한국BOBATH학회지 제4권 제1호
J Korean Acad Bobath Vol. 4 No.1, 1999

운동발달과 역동적 시스템 모델에 관한 고찰

유 병 규 · 김 경 미*
신구대학 물리치료과, 연세대학교 대학원 재활학과*

Abstract

A Literature Review of Motor DevelopmentalTheory Dynamical Systems Model

Byong-Kyu Yu · Kyong-Mi Kim*
Department of Physical Therapy, Shingu College Department of Rehabilitation,
*The Graduate School, Yonsei University**

This paper reviews some of the literature relating to traditional and contemporary motor developmental theories. In particular, focused on reference to dynamical systems model. Current researchhas shown that some of our ideas regarding a normal motor development sequence have been incomplete. A normal motor developmental progression seems not only to move in overlapping sequences but also to demonstrate great variability in the age that a motor milestone emerges. All of the previous research ideas regarding development blend very well with the new dynamic systems theory of motor control. With the dynamic systems theory, there are many circular loops and levels of control that cannot only work independently. But they can also work interactively with each other. This theory suggests an interaction in the progression of all systems and subsystems that determines when a motor skill appears and what the quality from that a motor skill. The theories presented in the original writings regarding these neurophysiological treatment approaches need to be reviewed and updated to foster improvement of our treatment techniques and to better analyser treatment efficacy. And many issues must be considered when determining whether to follow a normal motor developmental sequence for treatment planning and implementation.

Key Words: Motor development, Dynamic system model

Ⅰ. 서 론

운동발달은 개인의 연령과 관련된 운동행동에서의 변화하는 과정을 말한다. 운동발달에 관한 총체적 관심이 50년대와 60년대 초기에는 감소하였으나 지난 50년 동안 꾸준

히 이어져 왔다. Bayley(1935), Gesell(1954), McGraw(1945), Shirley(1931) 등은 연령에 따른 운동발달 변화의 상호관계와 변화를 결정하는 운동행동을 관찰하여 물리치료 영역에 신경생리학적 접근에 대한 연구의 기초를 제공하였다.

아동의 기술 습득 순서의 다양성에 관하여 관심을 보이는 운동발달 학자는 별로 없지만(Wolff, 1981), Touwen(1976)은 아동들의 운동발달 단계가 매우 다양하다고 보고하였다. 운동발달지표 획득에 다양한 순서가 있다는 것은 물리치료에 있어서 매우 중요한 의미를 갖는다. 운동발달 단계의 다양성은 걷기 전에 기는 것이 필요한가? 만약 아동이 기는 과정 없이 걸을 수 있다면, 기는 것은 걷기 위하여 필요한 기술이 아니라는 것이 명백해지기 때문이다.

1950년대부터 1970년대 초에 발전된 신경생리학적 치료 접근인 Domain-Delacato patterning(Domain, 1960), Neurodevelopmental treatment(Bobath, 1964), PNF(Voss, 1972), Rood approach(Stockmeyer, 1967), Sensory integration(Ayres, 1972) 등은 이론적으로 정상운동발달 단계에 기초하고 있다. 이러한 개념은 운동발달 지연과 오랜 기간 병적 상황의 치료를 어떻게 계획하고, 언제 치료를 시행하는 것이 가장 효과적인지에 대하여 영향을 미쳤다. 이러한 접근을 지지하는 운동조절의 이론은 가장 낮은 단계인 척수에서 중간 단계인 뇌줄기로 그리고 가장 높은 단계인 피질까지 수직적으로 조직되었다는 수직 계층적 모형(hierachical mode)이다(Harris, 1987). 계층적 모형(그림 1)의 운동발달은 근위부에서 원위부로, 머리에서 발로, 대근육 운동에서 섬세한 소근육 운동으로, 몸 중심에서 몸밖으로의 동작으로 진행된다고 생각하였다(Jacobs, 1967). 일부 학자들과 임상 물리치료사들은 치료 프로그램이 정상운동발달 단계를 따른다고 주장하며, 또 다른 일부 학자들과 임상 물리치료사들은 운동발달 지표인 가동성, 안정성, 정위반응과 평형반응 등의 구성요소로 정상운동발달을 표현하였다. 현재 물리치료 평가와 치료적 중재를 위해 사용되고 있는 대부분의 이론적 개

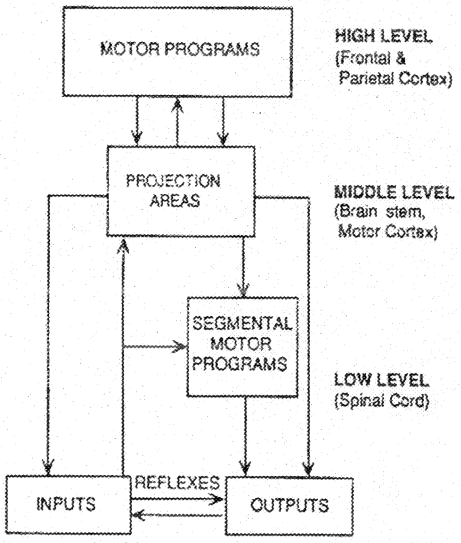

그림 1. Hierarchical model of motor control. From Phillips and Porter

념들은 1930년대와 40년대에 발달된 이론에 근거하고 있다. 대표적으로 McGraw(1945)와 Gesell(1954)의 이론으로써 구조가 기능보다 선행하며, 운동발달의 변화는 중추신경계 성숙의 결과로 보는 발달의 신경성숙(neuromaturation) 이론으로 이러한 관점은 본성-교육에 대한 논쟁(nature-nurture controversy)을 제공하게 되었다. 그러나 이 이론의 중요한 의미는 지금까지 운동발달이 성숙적인 면에서 연구되었으나, 운동발달이 환경에서의 학습의 결과라는 행동학자들의 개념이 포함되었다는 것이다. 그 당시 어떤 물리치료사도 본성과 교육 중 또는 성숙과 학습의 이분법을 주장하지 않았다. 그러나 최근에 상호작용주의자, 처리주의자 그리고 생물학적 성질과 환경이 발달하는 유기체에게 중요하다는 Sameroff(1983)에 의해 논의된 발달시스템 이론이 소개되었다. 이러한 발달에 대한 시스템 이론으로 미숙아를 위한 발달의 공동활동(synactive)이론(Als, 1982), 역동적 시스템(dynamical system)이론(Thelenn, 1989), 지각-행동(perception-action)이론(Reeds, 1989), 구조-행동(structure-behaviour)이론(Horowitz, 1989), 일반체계(general system)이론(Sameroff, 1989) 등이 있다. 물론 역동적 시스템 이론과 지각-행동 이론은 운동발달 측면에서 밀접하게 관련되어 있다.

아동 물리치료사나 작업치료사는 임상실습에 중요한 공통적인 틀로써 발달단계를 연구하였으며, 발달단계의 사용을 지지하는 중요한 신경생리학적 치료는 미국이나 한국 등 각국에서 실시하는 일반적인 치료가 되었다. 그러나 이와 같은 치료접근에 대한 효과에 대한 연구는 아직 명확한 지지를 제공하지 못하고 있다.

