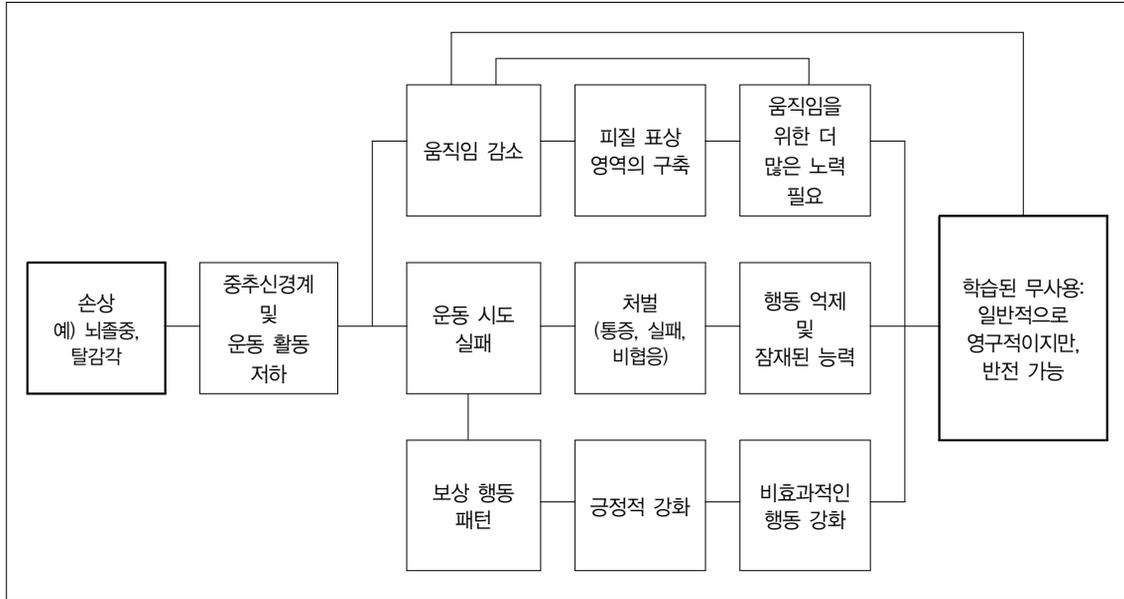


그림 1. 학습된 무사용

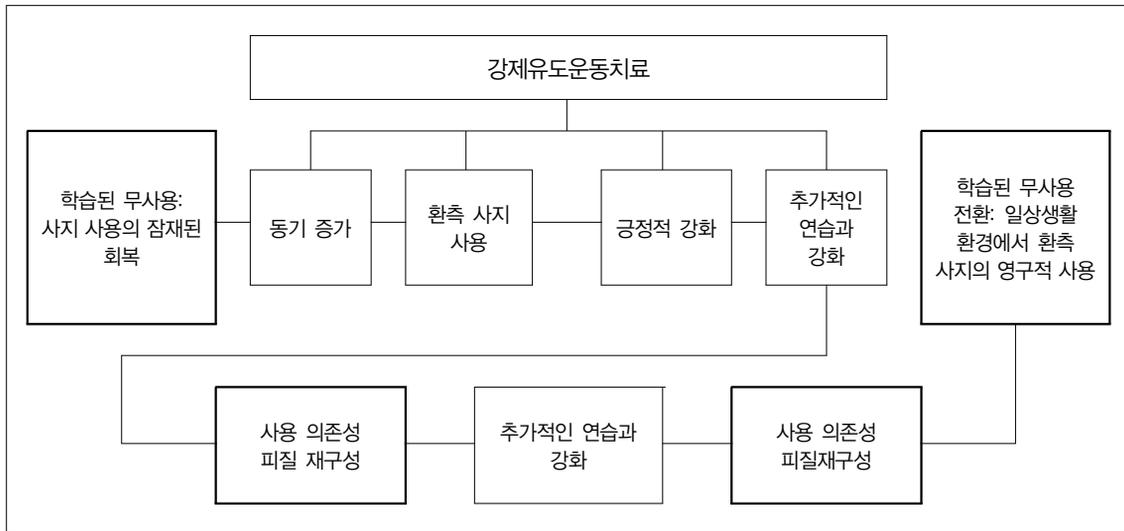


그림 2. 학습된 무사용 극복

가설을 증명하는 것이며, 강제유도운동치료의 효과를 입증하는 것이다.

