

편마비 아동의 재활프로그램에 대한 양측성 전이 패러다임의 적용가능성

계명대학교 대학원 체육학과
김 미 현
계명대학교 체육대학 체육학과
박 상 범

Applicability of bilateral transfer paradigm to the rehabilitation programs for children with hemiplegic cerebral palsy

Kim, Mi-Hyun, P.T., M.S.

Department of Physical Education, Graduate School, Keimyung University

Park, Sang-Bum, Ph.D.

Department of Physical Education, College of Physical Education, Keimyung University

< Abstract >

The purpose of this study was to provide experimental evidence and theoretical background for the applicability of bilateral transfer paradigm to the rehabilitation programs for children with hemiplegic cerebral palsy. Children with hemiplegia, which means unilateral motor disabilities, display abnormal motor and postural patterns of the affected side due to hemiparesis, spasticity, and sensory disorders, resulting in a decreased motor abilities of the affected side compared to unaffected side. Accordingly, they tend to rely on the unaffected limb for everyday activities, which further deteriorates the functions of the affected side by causing associated reaction, abnormal postural patterns, and hypertonus. Rehabilitation programs developed for children with hemiplegic cerebral palsy include neurodevelopmental treatment, application of cast or splint to unaffected limb, neuromuscular electrical stimulation, and task oriented model. These programs, however, have several drawbacks, such as discontinuity in treatment effect and psychological hatred to the force use of the affected side. In order to solve these problems and enhance the efficiency of the rehabilitation programs, it is required to maximize the use of the affected side without hatred. Characteristics of the control system, such as temporal coupling and spatial assimilation between limbs and neural crosstalk at different levels of central motor pathway, suggest that the bilateral transfer paradigm may enhance the efficiency of the rehabilitation programs for children with hemiplegic cerebral palsy.

I. 서론

다양한 원인에 의해 발생할 수 있는 경직성 편마비(spastic hemiplegia)는 환측 상지의 비정상적인 근긴장도, 마비, 형태변형 및 감각장애를 야기함으로써 일상적인 운동수행능력을 현저히 감소시킨다. 결과적으로, 편마비 아동들은 비교적 정상적인 관절가동범위와 근긴장도 및 근력을 지닌 비환측 상지(unaffected side)에 의존하여 일상적인 활동을 수행하게 되며, 환측(affected side)의 접촉과 사용을 거부하게 된다. 이러한 경향은 편마비의 침범기간이 길어질수록 강해지며, 그로 인한 환측 상지의 사용기회 감소는 환측 상지의 기능을 점점 더 악화시키는 결과를 초래한다. 편마비로 인한 환측 상지의 기능감소는 아동들에 있어 행동상의 어려움뿐만 아니라 심리적인 좌절감을 느끼게 할 수 있다. 환측 상지의 감각자극을 촉진시키고, 자세변형을 최소화시키며, 사용기회를 증가시킴으로써 편마비 아동의 상지기능을 향상시키려는 치료 프로그램들은 주로 환측 상지에만 적용되어왔다.

환측 상지만을 강조한 치료방법들은 효과의 지속성, 운동마비와 감각장애, 환측에 대한 무시와 환측 사용에 대한 거부감 등으로 인해 장기적인 치료효과를 얻지 못하는 것으로 밝혀지고 있다(Carmick, 1993b; Powell 등, 1999). 따라서, 편마비 아동의 환측 상지 기능향상을 위해서는 환측 상지의 보다 자발적이고 적극적인 이용을 유도함으로써 장기적인 치료효과를 얻을 수 있는 프로그램의 개발이 필요한 실정이다.

양손이 시·공간적으로 연결되어있고(Castello 등, 1993; Jackson 등, 1999) 중추신경계가 양측성으로 연결되어있다는 사실(Beneke 등, 1991; Colebatch 등, 1991)은 양측성 동작 수행시 환측의 기능이 더 나아질 수 있음을 시사하며 실제로 운동과제의 수행시 환측 상지와 비환측 상지를 동시에 사용하는 것이 환측 상지만을 이용하여 동작을 수행할 때보다 속도, 동작시간, 자세제어 등 운동수행력의 향상을 가져오는 것으로 나타났다(Steenbergen 등, 1996; Utley와 Sugden, 1998). 환측 상지만 이용할 때보다 양측 상지를 동시에 이용하였을 때 이러한 운동수행력의 향상은 비환측 상지에서 환측 상지로의 양측성 전이(bilateral transfer)효과로 설명될 수 있으며, 이는 양상지를 지배하는 중추신경로의 양측성 연결과 신경원간의 조직망(interneuronal networks) 변화로 가능할 것이다(Enoka, 1988). 또한 양손의 동시적인 수행

시 환측 상지의 비정상적인 자세패턴과 운동장애를 일으키는 경직성의 증가에 결정적인 역할을 하는 연합반응이 억제된다는 사실은 양손의 동시적인 이용이 편마비 아동들의 환측 상지기능을 향상시키기 위한 효과적인 접근이 될 수 있음을 재의한다.

본 연구의 목적은 편마비 아동들의 상지 재활프로그램에 대한 양측성 전이 패러다임의 적용가능성을 뒷받침하는 이론적 근거와 실험적 증거를 제시하는 것이다. 본 논문에서는 먼저 편마비형 뇌성마비의 원인과 증상 및 편마비 아동들의 상지 운동제어 특성을 살펴보기로 한다. 이어서, 편마비 아동들의 환측 상지운동능력을 향상시키기 위해 현재 이용되고 있는 재활프로그램의 특성과 문제점을 검토한 다음, 편마비 아동들의 재활프로그램에 대한 양측성 전이 패러다임의 적용가능성에 대한 이론적 근거로서 운동제어체계의 특성을 검토하기로 한다.