따라서 널리 사용되는 이러한 신경생리학적 치료접근에 관한 이론 모델들과 임상경험을 통한 발달문제에 대한 우리들의 이해를 재점검하고, 언제 어떻게 상이한 정상운동발달의 이론적 모델들이 아동을 위한 물리치료 및 작업치료 프로그램에 적용될 수 있는지 알아보고자 한다.

II. 전통적 이론

1. McGraw의 발달이론

McGraw(1945, 1946)는 인간의 행동은 중추신경계의 성숙과 구조적 성장으로부터 기인하며 구조와 기능사이의 관계는 행동과 형태를 관찰함으로써 얻어진다고 믿었다. 헤엄치기(swimming), 구르기(rolling), 복와위 진행(prone progression)자세, 앉기(sitting), 직립 진행(erect progression) 자세, 내번(inversion)에 대한 자세조정, 쥐기(grasping)에 있어서의 아동의 운동행동을 기술하였다. 발달이론에서 그가 주장하는 신경성숙은 4단계로 첫째, 중추신경계에서 하위 중추의

기능을 나타내는 반사적 행동의 단계, 둘째, 하위 중추 기능의 피질 억제를 나타내는 반사 감소 단계, 셋째, 행동의 수의적 특성에 의해 지시된 기능의 피질 조절 단계, 넷째, 부드러운 움직임으로 나타나는 다양한 신경 중추의 통합 단계로 구성되어 있다.

McGraw(1945)는 직립보행를 7단계로 나누어 설명하였다(그림 2).

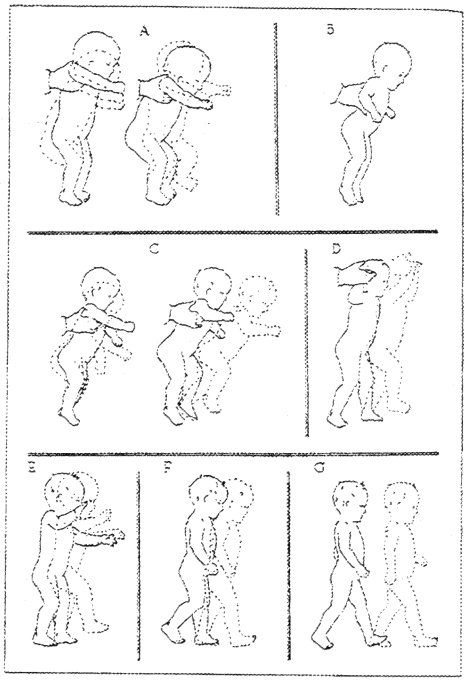

그림 2. Seven phases of erect locomotion in human infants. From McGraw

걷기 반사는 A에서 나타나고, B에서는 없어진다. C는 이행단계로 지지되어진 상태로 서있는 아동이 딛어 오르고 힘있게 발을 구르는 동작을 나타낸다. D는 손으로 지지되는 동안의 걷기를 보여주며, E, F, G는 자세와 균형조절의 증가, 그리고 다리의 성숙된 협응으로 독립 보행으로 진행되는 과정을 보여준다. 이 예에서 A는 보행 발달의 첫 번째 단계, 즉, 반사단계를 보여주며, B와 C는 초기 반사적 보행의 감소를 나타낸다. C는 걷는 동작이 반사적인 상태, 혹은 그렇지 않은 상태인 설명하기 어려운 이행단계인 반면에, D는 피질조절에 의해 보행을 신중히 그리고 천천히 시행하는 것을 보여준다. E, F, G는 신경계의 여러 중추의 통합으로 나타나는 움직임의 진보된 단계이다.

운동패턴의 변화에 대한 기술과 중추신경계의 발달 구조와 관련된 가설로 부터 McGraw(1945)는 운동행동의 발달 원리들을 제안하였다.

첫째, 신경근의 기능을 조절하는 중추 신경계는 크게 대뇌피질과 중추신경계의 하위중추로 분류된다. 둘째, 출생시 대뇌피질은 기능하지 않으며, 중추신경계의 하위중추에 의해 나타나는 움직임은 반사적이다. 셋째, 기침, 재채기, 하품 등과 같은 기능은 일생동안 하위중추 조절 하에 있다. 넷째, 헤엄치기, 모로반사(moro reflex), 잡기 등과 같은 움직임들은 인간의 유용성을 상실한 계통발생학적 잔재이다. 다섯째, 대뇌피질이 발달함에 따라 중추신경계의 하위중추는 억제되고, 신경근육의 조절기능에 영향을 받는다. 여섯째, 명백한 행동에 있어서 발달의 변화는 중추신경계의 성숙과 관련이 있다. 일곱번째,

발달은 머리에서 꼬리방향으로 진행한다. 여덟번째, 대뇌피질의 성장은 획일적으로 일정하게 발달하는 것은 아니다. 이와 같이 McGraw(1945)는 중추신경계의 성숙, 특히 대뇌피질의 역할이 증가하는 것이 발달변화를 위한 원동력이라고 생각하였다. 그러므로 McGraw의 이론적 틀은 운동발달이 중추신경계의 중요성을 강조하는 신경성숙에 근거하고 있음을 알 수 있다. 그러나 최근 McGraw(1985)의 연구를 살펴보면 운동발달과정이 서로 다른 시기와 비율로 나타나 진보하여 결국에는 새로운 행동을 만들기 위해 서로 상호작용하고, 통합하며 결합하는 발달과정의 다중시스템(multisystem)에 초점을 두고 있음을 알 수 있다.

2. Gesell의 발달이론

McGraw처럼 Gesell(1954)의 발달이론은 성숙과정에 근거한다. 성숙과정에 있어서 생물학적 변수들이 발달을 유도하며 원동력을 제공한다고 믿으며, 인간을 복잡한 행동 시스템을 지닌 유기체로서 인식하면서 영아의 성숙을 첫째, 적응행동(adaptive behavior), 둘째, 운동행동(motor behavior), 셋째, 언어적 행동(language behavior), 넷째, 개인적-사회적 행동(personal-social behavior)의 발달 4영역으로 규정하였다. Gesell(1954)은 발달은 모든 사람에게 있어서 변하지 않는 특별한 생물학적 진화에 의해 결정된 순서에 따라 진행되며, 발달의 속도는 아동이 가지고 있는 유전적 배경에 의해 아동마다 다를 수 있고, 환경이 발달속도에 일시적으로 영향을 미치지만 궁극적으로는 생물학적 요인들이 발달속도를 조절한다고 하였다.

Gesell의 발달원리는 다음과 같다.

1) 발달의 방향(developmental direction)의 원리

운동발달의 방향은 머리에서 꼬리로, 중심에서 말초로 발달한다. Gessel은 이 방향이 미리프로그램화된 유전 시스템의 기능으로 생각한다.