3. 신경가소성(neuroplasticity)

뇌의 신경 경로가 외부의 자극이나 경험, 학습에

의해 구조 기능적으로 변화하고 재조직화 되는 현상을 뇌의 신경가소성이라 한다(Brady & Garcia, 2009). 신경가소성은 새로운 기술의 습득이나 학습, 기억의 기본적인 기전이며 뇌졸중, 뇌성마비 등 대뇌신경계 손상 후 기능이 회복되는 것도 이에 의한 것이다(김연희, 2008).

Cramer 등(1997)은 운동신경기능 회복 기전으로는 동일 반구 내에서 손상된 일차 운동피질(Primary motor cortex) 인근 영역으로의 재조합, 동측 운동신경 경로(ipsilateral motor pathway)의 활성화, 보조 운동영역(Supplementary Motor Area; SMA)의 활성화 등을 보고하였다. 또한 신경가소성은 감각 입력 뿐만 아니라 습관화, 학습과 기억 및 손상 후 세포 회복에 따른 중추신경계의 재조직화와 수정을 나타내는 것으로 시냅스 연결의 효율이나 강도에서의 변화를 나타내는 단기간의 변화에서부터 뉴런간의 구조화와 연결수의 변화를 나타내는 장기간의 구조변화까지 포함하며, 운동조절과 재학습도 이러한 신경가소성에 의해 가능하다(김정오 등, 2007; 박찬웅, 1998). 따라서 최근에는 신경가소성의 원리 및 기전을 바탕으로 뇌 손상 후 치료 및 학습과 관련된 뇌신경 재조직에 관하여 최근 많은 연구가 이루어지고 있다.

4. 신경가소성 원리를 이용한 강제유도운동치료

1) 강제유도운동치료 적용 대상자

강제유도운동치료를 적용할 수 있는 주 대상자는 자발적인 손목 신전이 최소 20도 이상 가능하며, 중수지관절(metacarpophalangeal joint)과 수근골관절(interphalangeal joint)을 최소 10도 이상 신전시킬 수 있는 자이다(Taub, Uswatte, & Pidikiti, 1999).

2) 강제유도운동치료의 건축 제한 방법

강제유도운동치료의 건축을 제한하는 방법은 연구에 따라 다양하다. 기존의 많은 연구에서 건축을 제한하는 방법으로 팔걸이(sling)를 많이 사용하였고, 팔걸이 안에 장갑이나 스플린트를 착용하는 방식으로 약간 변형하여 사용하기도 하였다(Bonifer & Anderson, 2003; Glover, Mateer, Yell & Speed, 2002; Kopp et al., 1999). 최근 연구에서는 건축을 억제하는 방법으로 캐스트(cast)를 많이 이용하고 있다.

3) 강제유도운동치료 적용 후 결과 측정 방법

강제유도운동치료 적용 후 치료 결과 분석을 위한

평가로 가장 많이 사용되는 도구인 소아 운동 활동 측정표(Pediatric Motor Activity Log; PMAL)는 병/킵 잡기, 버튼 누르기, 신발이나 양말 벗기 등 22가지 과제를 자가보고 형식으로 평가한다. 평가는 환측 상지를 사용하는 양(Amount of Use; AOU)과 움직임의 질(Quality of Movement; QOM) 이 두 가지를 6점 척도(0점: 전혀 사용하지 않음, 5점: 정상적 사용)로 점수화 한다(Taub, Ramey, DeLuca, & Echols, 2004). 소아 운동 활동 측정표(PMAL)가 일상생활 수행 능력에 대한 평가인데 반해 상지 질적 평가(Quality of Upper Extremities Skills Test; QUEST)는 치료실에서의 직접적인 평가를 통해 환측의 운동기능 및 움직임의 질을 평가하는 도구이다(Sutcliffe, Logan, & Fehlings, 2009). 이외에도 16가지 항목으로 구성된 환측의 상지 기능을 평가하는 멜버른 상지 평가(Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function; MAULF)와 환측과 건측의 양손 협응을 보기 위한 Assisting Hand Assessment(AHA)가 강제유도운동치료의 효과를 증명하기 위한 도구로 사용되고 있다(Sutcliffe et al., 2009; Sutcliffe, Gaetz, Logan, Cheyne, & Fehlings, 2007).