II. 편마비형 뇌성마비의 원인과 증상 및 편마비 아동의 상지 운동제어 특성

1. 편마비형 뇌성마비의 원인과 증상

편마비형 뇌성마비는 출생전, 출생시, 또는 출생후의 다양한 원인들에 의해 발생할 수 있다. 편마비의 출생전 원인에는 뇌혈관 경색(특히 중대뇌동맥), 심혈관 허탈(collapse), 심한 저혈증(serious hypoxemia), 모체감염, 그리고 직접적인 외상 등이 있으며(Nelson, 1991; de Vries 등, 1997), 출생시의 원인에는 조산, 난산, 점자분만, 비정상적인 태위, 저산소증 또는 허혈증, 뇌출혈 등이 있다(Swaiman, 1992). 편마비를 유발시키는 출생후의 원인에는 수막염, 뇌막염, 뇌졸중, 뇌외상, 혈관염(vasculitis) 등이 있다(Banich 등, 1990). 이처럼 다양한 원인들에 의해 발생할 수 있는 편마비형 뇌성마비는 뇌손상의 부위와 정도에 따라 운동장애, 감각결함, 정신지체, 언어장애, 발작, 학습문제, 기질적 행동문제, 반맹증(homononymous hemianopsia) 등과 같은 증상들을 수반할 수 있다(Swaiman, 1992; Long과 Cintas, 1995).

편마비 아동은 운동장애나 감각결함으로 인해 유아기의 운동능력 발달면에서 정상아와의 차이를 보이게 된다. 신체이동능력의 발달면에서 볼 때, 편마비 아동은 비환측 상지와 하지만을 이용하여 배밀이를 하며, 기지 않고 바로 앉기로 진행하는데 이때 환측 상지와 하지는 뒤

에서 끌게 된다(Bobath와 Bobath, 1987). 이들은 비환측의 도움으로 앉고 일어서는 것을 배우게 되며, 선 자세로 균형을 취하는 것이나 보행은 다소 늦어진다. 대부분의 편마비 아동은 2세 내지 3세에는 걸을 수 있게 되지만(Molnar와 Gordon, 1976), 하지의 경직성 자세패턴과 근력의 약화로 인해 발걸음을 옮길 때마다 환측 다리로 원을 그리듯 발가락으로 걷는 회선 보행(circumductive gait)이 이루어지며(Swaiman, 1992), 동시에 팔과 손의 굴곡 경직성이 증가한다.

이러한 현상은 연합반응의 결과로 볼 수 있으며, 보행시 환측 다리를 사용하는데 어려움을 느끼기 때문에 신체의 균형을 유지하기 위해 비환측 다리가 과도하게 활동함으로써 야기된다(Long과 Cintas, 1995). 연합반응은 비환측 상지의 힘을 요구하는 활동에 의해서도 나타나며, 경직성의 점차적인 증가를 유도함으로써 전완의 회내와 함께 주관절 굴곡, 손목과 손가락의 굴곡변형을 더 악화시키며, 결국 환측 손의 사용을 억제시킴으로써 편마비 아동들의 독특한 상지운동패턴을 유발시키게 된다.

2. 편마비 아동들의 상지 운동제어 특성

상지의 운동제어과정에서 편마비 아동이 보여주는 특성은 원심성 통로의 이상으로 인한 운동수행능력의 감소와 구심성 통로의 이상으로 인한 감각장애로 구분될 수 있다.

1) 운동수행능력의 감소

경직성 편마비 아동은 흔히 환측 상지의 과긴장도, 비정상적인 운동패턴, 운동속도의 감소, 협응부족 등을 나타내며, 특히 경직성으로 인해 관절가동범위의 제한, 근력약화, 자세제어의 어려움 등을 지니게 된다(Giuliani, 1991). 하지만, 비환측 상지의 경우에는 정상적인 관절가동범위와 근긴장도를 유지하며, 잡기 형태와 악력도 정상이다(Cooper 등, 1995).

환측 상지에서 관찰되는 경직성은 하행로(주로 피질적 수로)가 손상됨으로 인해 운동신경원에 대한 중추적 억제가 감소된 결과로 나타나며, 정상적인 감각 경험을 방해하여 비정상적인 운동패턴을 야기한다(Bobath와 Bobath, 1987).

증가된 근긴장도는 길항근의 협력수축과 지속적인 활동을 유도함으로써 주동근활동을 억제시키며, 결과적으로 근력의 약화를 유도한다(Giuliani, 1991). 이러한 근력

의 약화는 근섬유의 크기 감소(근 위축), 근섬유의 활동수준 감소, 근육 변성 등으로 인해 나타날 수 있다(Berger, Quintern과 Dietz, 1982). 운동속도의 측면에서도 환측은 비환측과 매우 뚜렷한 차이를 보이며, 비환측에 비해 훨씬 더 빨리 피로해진다(Cooper 등, 1995). 환측 상지의 근육 협응은 흔히 비정상적인 순서로 활성화되며, 근육제어의 부족으로 인해 몇 개의 근육군이 동시에 수축하고 주동근과 길항근의 협력수축이 일어난다(Giuliani, 1991).

2) 감각장애

상당수의 편마비 아동들은 비환측 상지에서 입체인지(stereognosis) 결함과 고유감각 결함 등의 감각장애가 보이지만, 이러한 감각결함이 운동기능과 직접적인 관련성을 지니지는 않는다(Cooper 등, 1995). 예를 들어, 시각을 차단한 상태에서 다섯 개의 모양(원, 삼각형, 사각형, 마름모꼴, 팔각형)과 다섯 가지의 일상적인 물건(치솔, 테니스 공, 큰 컵, 사탕, 4인치 길이의 빗)을 무작위순으로 내놓은 후 알아맞히는 과제와 피험자의 손이 검사자의 손에 의해 지지된 상태에서 눈을 감고 엄지와 검지 그리고 약지를 위 또는 아래로 움직인 방향을 구별하도록 하는 과제 등을 이용한 감각기능의 측정에서 비환측 상지의 감각결함을 보였던 편마비 아동들도 서류가방의 손잡이를 잡는 동작인 갈고리모양(hook) 잡기, 열쇠를 잡을 때의 외측(lateral) 집기, 망치로 나무못 박기, 두 손가락으로 집기 등의 잡기형태와 악력은 정상아와 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다(Cooper 등, 1995).