2) 개별적인 성숙(individual maturation)의 원리

발달과정은 내적 요인에 의해 조절되고, 외적 요인에 의해서는 영향을 받지 않는다. McGraw처럼 Gesell은 운동기술의 발달은 중추신경계의 조절 하에 있으며, 구조는 기능이 일어나기 전에 있다고 믿었다. Gesell에 따르면 환경은 성장이나 발달을 위해 근본적으로 중요한 자극은 아니며, 자극은 유기체 발달의 성숙단계 내에 존재한다고 보았다.

3) 상호혼합(reciprocal interweaving)의 원리

행동패턴을 점진적으로 조절하고 통합하는 우세한 기능이나 시스템이 주기적으로 이동함에 따라 두개의 반작용 기능 또는 운동신경 시스템 사이의 상호관계가 개체발생학적으로 구성되는 원리이다. 운동조절은 나선형 진행에 있어서 다중적으로 결합된 구

성요소의 증감에 따라 발달되며, 각 단계에서 새로운 성숙적 변화가 생기면서 각 구성요소들은 나타나고, 퇴화하며, 통합되고 대체된다. 복와위 자세의 진행발달은 팔, 다리의 움직임을 성장 도표에 기록해 보면 발달의 나선형 패턴이 명백하게 나타난다(그림 3). 이 원리는 유기체가 약간 더 높은 수준의 조직화된 행동을 할 때, Sherrington(1906)에 의해 제안된 작용과 반작용에 관한 상호신경지배(reciprocal innervation) 법칙이 반영된다.

4) 자기조절적 동요(fluctuation)의 원리

자기조절적 동요는 상호혼합의 한 형태로써 발달은 안정기와 불안정기 상태에서 동요하는 시이소(see-saw)로서 이 원리는 진보, 퇴보, 합병, 그리고 새로운 진보라는 발달의 고유한 나선형 특성을 적용하였다.

5) 기능적 비대칭(functional asymmetry)의 원리

상호혼합 원리의 특별한 경우로써 유기체가 나중에 대칭을 이루기 위하여 비대칭적 발달 주기가 행동으로 나타나는 원리로서 비대칭적 경반사(ATNR)는 대칭적 운동발달의 전조라고 생각하였다.

전통적 이론인 McGraw의 발달이론은 통상적, 체계적, 직선적 신경성숙 모델에 근거하여 중추신경계의 성숙에 따라 발달이 변화한다는 것이며, Gesell의 이론적 구성개념은 성숙이 발달을 결정한다고 강조하지만 발달시스템 이론의 원리를 동시에 주장한다.

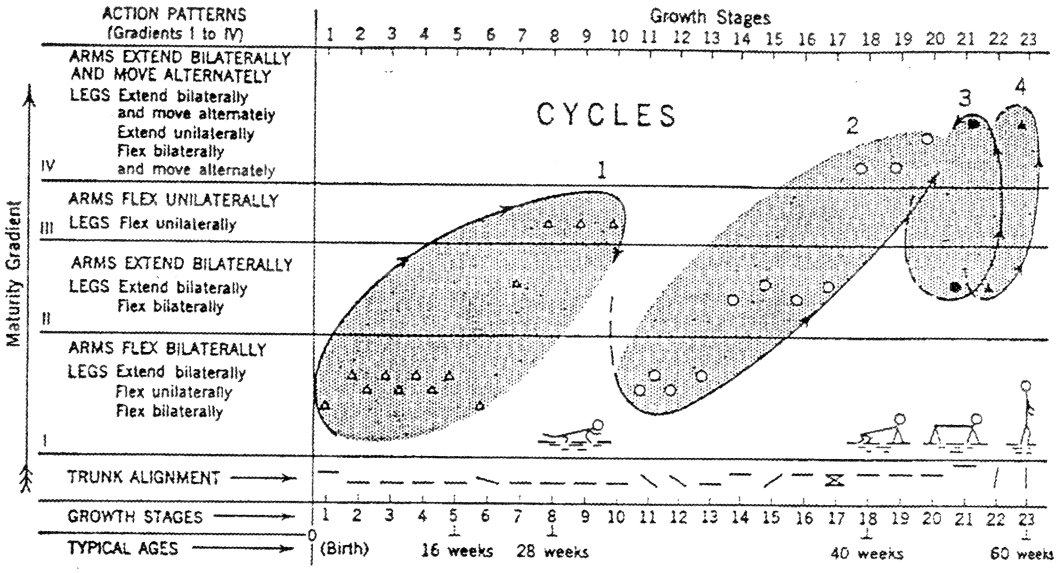

그림 3. Growth cycles in the patterning of prone behavior. From Gesell

III. 최근 이론

1. 역동적 시스템 모델

운동조절과 운동발달의 최신 모델에 따르면 중추신경계는 역동적으로 운동을 생성하기 위해 상호작용하는 많은 하부시스템들 중 하나가 역동적 시스템 모델이다. 역동적 시스템 모델 이론은 Bernstein(1964)이 처음 제안하였으며, 이 이론은 Kelso와 Tuller(1984), Kugler 등(1980)에 의해 보다 발전되었고 역동적 패턴 이론으로 확대되었다. Thelen(1989)과 그의 동료들(1987)은 역동적 패턴의 개념들을 운동발달 영역으로 확장시켰다. 시스템 모형에 의하면 움직임들은 중추적으로 조절되거나 말초적으로 조절되는 것이 아니라, 많은 시스템들이 같은 단계에서 조절에 상호작용하기 때문에 이 모형에서는 조절의 고위단계나 하위단계가 없다. 움직임의 조절은 운동조절을 비교하고 명령하고 기록하는 신경계들을 포함하는데, 이것은 신경계 내부뿐만 아니라 근골격계와 환경과 같은 신경계 외부의 운동조절도 포함한다.

역동적 시스템 모델의 관점은 운동발달을 개념화하는 새로운 방법을 제시한다. 이 접근은 코드와 도식(schema), 자기조직화(self-organization), 안정성과 변화, 위상변화(phasic shift) 그리고 Attractor들의 역동적 개념으로 대치한다. 이 관점은 운동행동이나 발달행동을 중추신경계에서 미리 결정되고 지시되는 패턴으로 전개된다고 보기보다는 특수한 과제 환경에서 많은 하부시스템의 역동적 상호협력에 따라 운동행동이 유발되는 것으로 본다. 역동적 시스템 이론은 성숙에 따른 결정론을 배제하는 새로운 이론적 틀을 제공하였다.

역동적 시스템 모델 이론은 첫째, 움직이며 발달하는 유기체는 고위 시스템이며, 행동은 자유도의 압축을 나타낸다. 둘째, 행동은 과제 환경 내에서 많은 하부시스템들이 협조함에 따라 자기-조직화 양상으로 나타난다. 셋째, 복잡한 역동적 시스템의 일반적 특성은 움직이고 발달하는 유기체는 상태공간에서 선택되어지는 영역이나 필수적인 영역은 아니다. 넷째, 새로운 형태의 행동은 움직임과 발달의 연속적인 위상변화에 따라 나타난다. 다섯째, 발달의 변화는 안정화 attractor와 불안정화 attractor의 연속으로 생각된다. 여섯번째, 시스템의 조절 파라미터는 시간이 지남에 따라 변화한다는 것이다. 이 이론에 동조하는 연구가들의 연구가 활발히 진행되고 있지만 역동적 시스템 모형에서 사용되는 용어의 일치나 정의가 되어 있지 않고, 운동조절이 세분화되어 있어 일부 전통적인 신경해부학적 이론에 기초하여 이해하는데 한계가 있다.