이러한 운동기능의 증진에 대한 평가와 더불어 최근에는 신경영상기술인 기능적 자기공명영상(functional Magnetic Resonance Imaging; fMRI)을 이용하여 강제유도운동치료의 적용 전, 후를 측정하기도 한다(Cope et al., 2010; Sterling et al., 2013; Sutcliffe et al., 2007; Sutcliffe et al., 2009). 즉, 치료 전, 후의 대뇌피질의 활성 부위 크기 변화를 통해 기질적 변화를 측정한다. 또한 뇌신경세포의 전기적 활동에서 발생하는 미세한 생체 자기를 초전도 코일을 이용하여 측정하고 영상화하는 뇌자도(Magnetoencephalography; MEG) 검사가 이용되고 있다(Sutcliffe et al., 2007).

4) 강제유도운동치료를 적용한 연구

뇌성마비 아동을 대상으로 강제유도운동치료를 적용하여 상지의 기능적 회복 또는 향상을 살펴본 연구

는 꾸준히 제시되고 있다. 그러나, 뇌성마비 아동에게 강제유도운동치료를 적용한 후, 뇌의 신경학적 변화를 살펴본 연구는 미흡한 실정이다(표 1).

Sutcliffe 등(2007)은 선천적 우측 편마비 남아 1명에게 수정된 강제유도운동치료를 적용한 후 기능적 자기공명영상법(fMRI) 촬영을 하였다. 그 결과, 수정된 강제유도운동치료 적용 후 대상자들의 반대측 대뇌피질이 활성화되었고, 이러한 결과는 6개월 후까지 유지되었다고 하였다.

Sutcliffe, Logan과 Fehlings(2009)는 7~13세 뇌성마비 아동 4명을 대상으로 수정된 강제유도운동치료를 적용하였다. 그 후 자기공명영상법 촬영을 통해 중재 후, 모든 대상자에게서 반대측 대뇌피질이 활성화됨을 보고하였다.

Cope 등(2010)은 7~14세 편마비 아동 10명을 대상으로 수정된 강제유도운동치료를 환측 상지에 하루 4시간씩 2주간 적용하여 음식 준비하기, 옷 입기 등의 기능적 과제를 연습하였다. 중재 후, 모든 대상자에게서 멜버른 상지 기능 평가의 유의한 향상을 나타내었고($p=.02$), 기능적 자기공명영상 검사에서는 7명의 대상자로부터 반대측 반구의 일차 운동 영역의 활성화가 증가되는 결과를 보여주었다.

가장 최근 연구를 살펴보면, 선천적 편마비 아동 10명을 대상으로 하루 3시간씩 주 5일 3주간 건측을 제한하는 강제유도운동치료를 적용하였고, 중재 종료 2일 전에는 건측을 억제하던 석고를 제거하여 양손 활동 훈련을 제공하였다. 강제유도운동치료 후, 손상된 팔의 반대측 감각운동 피질에서 회백질 볼륨(volume)의 유의한 증가를 나타내었다(Sterling et al., 2013).

이와 같은 연구들을 통하여 편마비형 뇌성마비 아동을 대상으로 한 강제유도운동치료의 효과를 입증할 수 있다.

III. 결론

본 고찰에서는 신경가소성과 강제유도운동치료에 대해 살펴보았다. 경직성 편마비형 뇌성마비 아동에

게 강제유도운동치료 또는 수정된 강제유도운동치료를 적용하여 신체 부분의 움직임의 양에 따라 대뇌피질에 나타나는 신체 부위의 크기가 변한다는 것을 보여주었다. 또한 강제유도운동치료는 반대측 운동피질의 활성을 증가시켜주고, 동측 피질의 활성을 감소시켜 신경재조직에 영향을 준다. 따라서, 강제유도운동치료는 신경가소성 원리를 이용하여 뇌성마비 아동의 상지 재활에 적용할 수 있는 치료 방법이라 하겠다.