하지만, 편마비 아동들의 환측 상지기능 장애는 운동마비뿐만 아니라 감각결함과도 밀접한 관련이 있다(Cooper 등, 1995). 비록 사지의 감각결함이 시각에 의해 극복될 수는 있지만, 운동수행의 정확성은 체감각적 입력에 의존하기 때문에 편마비 아동들의 감각결함은 환측 상지의 기능에 부정적인 영향을 미치게 된다(Zeman과 Yiannikas, 1989). 편마비 아동은 환측 상지의 경직성이 비교적 약하고 협응이 상당히 정상적일지라도 촉각 구별력과 입체인지에 장애가 있을 경우에는 환측 손의 사용을 기피하게 된다(Kenny 등, 1962). 감각장애와 더불어, 뇌손상으로 인한 주의력 결함과 지각문제도 편마비 아동이 환측을 무시하고 사용하지 않으려 하는 이유 중의 하나이다. 편마비 아동은 감각결함과 주의력결함 등으로 인해 운동학습에 문제를 지니며(Katz 등, 1998), 환측 상지의 기능적인 사용능력은 점차로 감소되는 반면, 일상

생활을 하는데 불편함이 없는 비환측 상지에 대한 의존도는 점점 높아지게 된다. 그리고 비환측 상지의 강한 힘을 요구할 경우 환측의 연합반응이 증가되며 이는 경직성의 증가를 유도하므로 상지의 비정상적인 자세패턴은 더욱 굳어진다.

이상에서 살펴본 편마비 아동의 운동수행능력 감소와 감각장애 등은 환측 상지의 사용기회를 점차 감소시키게 되며, 결과적으로 환측 팔의 길이와 둘레는 비환측에 비해 짧고 가늘어지는데 이러한 차이는 감각결함이 심할수록 현저하게 커진다(Carmick, 1993b; Van Heest 등, 1993).

비환측과 환측 상지의 이러한 형태적 차이는 환측 팔을 거의 사용하지 않음으로 인한 뼈의 느린 성장과 근력의 약화, 그리고 환측 상지의 성장지체를 야기하는 두정엽 기능이상(dysfunction)으로 인해 유발될 수 있다(Swaiman, 1992). 따라서 편마비 아동이 비환측 상지만 사용하는 동안 환측 팔과 손은 연합반응의 결과로 굴곡 경직성이 심해져서 근육구축과 변형이 야기되며, 기능은 점점 약화된다(Fetters와 Kluzik, 1996).

이처럼, 한쪽 상지의 기능은 비교적 정상적인데 반해 다른 쪽 상지는 거의 사용할 수 없음으로 인해 많은 편마비 아동들은 상당한 정서적 또는 행동적 어려움을 지니고 있다. 그러나 이러한 심리적 문제는 대개 인식되지 못하고 있으며 치료를 받지 못하기 때문에 실제로 편마비 아동들의 사회생활에서 문제를 야기하기도 한다(Goodman과 Graham, 1996). 아동들이 일상적인 활동이나 학교생활에서 한쪽 손만 사용할 수 있다는 사실은 큰 장애(handicap)가 될 것이며, 그로 인해 편마비 아동들은 심리적인 좌절감을 느끼게 된다(The Bobath Centre, 1993).

편마비 아동들이 일상생활에서 지니게 되는 이러한 문제점들을 극복할 수 있도록 돕기 위해서는 환측 상지의 감각인식을 증진시키고, 더 이상의 변형을 막으며, 현재의 변형상태를 개선시키고 동시에 기능향상을 유도할 수 있는 재활프로그램의 개발과 적용이 절실히 요구된다.

Ⅲ. 환측 상지의 운동능력 향상을 위한 재활프로그램의 특성과 문제점

편마비 아동의 환측 상지 운동능력 향상을 위해 이용되는 재활프로그램에는 신경발달치료, 비환측 또는 환측

상지에 대한 석고붕대의 적용, 전기적 자극치료, 과제지향모형 등이 있으며, 이러한 프로그램들은 각각 장·단점을 지닌다.

1. 신경발달치료

신경발달치료(Neurodevelopmental treatment)는 Bobath(1967)에 의해 개발된 치료로서 신경근육질환 특히 뇌성마비의 치료에 효과적인 기법으로 정상적인 자세, 동작, 협응패턴의 기초가 되는 자세긴장도와 자세반사기전의 정상화를 강조한다. 뇌성마비 아동의 재활프로그램에서 가장 일반적으로 이용되어온 신경발달치료는 정상적인 동작패턴과 자세반응을 촉진하면서 비정상적인 반사패턴과 동작을 감소시키는데 초점을 두고 있다(Mayo, 1991). 신경발달치료에서 사용되는 조작기술은 체중지지(weight bearing)와 체중이동(weight shifts), 간헐적인 조절(handling), 능동적인 관절가동범위와 신장, 견인 등이며 운동의 질을 향상시키고, 기능적인 수행과 긴장도, 자세와 반사 등을 조절하고자 한다(DeGangi와 Royeen, 1994). 하지만, 신경발달치료가 편마비 아동의 운동능력 향상에 미치는 영향에 대해서는 논란의 여지가 있으며, 일부 연구자들은 신경발달치료가 효과적이라고 보고하고 있으나(Mayo, 1991; Degangi와 Royeen, 1994) 다른 연구자들은 그 효과에 대해 회의적인 입장을 취하고 있다(Carmick, 1993b; Fetters와 Kluzik, 1996).

신경발달치료와 유아자극 프로그램의 효과를 비교한 연구에서 Palmer 등(1988)은 유아자극 프로그램(운동, 감각, 언어, 인지활동으로 구성)을 6개월간 받은 후에 신경발달치료를 받은 집단이 신경발달치료만 받은 집단보다 운동수행력과 지능지수에서 유의하게 높은 향상을 보인 것으로 보고하였다. 손떨기 동작에 대한 신경발달치료와 연습의 효과를 비교한 연구(Fetters와 Kluzik, 1996)에서도 자발적인 동작을 유도하는 5일간의 연습이 신경발달치료에 비해 동작시간의 감소에 더 효과적인 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과들은 신경발달치료를 통한 경직성의 감소와 자세안정성의 향상만으로는 비정상적인 운동패턴을 바꿀 수 없음을 시사한다. 아울러, 신경발달치료의 효과는 그다지 지속적이지 않기 때문에, 편마비 아동의 재활프로그램에서는 힘, 관절의 가동범위, 자세, 그리고 신체분절의 협응을 증진시키기 위한 운동치료원리가 강조되어야 할 것이며(Yasukawa, 1990; Giuliani, 1991), 그와 더불어 아동의 자발적인 참여를 유도할 수 있도록

프로그램을 구성하는 것이 바람직할 것이다.