2. 발달연구

최근 발달 연구들 중 정상운동발달 단계에 관한 생각 중 일부는 불완전하였다. Case-Smith(1989) 등이 주장한 근위부에서 원위부로의 운동발달 이론은 발달을 지나치게 간략화하였음을 알 수 있다. 이는 그들이 근위부와 원위부 조절이 서로 관계가 있다고 할지라도, 각각은 분리된 발달단계에 따르며 분리된 운동조절 경로를 가지고 있기 때문이다.

Shumway-Cook과 Woollacott(1985)는 어린 아동들이 서있을 때 균형을 유지하기 위한 운동전략이 발목에 있음을 밝혀냈다. 이것은 근육의 활성화가 원위부로 부터 시작하여 근위부로 진행되면서 완전해지는 것을 뜻한다. 그러므로 원위부 조절 전에 근위부 조절의 발달을 촉진시키는 치료방법이 수정될 필요가 있을지도 모른다.

Thlean(1985)은 인간의 보행패턴의 발달을 매우 자세하게 연구하면서 영아의 발 차기 형태가 규칙적으로 나타나는 현상을 보고 영아의 발차기 타이밍과 협응성이 보행패턴과 유사하다는 것을 알았다. 운동조절의 역동적 이론으로부터 중추신경계가 근골격계의 타고난 자유도를 줄이기 위하여 이미 프로그램화된 운동 프로그램을 사용하며, 보행패턴의 근육활성화는 태어날 때부터 존재한다고 주장하였다. Heriza(1988)는 보행패턴의 근육활성화는 태어나기 이전부터 존재한다고 보고하였으며, 체중, 체격, 관련된 근긴장도, 근력 등과 같은 다른 역동적인 요소들은 직립보행과 같은 보행패턴을 위해서 성숙된다. 이러한 요소들은 1세 정도에 성숙되며, 같은 연령의 영아는 운동 기술이 전형적으로 발달하고 영아가 처음으로 혼자서 걷는 시기이다.

Shumway-Cook와 Woollacott(1985)는 아동의 무게중심이 기저면을 벗어날 때 발생하는 운동반응에서 비슷한 운동발달의 향상을 발견하였다. 서있을 때 균형을 유지하기 위한 발목관절과 고관절의 운동패턴의 전략은 15개월에서 3세 때 기본적으로 발생하나, 4세에서 6세 때에는 비교적 덜 조직화된 상태에서 수행된다고 한다. 서 있을 때 균형을 유지하기 위한 운동패턴은 7세에서 10세때 성숙하게 되어서 어른처럼 되어진다. Shumway-Cook와 Woollacott(1985)는 4세에서 6세 때의 이러한 비조직화와 혼란이 아동들의 힘과 신체구조의 변화를 경험하는 급속한 성장에서 기인한다고 보고하였다. Feters(1990)는 고정된 목표물에 대해 팔을 뻗는 움직임은 6주 때 사라지나 3개월에서 4개월경에 다시 나타난다. 이러한 연구들에 의하면 머리에서 발로 발달된다는 이론은 고려되어져야 할 것이다.

Bly(1983)는 근위부 움직임의 구성요소의 발달과 균형반응의 발달은 복잡한 나선형 발달이 아니라 단순하게 머리에서 발로 발

달한다고 보고하였다. 영아의 운동발달은 조그마한 자궁안에서 태아의 자세로부터 기인된 생리적 굴곡상태에서 시작하여 점차적으로 항중력 신전이 발달하며, 이후로 항중력 굴곡이 발달한다. 굴곡근과 신전근의 동시수축은 중력에 대항하여 외측 굴곡이 일어나도록 하며, 그리고 마지막으로 굴곡근과 신전근의 협응은 회전운동이 일어나도록 한다. 이러한 진행은 목, 어깨, 몸통, 골반 주위에서 일어난다. 아동들에게서 이러한 행동들은 신체의 여러부위가 서로 겹치면서 발달한다.

Gilfoyle와 Grady(1981)는 운동발달은 나선형 모형으로 진행한다고 보고하였다. 그들은 발달의 진행이 계속 확장되고 위로 향하는 나선의 연속이라고 주장한다. 나선의 연속은 오래된 운동행동과 새로운 운동행동의 통합을 강조하는 나선효과와 함께 발달의 진행이 위로 향한다는 것을 의미한다. 이러한 나선의 진행은 환경의 경험과 아동의 신경근육계의 변화에 의하여 영향을 받는다. Fetters(1990)는 발달은 항상 아동의 경험에 기초하여 변하고, 또한 가족과 치료사에 의하여 변화된다고 하였으며, 발달이 환경에 의존된다는 처리모형(transactional model)을 주장한다. 아동에게서의 환경은 아동과 상호작용하는 모든 사람들을 포함한다.

Bobath부처(1984)는 신경발달치료시 정상운동발달 단계를 너무 따르는 것은 부적당할 지 모른다고 하였으며, Gesell(1947), Illingworth(1960)의 발달단계로부터 얻어진 자료를 비교한 결과 아동의 발달은 종종 명확한 발달단계를 따르지 않는다는 것을 발견하였다. 그러므로 표준화된 검사에서 보여주는 운동발달지표의 발달단계는 비정상을 발견하는 데에는 유용하나, 치료프로그램을 계획하는데 사용되는 것은 바람직하지 않다고 하였다. 정상운동발달에서 많은 운동 활동들은 발달지표의 최고점에 도달하기 위해서 동시에 발달된다고 한다.

정상운동발달 진행은 겹치는 단계에서 움직이는 것처럼 보일 뿐만 아니라 운동발달지표가 나타나는 연령이 매우 다양하다. Bottos 등(1989)은 아동의 움직임 중에서 보행 전 이동전략을 네 가지 형태로 분류한다. 이러한 모든 분류에서 아동은 정상운동발달을 보여주며, 정상운동발달은 하나의 경로를 따르지 않고, 많은 요소들이 이동전략의 발생에 관계한다고 결론을 내렸다. 그들은 느슨한 인대, 저긴장증, 아기의 체격, 비대칭성, 유전 등은 아동이 보여주는 움직임의 특성에 참여한다고 제안한다. Bottos 등(1989)은 또한 언어의 발달을 관찰하였다. 그들은 일어난 뒤 걷는 아동들과 기는 과정을 거친 후 걷는 아동들 사이에서의 발달은 아무런 차이가 없음을 알았다. 그들은 아동들에게 이동전략은 신경학적인 발달, 특히 언어발달에 별로 영향을 미치지 않는다고 주장하였다. 그러므로 Bottos 등에 따르면, 독립적으

로 걸을 수 있다할지라도 아동들은 특별한 형태의 이동 프로그램(대칭적인 배밀이, 교차하는 배밀이, 대칭적 기기 등)을 거쳐야 한다고 주장했던 Delacato(1966)의 치료접근은 부적절하다.