표 1. 강제유도운동치료 중재 후, 뇌의 신경학적 변화를 살펴본 연구

저자, 연도	대상자(Patient)	중재(Intervention)	결과측정방법	결과(Outcome)
Sterling et al., 2013	선천적 편마비 아동 10명	강제유도운동치료 (하루 3시간, 주 5일, 3주간) 중재 종료 2일전에는 cast를 제거하여 양손 활동 훈련 제공 건축 억제: casting	PMAL-R, fMRI	중재 후, 손상된 팔의 반대측 감각운동 피질에서 회백질 볼륨(volume)의 유의한 증가를 보임($p=0.04$).
Cope et al., 2010	7~14세 편마비 아동 10명	수정된 강제유도운동치료 게임, 수공예, 음식 준비하기, 운동장 활동, 옷 입기, 치장하기 등 기능적 과제 연습 (하루 4시간씩 2주간) 건축 억제: Soft cast	MAULF, fMRI	중재 후, 상지 기능 수행의 향상을 보임(MAULF, $p=0.02$). 10명 중 7명의 대상자에게서 반대측 반구의 일차 운동 영역의 활성화가 증가됨을 보임.
Sutcliffe, Logan, & Fehlings, 2009	7~13세 뇌성마비 아동 5명	수정된 강제유도운동치료 활동: 근력운동, 대/소운동, 자조관리 활동 등 건축 억제: 지속적 casting	PMAL, QUEST, AHA, grip strength, fMRI	중재 후, 모든 상지 기능 평가에서 유의한 향상을 보임. 또한, 모든 대상자에게서 반대측 대뇌피질이 활성화됨.
Sutcliffe, Gaetz, Logan, Cheyne, & Fehlings, 2007	선천적 우측 편마비 남아 1명	수정된 강제유도운동치료 (작업치료 1시간씩 주 1회, 3주간) 건축 억제: 3주간 casting	PMAL, QUEST, COPM, AHA, fMRI, MEG	수정된 강제유도운동치료 적용 후 대상자들의 반대측 대뇌피질이 활성화되었고, 이러한 결과는 6개월 후 까지 유지되었음.

AHA: Assisting Hand Assessment, COPM: Canadian Occupational Performance Measure, fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging, GMFIM: Gross Motor Function Measure, MAULF: Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function, MEG: Magnetoencephalography, PMAL: Pediatric Motor Activity Log, PMAL-R: Pediatric Motor Activity Log-Revised, QUEST: Quality of Upper Extremities Skills Test