2. 비환측 상지에 대한 석고붕대 또는 보조기의 적용

편마비 아동의 환측 상지기능을 향상시키기 위해 이용되는 다른 방법은 비환측 상지에 일정 기간동안 석고붕대를 적용시키거나 보조기를 착용하도록 하는 것이다. 비환측 상지를 고정시킴으로써 환측 상지의 사용을 극대화하는 방법은 환측 운동기능의 현저한 향상을 가져오는 것으로 밝혀졌다(성인영과 박준민, 1998; Yasukawa, 1990; Crocker 등, 1997). Crocker 등(1997)은 편마비 아동의 사례연구에서 3주간 깨어있는 시간의 대부분 동안 비환측 상지에 보조기를 착용하도록 한 후 15분간 비디오테일에 녹화된 자유로운 놀이활동과 피바디 소근운동 발달척도(The Peabody Developmental Fine Motor Scale) 검사를 통해 피험자의 행동을 분석한 결과 보조기를 착용하고 있는 기간동안 뿐만 아니라 보조기를 제거한 후 6개월이 지난 뒤에도 환측상지 사용의 다양성, 질과 빈도 등에서 기능향상이 그대로 유지되었다고 보고하였다. 5명의 편마비 아동을 대상으로 비환측 상지에 6주간 단상지 석고붕대를 적용한 성인영과 박준민(1998)의 연구에서도 석고붕대 제거후 환측 손의 운동능력과 원통과대, 정육면체, 단추를 집는 동작에서 기능적인 향상이 나타났다. 아울러, 석고고정기간 동안에 향상되었던 상지 기능은 석고고정을 제거한 후 3개월만에 검사한 기능평가에서도 지속적으로 유지되는 것으로 나타났으며(성인영과 박준민, 1998), 이러한 결과는 환측 상지 기능의 향상을 위해서는 비환측 상지에 석고붕대를 적용하는 방법이 효율적임을 시사한다.

하지만, 이러한 방법은 비환측 상지의 강제적 고정으로 인한 심리적 압박감, 좌절, 피부손상, 보호신전반응 감소로 인한 낙상 가능성 증가(Yasukawa, 1990; Crocker 등, 1997), 관절구축, 그리고 근육위축 등의 부작용을 야기할 가능성이 크다. 실제로 Crocker 등(1997)의 사례연구에서도 두 명의 피험자 중 한 명은 보조기 착용후 흥분과 자유로운 놀이 활동 회피 등의 심리적 거부감으로 실험 1주만에 참여가 종료되었으며, 성인영과 박준민(1998)의 연구에서도 심리적인 문제로 한 명의 피험자가 고정술 후 4시간만에 석고붕대를 제거하였다. 또한 Virtanen 등(1991)의 연구에서는 무릎인대 수술 후 6주의 고정기간으로 인해 대퇴사두근의 내측부 위축과 함께 근

육의 횡단면적이 38%나 감소되는 것으로 나타났다. 이처럼 비환측 상지에 대한 석고붕대의 적용은 환측 상지의 비교적 지속적인 기능향상을 유도할 수 있다는 장점을 지니고 있으나 동시에 심리적인 문제와 비환측 상지 기능의 약화를 야기시킬 수 있으므로 실제 재활과정에서의 적용가능성에는 의문의 여지가 있다.

3. 신경근 전기자극과 과제지향 모형

과제지향적인 활동과 더불어 이용되는 신경근 전기자극은 동작에 필요한 근육의 선별적인 수축을 가능하게 함으로써 목표활동을 보다 쉽게 수행할 수 있도록 하며, 동시에 편마비 아동의 마비측 손 사용과 감각인식을 증가시킴으로써 운동 수행력의 향상을 가져올 수 있다(Carmick, 1993b). 3명의 편마비 아동들을 대상으로 한 실험에서 Carmick(1993a)은 신경근 전기자극치료의 적용 후 보행효율성(locomotor efficiency)의 유의한 증가를 보고하였으며, 한 아동은 생리학적 소비지수(Physiological Cost Index)가 4배나 향상되었고 두 아동은 2배가 향상된 것으로 나타났다. 또한 Baker와 Parker(1986)는 뇌졸중 환자를 대상으로 한 실험에서 6주간의 신경근 전기자극 프로그램이 어깨근육의 근력강화를 통해 어깨 아탈구를 유의하게 감소시킨다는 사실을 발견하였다. 이처럼, 환측 주동근과 협력근의 직접적인 수축을 유도하는 기능적 전기자극치료가 환측 상지의 근수축력과 기능 향상에 도움이 될 수는 있으나, 치료를 받는 동안 전극을 부착하고 과제활동을 해야하는 불편함이 있으며, 치료를 중단한 후에도 향상된 기능이 지속될지에 대한 의문도 제기된다(Carmick, 1997; Pandyan 등, 1997). 실제로 Powell 등(1999)은 성인 편마비환자들을 대상으로 일반치료만 적용한 그룹과 일반치료와 신경근 전기자극치료를 병행한 그룹의 비교에서 8주간의 치료직후에는 전기자극 치료를 받은 집단이 통제군보다 근력이 유의하게 높았으나 치료가 중단된 후(32주)에는 더 이상 두 그룹간의 유의한 차이가 없었다고 보고하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 편마비 아동의 재활프로그램에서 이용되는 치료법들은 환측 상지의 활동만을 강조하는 경향이 있다. 하지만, 편마비 아동은 환측 상지의 독자적인 수행에 어려움을 느끼고 있으며, 결과적으로 환측의 강제적 사용이 요구될 경우 재활프로그램에 대한 심리적 거부감을 나타낼 수 있다. 아울러, 환측 상지의 기능향상을 위한 접근방법들은 그 효과의 지속성에 있어서

도 의문의 여지가 있으며 비환측의 고정이나 환측의 강제적 사용으로 인한 부작용을 초래할 수도 있다. 따라서, 편마비 아동의 환측 상지 기능향상을 위해서는 환측 상지의 보다 자발적이고 적극적인 이용을 유도할 수 있는 프로그램의 개발이 필요할 것이며, 운동제어체계의 특성들에 대한 고려는 양손의 동시적 사용이 그러한 프로그램의 일부가 될 수도 있음을 시사한다.