발달에 관한 위에 언급된 모든 생각들은 운동조절의 새로운 시스템 이론으로 융합되었다. 시스템 이론은 독립적으로 작용할 수 있을 뿐만 아니라 서로 상호작용할 수 있도록 많은 순환고리(circular loop)와 조절단계가 있다.

Ⅵ. 역동적 시스템 이론의 임상적용

비전형적이거나 장애가 있는 아동과 역동적 시스템 이론의 관련성은 계속 연구되고 있다.역동적 시스템 이론은 새로운 움직임이 어떻게 생성되는지 그 과정에 관심을 두고 있으므로 움직임에 대한 기능 장애를 갖는 아동 및 성인과 밀접한 관련이 있다. 역동적 시스템 이론의 치료목표는 아동 및 성인의 기능을 최대화하는데 있다. 비전형적 아동은 움직임의 새로운 방법을 배우기도 하고, 운동기술을 습득한 이후 기능 장애가 발생한 경우인 아동은 움직임을 재학습할 수도 있다. 행동 패턴이 새로운 운동기술이던지 이전의 운동기술을 재학습하는 것이던지 간에 아동은 새로운 형태의 운동행동을 습득할 수 있다.

1. 평가

역동적 시스템 관점에 따르면, 움직임의 결과는 행동의 현재 배경 내에서 시스템 구성요소의 역동적 상호작용의 결과이다. 그러므로 환자의 움직임을 평가할 때 치료사는 다양한 하부시스템, 물리적·사회적 환경, 과제 등을 고려해야 한다. 평가의 목적과 이유에 대한 가정은 다소 다양할 수도 있고 새로운 의미로 받아들일 수도 있다. 치료사가 많은 하부시스템들을 평가한다고 해도, 직접적인 움직임의 결과에 있어서 중추신경계는 매우 중요하다. 환경이 중요하다는 것을 알지만,가정이나 학교에서의 환경에 대한 임상적 평가를 필요에 의해 수행하며, 사회적 환경에 대한 물리적 환경을 강조하는 경향이 있다. 평가시 치료사는 기능을 평가하며, 평가는 발달 기간에서 전개된 운동발달 이정표(milestone)의 관점에 따라 관찰한다. 성인에 대한 평가와는 대조적으로, 아동들은 많은 운동발달 이정표가 아동들에게는 기능적이라고는 하나, 치료사는 치료사의 과제 항목들을 확장시킬 수 있다.

1) 하부시스템(subsystem)

치료사가 시행하는 하부시스템 평가는 관절 가동성, 근력, 정적 자세에서의 정렬 등의 근골격계, 운동발달 이정표, 반사와 반응, 자세와 움직임 사이의 협응, 균형, 지구력, 일

상 생활 동작의 기능적 수행 등의 움직임의 패턴, 시각, 전정 감각, 고유수용성 감각, 청각, 촉각의 감각, 그리고 지각이 등이 있다. 이들 하부시스템들을 평가하면서 어떤 하부시스템이 기능적 움직임을 제어하는지를 확인한다. 예를 들어, 만약 환자가 신경학적으로 손상되었다면 중추신경계를 강조하며, 만약 정형학적으로 손상을 입었다면 근골격계를 강조한다. 역동적 시스템 모델에서 다양한 구성요소의 평가에 있어서의 가정은 움직임의 결과는 모든 구성요소의 역동적 상호작용에 따른결과라는 것이다. 운동장애나 기능장애가 있는 움직임을 정지시키는 어떤 시스템도 없지만, 모든 시스템은 움직임의 결과에 있어서 매우 중요하다.

2) 과제의 배경(context)

과제의 배경 내에서 다양한 하부시스템을 평가하지 않는다. 근력과 관절의 범위는 자주 비기능적인 자세에서 평가되어지며, 치료사는 과제를 수행하기 위하여 아동이 가지고 있는 근력과 관절 범위를 결정하고 평가하는데 있어 적절한 과제를 수행할 동일시 연령(identifying age)을 고려해야 한다.

3) 환경

움직임의 패턴을 평가할 때, 치료사는 똑같은 조건하의 환경 내에서 실시한다. 평가하는 동안 환경을 변화시킬 때 아동이 변화된 환경에 어떻게 적응하는지, 아니면 변화된 환경에 반응하지 않고 이전과 동일한 움직임 패턴을 보이는지를 확인한다. 즉, 치료사들은 아동이 협조적 방식으로 행동을 수행하는지, 그리고 변화하는 환경에 대처하여 움직임 패턴의 유연성(flexibility)이 있는지를 관찰해야 한다. 또한 움직임 패턴을 생성하는 환경적 지지나 환경의 유형에 관한 중요한 정보를 얻어 올바른 평가를 실시해야 한다. 예를 들어 아동이 딱딱한 바닥 위에서 걸을 때, 혹은 거품이나 잔디 위에서 걸을 때, 변화된 환경에 아동의 이동패턴이 얼마나 적응을 잘 하는지 치료사는 알아야 한다.

4) 새로운 평가 개념

역동적 시스템 이론은 새로운 평가 개념으로서 확인된 집합 변수(collective variables), 이행 주기(transition period), 조절 파라미터 같은 부가적인 평가 전략을 제공한다.

① 집합 변수(순서 파라미터)를 확인한다. 사지내 협응에 대해 집합 변수는 하지에서 관절의 상관관계, 반응시기 지연, 움직임의 시간을 나타낸다. 내뻗기(reaching) 동작에서 가속과 감속의 수는 뇌성마비 아동들의 평가에 유용하다. 다리에서의 사지간 협응에 대해, 시간과 거리에 대한 사지의 위상은 움직임을 분석하는데 도움이 된다.

② 이행 주기를 확인한다. 이행 주기는 교란 뒤에 안정된 패턴으로 되돌아오는데 걸리는 시간의 양과 움직임 패턴의 변이성으로 설명할 수 있다. 치료사는 이행 주기 동

안에 움직임 패턴이 더 많이 변화됨을 알아야 하며, 이러한 패턴들은 쉽게 교란된다.

③ 조절 파라미터를 확인한다. 조절 파라미터는 움직임 패턴을 제한하는 변수이다. 체중(weight)이 아동의 발차기와 발 내딛기에 있어서 조절 파라미터로 설명되었기 때문에, 체중과 신장(섰을 때와 앉았을 때), 그리고 사지의 둘레와 길이 같은 변수들은 인체측정학적 척도로서 평가한다.