참 고 문 헌

- 김세연. (2010). 수정된 건축 상지 운동 제한 치료가 편마비형 뇌성마비 아동의 손 기능에 미치는 효과. *대한보조공학기술학회지*, 2(1), 21-30.
- 김연희. (2008). 뇌손상 후 신경가소성 기전과 뇌신경 재활. *Brain & NeuroRehabilitation*, 1(1), 6-11.
- 김정오, 곽호완, 박창호, 박권생, 정상철, 남중호, 도경수. (역) (2007). *감각과 지각* (7판). 서울, 한국: 시그마프레스.
- 박수현, 유은영. (2004). 강제유도운동치료에 관한 고찰. *대한직업치료학회지*, 12(1), 123-138.
- 박찬웅. (1998). 뇌: 학습과 기억의 구조 (pp 77-143). 서울, 한국: 서울대학교출판부.
- 정재권, 오명화. (1999). 손기능 훈련 프로그램이 뇌성마비아의 상지기능에 미치는 효과. *지체중복건강장애연구*, 34, 85-99.
- American Academy for Cerebral Palsy and Developmental Medicine. (2003). *AACPDM methodology for developing evidence tables and reviewing treatment outcomes research*. Retrieved from http://www.aacpdm.org/resources/BUT_guide.pdf
- Arner, M., Eliasson, A. C., Nicklasson, S., Sommerstein, K., & Hagglund, G. (2008). Hand function in cerebral palsy. Report of 367 children in a population-based longitudinal health care program. *Journal of Hand Surgery*, 33, 1337-1347. doi:10.1016/j.jhsa.2008.02.032
- Bax, M. (1964). Terminology and classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 6, 295-297.
- Bonifer, N., & Anderson, K. M. (2003). Application of constraint-induced movement therapy for an individual with severe chronic upper extremity hemiplegia. *Physical Therapy*, 83, 384-398.
- Brady, K., & Garcia, T. (2009). Constraint-induced movement therapy (CIMT): Pediatric applications. *Developmental Disabilities Research Reviews*, 15, 102-111. doi:10.1002/ddrr.59
- Budden, S. (2005). Cerebral palsy etiology and classification. Retrieved from [http://www.pediatriconcall.com/fordocor/conference_abstracts/Cerebral %20Palsy%20Etiology%20&%20Classification.pdf](http://www.pediatriconcall.com/fordocor/conference_abstracts/Cerebral%20Palsy%20Etiology%20&%20Classification.pdf)
- Cramer, S. C., Nelles, G., Benson, R. R., Kaplan, J. D., Parker, R. A., Kwong, K. K., Rosen, B. R. (1997). A functional MRI study of subjects recovered from hemiparetic stroke. *Stroke*, 28, 2518-2527. doi:10.1161/01.STR.28.12.2518
- Cope, S M., Liu, X. C., Verber, M. D., Cayo, C., Rao, S., & Tassone, J. C. (2010). Upper limb function and brain reorganization after constraint-induced movement therapy in children with hemiplegia. *Developmental Neurorehabilitation*, 13(1), 19-30. doi:10.3109/17518420903236247
- Elbert, T., Candia, B., Altenmueller, E., Rau, H., Steer, A., Rockstroh, B., Taub, E. (1998). Alteration of digital representations in somatosensory cortex in focal hand dystonia. *Neuroreport*, 9, 3571-3575.
- Glover, J. E., Mateer, C. A., Yell, C., & Speed, S. (2002). The effectiveness of constraint-induced movement therapy in two young children with hemiplegia. *Pediatric Rehabilitation*, 5, 125-131. doi:10.1080/1363849021000039326
- Kopp, B., Kunkel, A., Mühlhnickel, W., Vilringer, K., Taub, E., & Flor, H. (1999). Plasticity in the motor system related to therapy-induced improvement of movement after stroke.

- Neuroreport*, 10, 807–810.
- Levy, C. E., Nicholas, D. S., Schmalbrock, P. M., Keller, P., Chakeres, D. W. (2001). Functional MRI evidence of cortical reorganization in upper-limb stroke hemiplegia treated with constraint-induced movement therapy. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 80(1), 4–12.
- Lin, K. C., Chang, Y. F., Wu, C. Y., & Chen, Y. A. (2009). Effects of constraint-induced therapy versus bilateral arm training on motor performance, daily functions, and quality of life in stroke survivors. *Neurorehabilitation & Neural Repair*, 23, 441–448. doi:10.1177/1545968308328719
- Missiuna, C., Smits, C., Rosenbaum, P. L., Woodside, J., & Law, M. (2001). *Report to the ministry of health on the incidence and prevalence of childhood disability*. Hamilton, Ohio: Canchild.
- Nelson, K., & Russman, B. (2002). Cerebral Palsy. In K. Swaiman (Ed.), *Pediatric Neurology* (pp. 471–488). St. Louis, MO: Mosby.
- Nudo, R. J., Wise, B. M., Sifuentes, F., & Milliken, G. W. (1996). Neural substrates for the effects of rehabilitative training on motor recovery after ischemic infarct. *Science*, 272, 1791–1794. doi:10.1126/science.272.5269.1791
- Page, S. J., Levine, P., Sisto, S., Bond, Q., & Johnston, M. V. (2002). Stroke patients' and therapists' opinions of constraint-induced movement therapy. *Clinical Rehabilitation*, 16(1), 55–60. doi:10.1191/0269215502cr473oa
- Sheng, B., & Lin, M. (2009). A longitudinal study of functional magnetic resonance imaging in upper-limb hemiplegia after stroke treated with constraint-induced movement therapy. *Brain Injury*, 23(1), 65–70. doi:10.1080/02699050802635299
- Shumway-Cook, A., & Wollacott, M. H. (2007). *Motor control: Translating research into clinical practice*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Sterling, C., Taub, E., Davis, D., Rickards, T., Gauthier, L. V., Griffin, A., & Uswatte, G. (2013). Structural neuroplastic change after constraint-induced movement therapy in children with cerebral palsy. *Pediatrics*. Advance online publication. doi:10.1542/peds.2012–2051
- Sutcliffe, T. L., Gaetz, W., Logan, W. J., Cheyne, D. O., & Fehlings, D. L. (2007). Cortical reorganization after modified constraint-induced movement therapy in pediatric hemiplegic cerebral palsy. *Journal of Child Neurology*, 22, 1281–1287. doi:10.1177/0883073807307084
- Sutcliffe, T. L., Logan, W. J., & Fehlings, D. L. (2009). Pediatric constraint-induced movement therapy is associated with increased contralateral cortical activity on functional magnetic resonance imaging. *Journal of Child Neurology*, 24, 1230–1235. doi:10.1177/0883073809341268
- Taub, E. (1980). Somatosensory deafferentation research with monkeys: Implications for rehabilitation medicine. In L. P. Ince (Ed.), *Behavioral psychology in rehabilitation medicine: clinical applications* (pp. 371–401). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Taub, E., Miller, N. E., Novack, T. A., Cook, E. W., Fleming, W. C., Nepomuceno, C. S.,