IV. 운동제어체계의 특성

운동제어체계가 지닌 특성들 중 양손의 운동수행과 직접적으로 관련되는 측면에는 양손의 시·공간적 연결과 중추 운동신경로의 양측성 연결이 있으며, 이러한 특성들은 편마비 아동들이 환측과 비환측 상지를 동시에 이용하면서 동작을 수행할 경우 환측 상지의 운동수행능력이 향상될 수도 있음을 제의한다.

1. 양손의 시·공간적 연결

양손의 시·공간적 연결은 운동제어체계가 지닌 고유한 특성 중의 하나로서, 양손을 이용한 과제 수행시 양측 상지는 단일 협응구조로 연결되어 있다는 것이다. 중추신경계는 양손에 의해 수행되는 동작의 시간적 구조가 동일한 것을 선호한다(Castello 등, 1993). 실제로, 동일한 목표물을 향해 양손을 뻗어서 잡는 동작(reach-to-grasp movement)을 수행할 때 측정된 양측 손동작의 개시시간과 동작기간은 거의 일치하는 것으로 나타났다(Jeanerod, 1984). 아울러, 목표크기의 조작 또는 동작거리의 조절에 의해 양손에 요구되는 동작이 일치하지 않을 때에도 양측 상지의 동작기간은 거의 동일하게 나타났으며(Jackson 등, 1999), 양손의 과제 난이도가 다른 조건에서 다른 속도로 움직일지라도 속도와 가속도 패턴이 거의 완전히 일치되었다는 결과(Kelso 등, 1979)는 양손을 이용한 동작의 수행시 양손이 시간적으로 연결되어 있음을 시사한다.

양손에 의한 운동기능 습득의 초기단계 동안 양측 상지는 일반적으로 하나의 기능적 단위 또는 협응적 구조로 활동하도록 제한되는데, 이러한 제약은 수행해야 할 과제가 양측 상지로부터의 대칭적인 운동출력을 요구할 때 양측 상지의 협응을 촉진시키게 된다(Fagard 등, 1985). 양손의 이러한 공간적 협응은 비대칭적인 운동의 수행시에 비해 동일한 근육의 동시적인 활성화를 요구하

는 대칭적 운동의 수행시에 더 정확하고 일관성있게 일어나는 것으로 보인다. 사지에 의해 수행되는 동작의 방향 역시 사지의 공간적 협응에 영향을 미치는 것으로 보이며, 이에 대한 예로는 Swinnen 등(1997)의 실험을 들 수 있다. 이 실험에서 연구자들은 피험자로 하여금 바닥과 탁자의 수평면에 각각 위치된 두 개의 디지털타이즈에 첨부된 목표 원(직경 9cm)의 윤곽을 추적하는 사지의 여섯 가지 조합을 수행하도록 요구하였으며, 상지와 하지의 공간적 협응은 동작방향이 반대인 경우보다 동일한 경우에 더 정확하게 일치하는 것으로 나타났다.

심지어, 인간의 양손은 시·공간적 패턴이 다른 별개의 동작을 수행할 때도 동시성의 경향, 즉 한쪽이 다른 쪽의 운동특성에 적응하는 경향을 나타낸다(Sherwood, 1994). 여자 대학생들을 대상으로 한 실험에서 Sherwood(1994)는 양손으로 손잡이를 잡고 돌리다가 한 손은 20°지점에서 방향을 반전하고 다른 한 손은 60°지점에서 방향을 반전하는 동작을 각각 또는 함께 수행하도록 요구하였다. 양손으로 동시에 과제를 수행할 때 피험자들은 짧은 거리를 움직인 손이 긴 거리를 움직인 손동작을 따라가서 목표를 지나치게 되는데 이러한 공간적 동화(spatial assimilation)는 양손의 운동수행시 운동제어체계가 공간적으로 연결되어 있음을 시사한다.

실제로 Utley와 Sugden(1998)의 연구에 의하면 편마비 아동들의 경우 빠른 속도의 뻗기(reaching)와 잡기(grasping)동작시 환측 상지의 단독수행 때보다 양상지를 동시에 이용하여 동작을 수행하였을 때 환측 상지의 동작속도가 더 빨라졌으며 동작기간도 단축되었다. 그리고 양상지의 동시적인 동작시 환측 손의 운동행로가 더 낮아지고 손가락의 벌어짐과 신전이 감소되며 뻣뻣함(rigidity)도 줄어들어 좀 더 정상에 가까운 운동패턴을 보이는 것으로 나타났으며, 이는 양상지간의 시간적, 공간적 연결이 이루어짐을 입증한다. Steenbergen 등(1996)의 연구에서도 편마비 환자들이 한쪽 상지로만 공을 잡아서 놓는 뻗기동작을 하였을 때 나타난 양상지간의 시간적 차이가 양측성 뻗기동작시 현저히 감소되는 것으로 밝혀졌으며, 이러한 결과는 양상지가 시간적 단일구조로 제어된다는 사실에 대한 추가적인 지지를 제공한다.

2. 중추 운동신경로의 양측성 연결

운동제어체계의 다른 특성은 중추운동신경로가 양측성으로 연결되어 있다는 것이며, 이러한 양측성 연결은

말초기관의 동측 제어를 허용한다(Benecke 등, 1991; Colebatch 등, 1991). 손상되지 않은 피질척수로 섬유질의 대부분은 연수에서 교차하여 반대측 사지를 지배하지만, 약 25%의 섬유는 교차하지 않고 동측으로 하행한다. 동측으로 하행하는 섬유의 일부는 척수에서 교차하여 반대측 운동신경을 지배하는 반면, 나머지 10-15%의 섬유는 동측 척수피질로 하행하여 동측 운동신경을 지배한다(Chollet 등, 1991; Lee와 Donkelaar, 1995). 중추운동신경로들 중 복내측뇌간로(ventromedial brain stem pathway)는 주로 근위 상지운동을 양측성으로 제어하며, 배외측로(dorsolateral pathway)는 섬세하게 구분된 원위 동작을 제어한다(Shinoda 등, 1994).