5) 평가도구

평가도구로는 비디오촬영, 운동학(kinematics), 전기곡선기록법(electrography), 운동역학(kinetics) 등이 사용된다. 움직임의 패턴에 관심이 있는 치료사들은 평가를 위해 비디오 촬영을 많이 이용하는데 이는 운동발달 이정표를 따르는 발달 평가와는 대조적으로, 비디오 테이프 분석이 움직임이 발생하는 배경에 대한 구성요소들의 움직임을 분석하는데 매우 효과적이기 때문이다. 운동학적 분석은 종종 비디오 촬영술과 함께 사용되며, 그것은 움직임의 역동적인 특성을 포착하여 움직임의 질적인 특성을 수량화하는 민감한 측정 시스템으로 시간·속도·진폭·가속도 같은 객관적인 운동학적 변수에 따라 움직임을 기술할 수 있으며, 움직임의 영구적인 기록을 제공한다. 운동학적 자료는 관적 전위패턴이 시간에 따라 도면화된 시간-의존 표현이나 각-각 도면과 진폭-속도 위상 평면 궤도와 같은 시간-독립 표현을 도식적으로 보여준다. 이들 도면을 위상 묘사라고도 하는데 이들 도면들은 여러 개의 신체 부분에 대한 하나의 신체 부분의 움직임 경로나 시간에 대한 신체 부분의 움직임 경로에 관한 유용한 설명적 자료를 제공할 뿐만 아니라 움직임 경로의 속도, 방향, 진폭에 대한 정보를 제공한다.

운동학적 분석은 운동 장애의 근원적인 원인에 대한 정보를 제공하는 힘의 분배나 움직임의 운동역학을 평가함에 있어서 필수적인 것이다. 운동학적 분석은 움직임의 신경 조절에 대한 통찰력을 위해 근전도와 함께 사용될 수 있다.

역동적 시스템 관점에 따른 평가는 첫째, 연령에따라 잘 수행될 수 있는 과제와 수행될 수 없는 과제. 둘째, 이행 주기. 세째, 움직임을 제약하는 조절 파라미터(아동들 사이에 있는 내적 변수나 환경 혹은 사회적 배경에 있는 외적 요소). 네째, 환경적 변수 즉, 다양한 배경에서의 움직임 패턴의 안정성이다.

2. 치료

역동적 시스템 관점에 근거한 다음의 원칙들은 물리치료 적용에 유용하다.

1) 기능을 증진시킨다.

역동적 시스템 이론에 의하면 기능은 행동으로 통합되며, 이들 과제와 목표는 연령에 적절해야 한다. 이 개념은 아동을 치료함

에 있어서 수동적 수혜자에서 능동적 참여자로 인식할 것을 의미한다. 연령에 적절한 과제 또는 목표는 기능 증진에 있어서 발달 순서를 따르지 않는다. 예를 들면, 기기(creeping)는 서기와 걷기에 있어 필요 조건은 아니다. 왜냐하면 어떤 문화권에서는 대다수의 아이들이 독립적 보행을 달성하는 방법으로 기기 단계를 거치지만, 다른 문화권에서는 그렇지 않은 경우도 있기 때문이다.

2) 이행 반응시기(transitional phase)를 확인한다.

이행 반응시기는 움직임에서 변화를 효과적으로 끌어내는 최적의 시간이다. 이행 반응시기 전에 움직임은 매우 안정된 상태이며 교란에 대해 저항적이다. 만약 강한 attractor와 행동 패턴이 매우 안정된 상태인 경우처럼 움직임의 패턴이 매우 안정되었다면 더욱 성숙된 패턴으로 옮기기는 매우 어려울 것이다. 그러나 아동이 움직임 패턴의 변이성과 증가된 시간에 의해 안정된 움직임 패턴으로 돌아가기 위해 지연된 이행 상태에 있다면 이동은 더욱 쉽게 일어날 수 있다. 이행 상태 동안 행동은 덜 안정적이며, 움직임 패턴은 더욱 유연해지고, 적응하기는 더욱 쉬워진다. 이 때 아동에게 움직임을 위한 선택과 해답을 탐색할 기회가 제공되어져야 한다.

물리치료사의 역할은 아동이 안정된 움직임의 해답을 찾도록 도와주어야 하나, 중요한 것은 그 해답을 아동 스스로 찾도록 해야한다. 그러므로 물리치료사는 기능적인 목표나 과제를 향해 직접적이고 다양한 경험을 제공하며, 연령에 알맞은 과제를 선택하고, 환경을 구조화하며, 움직임을 제한하는 조절 파라미터 조작에 의해 아동들을 도와준다.

3) 원하는 기능적 과제나 목표를 재현하는 조절 파라미터(control parameter)를 조작한다.

조절 파라미터는 영아 내에 또는 물리·사회적 환경을 포함한 환경 내에 존재하며, 조절 파라미터 자체의 발달 과정이 있으며, 어떤 시간주기에서 움직임을 압박하기도 하고 다른 시간에서는 돕기도 하며, 이행 주기 동안 움직임의 결과에 큰 영향력을 미치지만 비이행주기 동안에는 거의 영향을 미치지 않는다.

조절 파라미터는 각성 수준, 체격, 자세 조절, 근력 등이 있으며, 변수들은 수량적 특성과 어떤 비율로 축소와 확대시킬 수 있는 범위를 갖는다. 이들 조절 파라미터들 중 일부는 기능적인 운동의 과제나 목표를 강화시키기 위해 조작되어질 수 있고, 다른 변수들은 과제를 실행하는 동안 보이지 않는 구성요소를 제공하는 것에 의해 조절될 수도 있다.

영아는 12개월보다 더 일찍 걸을 수 있는 근골격 패턴을 가졌지만, 이 행동을 성취하

기 위한 적절한 힘이나 자세 조절이 부족하기 때문에 걸을 수 없다. 만약 겨드랑이 밑을 잘 지지해주어 체중 지지를 돕고 자세 조절을 제공한다면, 영아는 걸음을 걸을 수 있다. 성장하면서 체격과 근력이 부족하게 될 때 영아는 걸음 걷는 것을 제한한다. 그러나 체중이 부과된 사지에 지지를 제공하고 물 속에 놓여질 때, 그리고 겨드랑이 밑에 지지를 할 때 영아들은 걸음을 걷게 된다. 또한 트레드밀에 놓이게 되면 영아들은 걷는다. 그러므로 치료에서 움직임의 패턴을 제한하는 조절 파라미터를 조작하거나 조절 파라미터를 인위적으로 제공한다면 좀 더 성숙한 형태의 움직임이 생성되어질 수 있다.

조절 파라미터는 영아의 환경으로부터 생략될 수 있다. 예를 들면, 초기의 동시적 발차기 단계를 벗어나지 못한 미숙아는 거의 바로 선 자세로 서 있을 수 없다는 것이다. 만약 바로 선 자세에서 움직임 연습이 미성숙한 패턴에서 성숙한 패턴으로의 보행 패턴을 이동시키며, 발차기와 걷기가 같은 움직임 패턴이라면, 이러한 경험은 발차기에서 관절의 분리(uncoupling)를 변화시킬 수 있다는 것이다.

4) 배경이나 환경이 움직임의 패턴을 변화시킨다.

보이지 않는 조정 파라미터로 고려되는 보조기(orthotics) 등과 같은 적응장비(adaptive equipment)의 사용은 안정성을 유지하는 동안 움직임 패턴의 유연성을 증진시키는 물리적 환경이라고 말 할 수 있다.

사회적 배경은 영아와 아동들에게 매우 중요하다. 부모와 보호자는 아동의 기능적 움직임의 패턴을 증진시키기 위해 훈련받아야 한다. 사회적 배경을 좋게 만들려면 영아나 아동들에게 관심을 갖고 다양한 움직임 패턴을 조사하여 아동들에게 올바른 움직임의 기회를 제공하고, 특별한 기능적인 과제나 목표에 대한 해답을 찾도록 하는 것이다.