- Crago, J. E. (1993). Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, *74*, 347–354.
- Taub, E., Ramey, S. L., DeLuca, S., & Echols, K. (2004). Efficacy of constraint-induced movement therapy for children with cerebral palsy with asymmetric motor impairment. *Pediatrics*, *113*, 305–312. doi:10.154 2/peds.113.2.305
- Taub, E., Uswatte, G., Mark, V. W., & Morris, D. M. (2006). The learned nonuse phenomenon: Implications for rehabilitation. *Europa Medicophysica*, *42*, 241–256.
- Taub, E., Uswatte, G., & Pidikiti, R. (1999). Constraint-induced movement therapy: A new family of techniques with broad application to physical rehabilitation: A clinical review. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, *36*, 237–251.
- Urton, M. L., Kohia, M., Davis, J., & Neill, M. R. (2007). Systematic literature review of treatment interventions for upper extremity hemiparesis following stroke. *Occupational Therapy International*, *14*(1), 11–27. doi: 10.1002/oti.220

Abstract

A Review of the Plasticity and Constraint Induced Movement Therapy : Children With Spastic Hemiplegic Cerebral Palsy

Cho, Sang-Yoon*, B.H.Sc., O.T.

*Dept. of Occupational Therapy, The Graduate School, Yonsei University

Constraint-Induced Movement Therapy(CIMT) is considered as one of the most interesting upper extremity rehabilitation in the field of neurorehabilitation. CIMT is an intensive training provided in the affected upper limb for 6 hours a day, 5 days a week for 2 weeks, while unaffected arm is restrained for 90% of waking hours.

Recently, instead of CIMT, modified Constraint-Induced Movement Therapy(mCIMT) has been applied because of the clinical limitations of CIMT. CIMT or mCIMT studies have used various outcome instruments to measure different aspects of upper limb function after intervention.

There are various kinds of evaluation tools to measure different aspects of upper limb function after CIMT intervention. It has been proven that Pediatric Motor Activity Log(PMAL), Quality of Upper Extremities Skills Test(QUEST), Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function(MAULF), Assisting Hand Assessment (AHA) are effective.

The purpose of this study was to investigate the cortical change in children with hemiplegic cerebral palsy after CIMT. As a result, use-dependent cortical reorganization was revealed. Also, increased activity of the contralateral motor cortex and decreased activity of the ipsilateral cortex were found. It supports the mechanism of cortical reorganization, the principles of neural plasticity and specifically activation of the contralateral cortex, for improving upper limb function after CIMT.

Key words : Cerebral palsy, Constraint induced movement therapy, Plasticity, Upper extremity rehabilitation, Use-dependent cortical reorganization