중추운동신경로의 동측제어에 대한 증거는 여러 학자들에 의해 제시되고 있다. 예를 들어, Colebatch 등(1991)은 오른쪽 건관절 굴곡동작시 오른쪽 감각운동피질에서 그리고 오른쪽 건관절 굴곡동작과 엄지와 다른 손가락들의 반복적인 대립운동시에는 오른쪽 전운동영역에서 대뇌 혈류흐름의 유의한 증가가 있다고 보고하였고, Brodal(1973)은 오른쪽 대뇌피질이 손상된 경우 동측 상지의 일부 운동제어에 관여하는 신경로가 손상되어 오른손을 사용하는 과제의 수행에 문제가 일어난다고 보고하였다. 아울러, 비환측 운동중추와 운동로의 활성화를 통해 동측 상지로 진행되는 원심성 통로의 연결을 강화시키는 것이 환측 상지의 운동제어력을 증진시키며, 회복에 있어서도 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다(Lee와 Donkelaar, 1995). 성인 편마비 환자들을 대상으로 회복 후 환측(회복된) 손가락 운동시의 대뇌혈류 흐름을 조사한 연구에서도 동측 감각운동피질에서의 유의한 혈류량 증가와 전운동피질, 보완운동영역 등과 같은 운동피질에서의 전반적인 양측성 활성화가 관찰되었다(Chollet 등, 1991). 이상에서 살펴본 결과들은 운동 및 감각신경로의 양측성 연결이 중추신경계의 재조직화(reorganization)를 허용할 수도 있음을 시사한다.

실제로, 편마비 아동을 대상으로 비환측 운동피질에 초점자기자극(focal magnetic stimulation)을 가함으로써 중추신경계의 재조직화를 조사한 Carr(1996)의 연구에서는 총 33명의 피험자 중 22명이 양측 손에서 근전도반응을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 손상되지 않은 운동피질로부터 동측 운동신경원으로 하행하는 피질척수로 가지가 존재하며, 그러한 가지는 환측 뇌손상의 결과로 인해 하행성 연결이 부족한 운동신경원에 운동 명령이 내려갈 수 있도록 새로운 신경로를 제공한다는 사

실을 제외한다(Farmer 등, 1991).

중추신경계의 재조직화는 말초적인 조작(manipulation)에 의해서도 이루어질 수 있다(Lee와 Donkelaar, 1995). Nudo 등(1996)은 왼손이를 대상으로 한 실험에서 뇌경색 후 환측 손의 사용을 훈련시키는 것이 경색이 있는 인접 운동피질의 상실을 예방하며, 손영역, 특히 손목-전완영역이 확장되는 기능적인 재조직화를 유도함으로써 환측의 숙련된 손기능을 회복시킬 수 있음을 발견하였다. 이러한 결과는 환측 상지의 적극적인 사용이 감각피질로 이어지는 구심성 통로의 효율성을 증가시킬 수 있음을 시사한다. 환측 상지의 이용은 또한 환측 뇌영역으로 투입되는 감각입력을 증가시키며, 이러한 과정이 반복될 경우 환측 뇌영역에 인접한 손상되지 않은 운동피질의 표상(representation)은 점차로 증가하게 된다(Nudo 등, 1996).

3. 환측 상지의 기능향상을 위한 양측성 전이 패러다임의 적용가능성

이상에서 살펴본 운동제어체계의 특성들은 편마비 아동들의 재활과정에서 양손을 동시적으로 사용하도록 유도하는 것이 비환측 뇌영역으로부터 동측 운동신경원으로 하행하는 원심성 통로와 환측 상지로부터 비환측 및 환측 뇌영역으로 상행하는 구심성 통로를 강화시킴으로써 환측 상지의 수행능력을 향상시킬 수 있음을 시사한다(Colebatch 등, 1991; Lee와 Donkelaar, 1995). 편마비 아동들의 경우, 비환측 상지는 비교적 정상적인 관절가동범위와 운동능력을 유지하는 반면 환측 상지는 비정상적인 근긴장도, 마비, 형태변형 및 감각장애로 인해 운동능력이 현저히 감소되므로, 환측 상지만을 이용한 동작의 수행시에는 비환측 상지에 의한 동작수행에 비해 동작의 속도 및 정확성이 저하된다. 하지만, 양측 상지는 단일 협응구조로 연결되어 있으며 양손의 동작수행시 중추신경계는 양손이 수행하는 동작의 시간적 구조가 동일한 것을 선호하므로(Castello 등, 1993; Jackson 등, 1999), 편마비 아동들이 비교적 정상적인 운동능력을 지닌 비환측 상지와 운동능력이 감소된 환측 상지를 동시에 이용할 경우에는 환측 상지가 수행하는 동작의 속도와 정확성이 증가될 수 있을 것이다.

편마비 아동들의 재활과정에서 양손의 동시적인 사용을 지속적으로 유도할 경우 양손의 사용시에 나타나는 환측 상지의 수행향상은 비교적 영속적으로 일어날 가능

성도 존재한다. 다시 말해, 양손을 이용한 운동과제의 반복적인 연습이 환측 상지의 운동기능 학습을 유도할 수도 있다는 것이다. 중추신경계의 양측성 연결은 사지의 동측제어를 허용하므로(Benecke 등, 1991; Colebatch 등, 1991), 건측 뇌영역의 활성화는 동측상지로 진행되는 원심성 통로의 연결을 강화시킬 것이며(Chollet 등, 1991; Lee와 Donkelaar, 1995), 환측 상지의 사용은 환측 뇌영역으로 상행하는 구심성 통로의 연결을 강화시킬 것이다(Lee와 Donkelaar, 1995; Nudo 등, 1996). 따라서, 양손을 이용한 운동과제의 수행은 원심성 및 구심성 통로의 강화를 통해 환측 상지의 운동제어력을 증가시킬 것이며, 그러한 과정이 반복될 경우 운동제어력의 증가는 일시적이 아니라 비교적 영속적으로 일어날 수도 있을 것이다.