5) 연습과 경험

영아나 아동들이 얼마나 자주 새롭게 발견된 움직임 패턴을 연습하는지 생각해 보면 아동은 먼저 끌어 당겨 서기(pull to stand)를 배울 때 끌어당기기(pull)와 넘어지기(fall)를 계속한다. 연습하는 동안 아동은 경험을 하게 되며, 환경과 아동과의 관계 그리고 중력이 미치는 영역 내에서 신체 부분의 상호관계는 움직임의 패턴을 활성화시킨다. 이러한 움직임의 연습은 끌어 당겨 서기처럼 목적있는 동작을 연출하기도 하고 무의식적인 발차기처럼 목적이 없는 동작을 연출하기도 한다. 태어나서 몇 달 후의 무의식적인 발차기는 목적이 없는 것이며, 각성 수준에 의해 내적으로부터 생긴다. 나이가 들면서 발차기는 수의적인 조절 하에서 사물을 탐색하고 소음이나 신호 관리자를 만들기 위해 외인성으로 파생된다. 경험은 움

직임 패턴을 강화하지만, 그것은 움직임의 전략이 기능적인 환경에 있을 때 가능하다.

운동 과제의 발달을 증진시키기 위한 다루기(handling)를 받은 영아들은 다루기를 받지 않은 영아보다 더욱 빠르게 행동한다.

6) 변화과정의 초점이 움직임 패턴에 대한 결과 측정에 있어서 중요하다.

일반적으로 물리치료의 효과에 대한 연구는 결과 변수로서 운동발달 이정표에 따른 성취도의 변화를 사용하였다. 이 방법은 척도와 기준의 근거는 형성하였으나, 어떻게 영아나 아동들이 성취된 운동활동으로 발달하는지는 알아내지 못하였다. 그러므로 물리치료 프로그램 동안 변화가 기대되는 집합변수를 확인하고, 역동적 활동 시스템에 근거하여 움직임 패턴이 어떻게 발달되며 그와 관련된 요소들이 중요하다.

그러므로 치료에 있어서 이들 요소의 사용은 물리치료의 새로운 변화를 암시하며, 사례 연구(case study)와 단일 대상자 설계(single subject design)는 물리치료의 효능을 결정하는데 사용된다. 앞으로 이러한 틀은 임상물리치료사 들에게 영아와 아동의 움직임을 연구하는데 도움이 될 것이다.

V. 맺음말

치료계획과 치료를 위해서 정상운동발달 단계를 따를 것인가를 결정할 때 다음과 같은 문제점들을 고려해야 한다. 첫째, 운동발달에 관한 초기 이론들에 참여시킬 수 있는 정상운동발달 진행의 새로운 이론들이다. 아동들은 원위부 조절을 시작하기 전에 완벽한 근위부 조절이 필요치 않고, 오히려 원위부와 근위부 두 영역에서 동시에 작용하는 활동이 더 효과적이다. 더욱이 보행, 서 있을 때 균형잡기, 팔뻗기 등을 위하여 미리 프로그램화된 운동전략들이 중요하며, 치료사들은 이러한 기능적 목표에 도달하기 위하여 특정한 운동패턴을 직접적으로 촉진시키는 것이 바람직하다. 둘째, 모든 운동발달 지표와 구성요소들은 갑작스러운 발달과 약간의 절정기, 심지어 퇴보를 가지고 정상적으로 서로 중복되면서 발달한다. 치료사들은 이러한 발달의 중복을 고려해야 하며 발달단계에서 다양한 운동강도와 운동활동들을 제공해야한다. 셋째, 많은 변동들은 운동특성과 운동의 시작에 관한 운동발달 지표들의 발달에서 나타난다. 그러나 이러한 변동들은 정상 범위내에 있는 운동 능력들에 이르게 할 수 있다. 치료사들은 움직임의 특성과 시작에 관련된 체격, 근긴장도 그리고 근력 등과 같은 것들을 고려해야 한다. 그럼에도 불구하고 치료사는 그들의 운동패턴에서 이들의 범위를 허용할 수 있다. 넷째, 발달의 모든 영역에서 운동영역 이상으로 아동들에게 필요한 것이 무엇인지를 생각해야 한다. 때때로 운동치료의 빈도를 감소시키거나 일정

기간동안 치료 초점을 다른 영역에서 허용되도록 치료의 목적을 기능적인 능력 향상에 두어야 한다. 이러한 생각을 가지고 치료사들은 주어진 아동을 위한 특별한 동기 제공자로 생각해야 하며, 치료의 효과와 기능을 최대화시키기 위하여 아동의 요구에 반응해야 한다. 다섯 번째, 치료계획을 세울 때 나이와 장애의 정도를 신중하게 고려해야 한다. 즉, 정상운동발달 단계를 따르는 것이 기능적인 능력을 향상시키기 위하여 포기되어야 하며, 연령이 많은 아동들의 치료프로그램은 정상운동발달의 구성요소로서 강조되는 것보다는 나이에 적당한 기능적인 활동과, 아동과 그 가족들이 흥미를 가질 수 있는 활동이 더욱 강조된다. 심한 운동손상을 가진 아동의 경우에, 평형반응과 다른 운동요소들의 정상운동발달을 강조하는 것보다는 상호교통(communication)과 환경 내에서의 상호작용이 움직임에 중요한 의미를 갖는다. 인지적인 기능들이 정상에 가까운 아동은 다른 영역에서 발달이 정상적으로 이루어질 수 있도록 비독립적인 가동성의 대안적인 형식과 같은 운동 행동들을 격려해야 한다.

따라서 모든 영역으로부터 아동들의 치료프로그램을 결정할 때 새로워진 정상운동발달의 이해가 치료사에게 도움을 주며, 치료사들은 신체에 관한 지식들이 많아짐에 따라 운동발달의 기본과미묘한 복잡성(subtle complexity)들을 그들의 영역으로 통합시키는 것이 필요하다. 모든 발달의 측면과 발달에 작용하는 미묘한 복잡성들은 운동발달지연 또는 장애를 가진 아동의 치료프로그램을 세울 때 다시 재검토되어야 하며, 신경생리학적 치료접근에 관한 이론 모델들과 임상경험을 통한 발달에 대한 우리들의 문제를 재점검하고, 운동발달과 관련된 최신의 이론적 모델들을 임상에서 올바르게 적용하는 노력들이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

Als H. A synactive model of neonatal behavioral organization: framework forthe assessment of neurobehavioral development in the premature infant and support of infants and parents in the neonatal intensive care environment. Physical & Occupational Therapy in Pediatrics. Summer-Fall 1986;6:3-51.

Als H. Toward a Synactive theory of development: Promise for the assessment andsupport of infant individuality. Infant Mental Health

Journal. 1982;3:229-243.

Ayres AJ. Sensory Integration and Learning Disorders. Los Angeles, Calif: WesternPsychological Services; 1972.