운동과제의 수행시 환측 상지를 비환측 상지와 동시에 사용하는 것은 또한 환측 상지만 이용할 때 편마비 아동들이 느낄 수 있는 심리적 거부감을 줄여줌으로써 환측 상지의 보다 적극적인 사용을 촉진시킬 수도 있을 것이다. 앞서 언급한 바와 같이, 편마비 아동들은 환측 상지의 형태적 변형 및 기능저하로 인해 환측 상지의 사용을 기피하며 일상적인 활동의 수행시에 비환측 상지에 의존하는 경향을 보인다. 이러한 경향을 지닌 편마비 아동들에게 환측 상지의 사용만을 강요하는 치료방법들은 환측의 운동마비나 감각장애와 더불어 환측의 사용에 대한 거부감으로 인해 장기적인 치료효과를 얻는데 어려움을 지니게 된다(Carmick, 1993b; Powell 등, 1999). 따라서, 편마비 아동들의 재활프로그램이 지닌 효율성을 증진시키기 위해서는 환측 상지의 사용에 대한 그들의 거부감을 줄여야 할 것이며, 편마비 아동들로 하여금 환측과 비환측 상지를 동시에 이용하면서 운동과제를 수행하도록 하는 것은 양손의 시·공간적 연결과 중추신경로의 양측성 연결로 인해 환측 상지의 동측수행을 수월하게 함과 동시에 환측 상지의 사용에 대한 거부감을 감소시키는 효과를 유도할 수도 있을 것이다.

V. 결 론

환측 상지의 감각자극을 촉진시키고, 자세변형을 최소화시키며, 사용기회를 증가시킴으로써 편마비 아동의 상지기능을 향상시키려는 치료프로그램들은 주로 환측 상지에만 적용되어왔다. 편마비 아동의 환측 상지 운동능력 향상을 위해 이용되어온 재활프로그램들은 효과의 지

속성이란 측면에서 공통적인 문제점을 지니고 있으며, 환측의 운동마비와 감각장애, 환측에 대한 무시와 환측 사용에 대한 거부감 등으로 인해 장기적인 치료효과는 얻지 못하고 있는 실정이다(Carmick, 1993b; Powell 등, 1999). 편마비 아동의 환측 상지 기능향상을 위해서는 환측 상지 사용에 대한 거부감을 줄임과 동시에 자발적이고 적극적인 사용기회를 높일 수 있는 프로그램의 개발이 필요하며, 양손의 시·공간적 연결과 중추신경로의 양측성 연결에 대한 실험적 증거들(Steenbergen 등, 1996; Utley와 Sugden, 1998)은 편마비 아동들을 위한 재활프로그램에 양손의 동시적인 사용과제를 포함시킬 필요가 있음을 제의한다.

양손의 동시적 사용은 비환측 뇌영역으로부터 동측 운동신경원으로서의 원심성 통로와 환측 상지로부터 비환측 및 환측 뇌영역으로의 구심성 통로를 강화시킴으로써 환측 상지의 제어능력을 향상시킬 수 있을 것이며 아울러, 양손을 이용한 운동과제의 수행은 환측 상지의 수행을 보다 용이하게 함으로써 수행능력을 향상시킴과 동시에 환측 상지 사용에 대한 아동의 거부감을 줄여줄 수 있다. 따라서, 편마비 아동들의 재활프로그램에 양측성 전이 패러다임을 적용시키는 것은 환측 상지의 사용기회를 극대화시킴과 동시에 환측 상지의 제어와 관련된 중추신경로의 연결을 강화시킴으로써 환측 상지의 운동수행능력 및 기능 향상을 유도할 수 있을 것이다.

<참 고 문 헌>

- 성인영, 박준민: 편마비형 뇌성마비 환아에서 비환측 상지 고정술을 통한 상지기능 촉진효과, 대한재활학회지, 22: 828-832, 1998.
- Baker LL, Parker K: Neuromuscular electrical stimulation of the muscles surrounding the shoulder. *Physical Therapy*, 66(12): 1930-1937, 1986.
- Banich MT, et al: The effects of developmental factors on IQ in hemiplegic children, *Neuropsychologia*, 28: 35-47, 1990.
- Benecke R, Meyer BU, Freund HJ: Reorganization of descending motor pathways in patient after hemispherectomy and severe hemispheric lesions demonstrated by magnetic brain stimulation, *Experimental Brain Research*, 83: 419-426, 1991.
- Berger W, Quintern J, Dietz V: Pathophysiology of gait in children with cerebral palsy. *Electroencephalography &*