Bayley N. The development of motor abilities during the first three years. Monographs of the Society for Research in Child Development. 1935;1:1-26.

Bernstein N. Coordination and Regulation of Movements. New York, NY: PergamonPress Inc 1967.

Bertenthal BI, Campos JJ. New directions in the study of early experience. Child Dev. 1987;58:560-567.

Bly L. The Components of Normal Movement During the First year of Life and Abnormal Motor Development. Birmingham, Ala: Pittenger and AssociatesPathway Press; 1983.

BobathB. Facilitation of normal postural reactions and movement in thetreatment of cerebral palsy. Physiotherapy. 1964;50:246-262

Bobath B, Bobath K. The neuro-developmental treatment, In: Scrutton D, ed Management of the Motor Disorders of Children with Cerebral Palsy. London, England: Spastics International Medical Publication; 1984:6-18.

Bottos M, Barba BD, Stefani D, et al. Locomotor strategies preceding independentwalking: prospective study of neurological and language development in 424cases. Dev Med Child Neurol. 1989;31:25-34.

Butler C. Effects of powered mobility on self-initiated behaviors of very youngchildren with locomotor disability. Dev Med Child Neurol. 1986;28:325-332.

Campbell PH. Programming for students with dysfunction in posture and movement. In: Snell ME, ed. Systematic Instruction of Persons with Severe Handicaps. Columbus, Ohio: Merrill Press; 1987;1:88-210.

Case-Smith J, Fisher AG, Bauer D. An analysis of the relationship

between proximal and distal motor control. Am J Occup Ther. 1989;43:657-662.

Delacato CH. Neurological Organization and Reading. Springfield, Ill: Charles C Thomas, Publisher; 1966.

Domain RJ, Spitz EB, Zucman E, et al. Children with severe brain injuries:neurological organization in terms of mobility. JAMA. 1960;17:257-262.

Fetters L. Developmental concepts for therapeutic intervention. In Touch Self-Study Courses: Topics in Pediatrics, Lesson 7. Alexandria, Va: American Physical Therapy Association; 1990:1-8.

Fogel A, Thelen E. Development of early expressive and communicative action:reinterpreting the evidence from a dynamic systems perspective. Developmental Psychology. 1987;23:747-761.

Gesell A. Developmental Diagnosis. 2nd ed. New York, NY: Harper & Row, Publishers Inc; 1947.

Gesell A. The ontogenesis of infant behavior. In: Carmichael L, ed. Manual of ChildPsychology. 2nd ed. New York, NY; John Wiley & Son Inc; 1954;335-373.

Gilfoyle EM, Grady AP, Moore JC. The spiraling continuum of spatiotemporaladaptation. In: Gilfoyle EM, Grady AP, Moore JC, eds. Children Adapt. Thorofare, NJ: Slack Inc; 1981.

Harris SR, Atwater SW, Crowe TK. Accepted and controversial neuromotor therapies for infants at high risk for cerebral palsy. Journal of perinatology. 1987;8:3-13.

Heriza CB. Organization of leg movements in preterm infants. Phys Ther. 1988;68:1340-1346.

Horowitz FD. Commentary: process and systems. In: Gunnar MR, Thelen E, eds.Systems and Development: The Minnesota Symposia on Child Psychology. Hillsdale,NJ: Lawrence Erlbaum Associated Inc; 1989;22:211-218.

Illingworth RS. The Development of the Infant and Young Child: Normal

andAbnormal. New York, NY: Churchill Livingstone Inc; 1960.

Jacobs MJ. Development of normal motor behavior. Am J Phys Med. 1967;46:41-51.

Kelso JAS, Tuller B. A dynamical basis for action systems. In: Gassaniga M, ed.Handbook of Cognitive Neuroscience. New York, NY: Plenum Publishing Corp;1984:321-356.

Kugler PN, Kelso JAS, Turvey MT. On the concept of coordinative structures asdissipative structures: I. Theroretical lines of convergence. In: Stelmach GE,Requin J, eds. Tutorials in Motor Behavior. New York, NY: Elsevier Science Publishing CoInc; 1980:3-47.

McGraw M. Professional and personal blunder in child development research.Newsletter for Society for Research in Child Development. Winter 1985(suppl).

McGraw MB. Maturation of behavior. In: Carmichael L, ed. Manual of Child Psychology. 1st ed. New York, NY: John Wiley & Sons Inc; 1946:332-369.

McGraw MB. The Neuromuscular Maturation of the Human Infant. New York, NY:Hafner Press; 1945.

Molnar GE. A developmental perspective for the rehabilitation of children with physical disability. Pediatr Ann. 1988;17:766-776.

Phillips CG, Porter R. Corticospinal Neurons: Their Role in Movement. New York, NY: Academic Press Inc;1977

Reed ES. Changing theories of postural development In: Woollacott MH, Shumway-Cook A, eds. Development of Posture and Gait Across the Lifespan.Columbia, SC: University of South Carolina Press; 1989:4-24.

Sameroff AJ. Commentary: General Systems and the regulation of development. In:Gunnar MR, Thelen E, eds. Systems and Development. The Minnesota Symposia on Child Psychology.

Hillsdale, NJ:Lawrence Erlbaum Associates Inc; 1989;22:219-235.

Sameroff AJ. Developmental systems: Contexts and evolution. In: Mussen PH, ed.Handbook of Child Psychology. 4th ed.(Formerly Carmichael's Manual of ChildPsychology). New York, NY: John Wiley & Sons Inc; 1983;1:237-294.

Sherrington CS. The Integrative Action of the Nervous System. New York, NY: Scribner Book Co; 1906.

Shirley MM. The First Two Years: A Study of Twenty-Five Babies: Postural andLocomotor Development. Minneapolis, Minn: University of Minnesota Press; 1931;1

Shumway-Cook A, Woollacott MH. The growth of stability postural control froma developmental perspective. Journal of Motor Behavior. 1985;17:131-147.

Stockmeyer SA. An interpretation of the approach of Rood to the treatment of neuromuscular dysfunction. Am J Phys Med. 1967;46:900-956.

Thelan E. Developmental origins of motor coordination: leg movements in humaninfants. Developmental Psychobiology. 1985;18:1-22.

Thelen E. Self-organization in developmental processes: Can systems approaches work? In: Gunnar M, Thelen E, eds. Systems and Development: The Minnesota Symposium on Child Psychology. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc; 1989;22:7-11.

Touwen BCL. Neurological Development in Infancy. Clinics in DevelopmentalMedicine, No. 58. Philadelphia, Pa: JB Lippincott Co; 1976.

Voss DE. Proprioceptive neuromuscular facilitation: the PNF method. In: Pearson PH, Williams CE, eds. Physical Therapy Services in the Developmental Disabilities. Springfield, Ill: Charles C Thomas, Publisher; 1972:223-282.

Wolff PH. Normal variation in human maturation. In Conolly KJ, Prechㅅ]

HFR, eds.Maturation and Development: Biological and Psychological Perspectives. Clinics in Developmental Medicine, No. 77/78. Philadelphia, Pa: JB Lippincott Co; 1981:1-18.