- Clinical Neurophysiology, 53 : 538-548, 1982.
- Bobath B : The very early treatment of cerebral palsy, *Developmental Medicine and Child Neurology*, 9 : 373-390, 1967.
- Bobath B, Bobath K : Motor development in the different types of cerebral palsy. London, Heinemann Physiotherapy : 43-45, 1987.
- Brodal A : Self-observations and neuro-anatomical considerations after a stroke, *Brain*, 96 : 675-694, 1973.
- Carmick J : Clinical use of neuromuscular electrical stimulation for children with cerebral palsy, part 1 : Lower extremity, *Physical Therapy*, 73(8) : 505-513, 1993a.
- Carmick J : Clinical use of neuromuscular electrical stimulation for children with cerebral palsy, part 2 : Upper extremity, *Physical Therapy*, 73(8) : 514-522, 1993b.
- Carmick J : Use of neuromuscular electrical stimulation and a dorsal wrist splint to improve the hand function of a child with spastic hemiparesis, *Physical Therapy*, 77(6) : 661-671, 1997.
- Carr LJ : Development and reorganization of descending motor pathways in children with hemiplegic cerebral palsy, *Acta Paediatric Supplement*, 416 : 53-57, 1996.
- Castiello U, Bennet KMB, Stelmach GE : The bilateral reach to grasp movement, *Behavioural and Brain Research*, 56 : 43-57, 1993.
- Chollet F et al : The Functional anatomy of motor recovery after stroke in humans : A study with positron emission tomography, *Annals of Neurology*, 29 : 63-71, 1991.
- Colebatch JG et al : Regional cerebral blood flow during voluntary arm and hand movements in human subjects, *Journal of Neurophysiology*, 65 : 1392-1401, 1991.
- Cooper J et al : The determination of sensory deficits in children with hemiplegic cerebral palsy, *Journal of Child Neurology*, 10 : 300-309, 1995.
- Crocker MD, MacKay-Lyons M, McDonnell E : Forced use of the upper extremity in cerebral palsy : A single-case design, *The American Journal of Occupational Therapy*, 51(10) : 824-833, 1997.
- DeGangi GA, Royeen CB : Current practice among neurodevelopmental treatment association members, *American Journal of Occupational Therapy*, 48 : 803-809, 1994.
- de Vries LS et al : Infarct in the vascular distribution of the middle cerebral artery in preterm and fullterm infants. *Neuropediatrics*, 28(2) : 88-96, 1997.
- Enoka RM : Muscle strength and its development : New perspectives, *Sports Medicine*, 6 : 146-168, 1998.
- Fagard J, Morioka M, Wolff PH : Early stages in the acquisition of a bimanual motor skill, *Neuropsychologia*, 23(4) : 535-543, 1985.
- Farmer SF et al : Plasticity of central motor pathways in children with hemiplegic cerebral palsy, *Neurology*, 41 : 1505-1510, 1991.
- Fetter L, Kluzik J : The effects of neurodevelopmental treatment versus practice on the reaching of children with spastic cerebral palsy, *Physical Therapy*, 76(4) : 346-358, 1996.
- Giuliani CA : Dorsal rhizotomy for children with cerebral palsy : support for concepts of motor control, *Physical Therapy*, 71(3) : 248-259, 1991.
- Goodman R, Graham P : Psychiatric problems in children with hemiplegia : cross sectional epidemiological survey, *British Medical Journal*, 312 : 1065-1069, 1996.
- Jackson GM, Jackson SR, Kritikos A : Attention for action : coordinating bimanual reach-to-grasp movements, *British Journal of Psychology*, 90(2) : 247-260, 1999.
- Jeannerod M : The timing of natural prehension movements, *Journal of Motor Behavior*, 16 : 235-254, 1984.
- Katz N, Cermak S, Shamir Y : Unilateral neglect in children with hemiplegic cerebral palsy. *Perceptual and Motor Skills*, 86 : 539-550, 1998.
- Kelso JAS, Southard DL, Goodman D : On the nature of human interlimb coordination. *Science*, 203(9) : 1029-1031, 1979.
- Kenny WE, Pansera FT, Verry LM : Training hands in children with astereognosis due to cerebral palsy. *Journal of Bone & Joint Surgery*, 44 : 1490-1495, 1962.
- Lee RG, Donkelaar P : Mechanisms underlying functional recovery following stroke, *Canadian Journal of Neurological Sciences*, 22 : 257-263,

- 1995.
- Long TM, Cintas HL : Handbook of pediatric physical therapy, Baltimore, Williams & Wilkins : 112, 1995.
- Mayo NE : The effect of physical therapy for children with motor delay and cerebral palsy, American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation, 70 : 258-267, 1991.
- Molnar GE, Gordon SU : Cerebral palsy : Predictive value of selected signs for early prognostication of motor function, Archives Physical Medicine & Rehabilitation, 57 : 153-158, 1976.
- Nelson KB : Prenatal origin of hemiparetic cerebral palsy : How often and why? Pediatrics, 88(5) : 1059-1062, 1991.
- Nudo RJ et al : Neural substrates for the effects of rehabilitative training on motor recovery after ischemic infarct, Science, 272(21) : 1791-1794, 1996.
- Palmer FB et al : The effects of physical therapy on cerebral palsy : A controlled trial in infants with spastic diplegia. New England Journal of Medicine, 318 : 803-808, 1988.
- Pandyan AD, Granat MH, Stott DJ : Effects of electrical stimulation on flexion contractures in the hemiplegic wrist, Clinical Rehabilitation, 11(2) : 123-130, 1997.
- Powell J et al : Electrical stimulation of wrist extensors in poststroke hemiplegia. Stroke, 30(7) : 1384-1389, 1999.
- Sherwood DE : Hand preference, practice order, and spatial assimilations in rapid bimanual movement, Journal of Motor Behavior, 26(2) : 123-134, 1994.
- Shinoda Y, Kakei S, Sugiuchi Y : Multisegmental control of axial and limb muscles by single long descending motor tract axons, Lateral versus medial descending motor systems, In S. P. Swinnen, H. Heuer, J. Massion, & P. Caser (Eds.), Interlimb coordination : neural, dynamical, and cognitive constraints. San Diego, Academic Press : 31-47, 1994.
- Steenbergen B et al : Bimanual movement coordination in spastic hemiparesis. Experimental Brain Research, 110 : 91-98, 1996.
- Swaiman KF : Cerebral palsy : Perinatal motor impairment. In J. Aicardi (Ed.), Disease of the nervous system in childhood. Mac Keith Press : 444-453, 1992.
- Swinnen SP et al : Egocentric and allocentric constraints in the expression of patterns of interlimb coordination. Journal of Cognitive Neuroscience, 9(3) : 348-377, 1997.
- The Bobath Centre : Notes to accompany the 8-week course in cerebral palsy. London : The Bobath Centre : 5.7/1~5.7/3, 1993.
- Utley A, Sugden D : Interlimb coupling in children with hemiplegic cerebral palsy during reaching and grasping at speed. Developmental Medicine and Child Neurology, 40 : 396-404, 1998.
- Van Heest AE, House J, Putnam M : Sensibility deficiencies in the hands of children with spastic hemiplegia. The Journal of Hand surgery, 18 : 278-281, 1993.
- Virtanen P et al : Effect of immobilization on carbonic anhydrase III and myoglobin content in human leg muscle. Acta Physiologica Scandinavica, 142(3) : 303-306, 1991.
- Yasukawa A : Upper extremity casting : Adjunct treatment for a child with cerebral palsy hemiplegia. The American Journal of Occupational Therapy, 44(9) : 840-846, 1990.
- Zeman B, Yiannikas C : Functional prognosis in stroke : Use of somatosensory evoked potentials. Journal of Neurology, Neurosurgery, & Psychiatry, 52 : 242-247, 1989.