

누운자세에서 머리들기 시 정상아동과 뇌성마비아동 간의 항굴근 수축 개시 시간 비교

연세SM적응센터 및 용인대학교 자연과학대학 물리치료학과
황선관 · 황병용

Comparison of the Onset Times of Antigravity Flexor Muscle Activity During Head Lift in Supine Position between Children with Cerebral Palsy and Healthy Children

Hwang, Seon-Gwan · Hwang, Byong-Yong*

Yonsei SM Adaptation Center

Department of Physical Therapy, College of Natural Science, Yongin University*

<Abstract>

The purpose of this study was to compare the muscle onset time of sternocleidomastoid (SCM) and rectus abdominalis (RA) muscle activity during head lift in supine position between cerebral palsy and healthy children. Ten cerebral palsy children and 10 age, sex-matched healthy children were recruited for this study. Muscle activity of the SCM and RA were collected by surface electromyography (MP100SWS). Results demonstrated that the muscle onset time order was not significantly different between cerebral palsy children and healthy children. However, the DMHT and ST between SCM and RA during head lift in supine position were significantly shorter in healthy children than in cerebral palsy children. Further studies are needed to clarify the mechanism of differences in muscle activation patterns during head lift in supine position in cerebral palsy children compared with healthy children.

I. 서 론

전통적으로 정상적인 감각운동은 근위부의 안정성과 원위부 운동성의 상호 작용에 의해 발달된다고 알려져 왔다(Stockmeyer, 1967). 정상발달과정 동안 생후 5개월에 복부와 고관절 굴근의 조절 능력이 발달되어 누운 자세에서 두 다리를 들어 올릴 수 있고, 복근의 발달로 흉곽을 고정시킬 수 있으며, 생후 6개월에 누운 자세에서 아동이 턱을 당기고 머리를 들 수 있으며, 이것은 머리를 조절하는 항굴근(antigravity flexor muscle)이 발달하는 것을 의미한다(Bly, 1980). 누운 자세에서 머리를 들어올리기 위해서는 근위부인 몸통이 안정성이 있어야만 가능하다. 복근은 복직근, 내복사근, 외복사근, 횡근으로 이루어져 있으며, 이 근육들은 몸통을 굴곡시키는 역할을 하지만, 누운 자세에서 머리를 들어 올릴 때에는 몸통의 안정성을 제공한다. 누운 자세에서 머리를 들어 올릴 때 복근은 흉곽을 고정시켜 흉곽에 붙어 있는 경추 굴근이 양측성으로 작용하여 머리를 올리는데 도움을 준다(Kendall, 1983).

발달과정에서 몸통 굴근들은 중요한 운동패턴을 달성하는데 기여한다(Lefkof, 1986). 누운 자세에서 굴곡은 초기 전체굴곡패턴으로 아동이 중력을 극복하고 누운 자세에서 고개, 몸통, 그리고 사지를 들어 올릴 수 있게 한다(Stockmeyer, 1967). 목과 몸통의 굴근은 사지의 굴근과 조화되어 발달하며, 특히 전외측 복근의 활성화는 몸통을 안정화시키고 누운 자세에서 머리를 들 수 있는 능력을 발달시킨다(Floyd와 Silver, 1960). 정상 발달에서 복근의 발달은 누운 자세에서 양쪽 다리를 굴곡, 내전, 외회전을 통해 완성되지만 뇌성마비아동의 경우에는 복근이 발달되지 않아 골반후방경사가 충분히 발달되지 못하여, 고관절 근육의 발달과 고개를 들어올리는 항굴근의 발달에도 영향을 준다(Bly, 1980). 이러한 현상은 단순히 경추 굴근의 약화뿐만 아니라 경추 굴근이 효과적으로 작용할 수 있도록 복근의 안정화가 부족하기 때문에 발생할 수도 있다. 머리를 들기 위해서는 복부가 먼저 안정화되어야 가능하기 때문에 항굴근인 복근, 흉부근, 경추 굴근의 근 수축 개시 시간의 순서는 중요하다. 지금까지 아동들을 대상으로 복근의 근력에 대한 연구는 있었지만 누운 자세에서 항중력 근육의 운동조절과 관련된 연구는 없었다(Baldauf 등, 1984; Lefkof, 1986).

운동조절에 대한 연구를 수행하는 데는 다양한 방법이 있지만 그 중 근전도를 이용한 근육의 수축 개시 시간을 알아보는 방법이 균형 또는 요통과 관련된 연구에 활용되고 있다(Hodges와 Richardson, 1997; Horak, 1988). 이에 본 연구는 표면근전도를 이용하여 뇌성마비아동과 정상 아동 간에 누운 자세에서 머리 들기 시 항굴근의 근 수축 개시 시간에 어떤 차이가 있는지 알아보고자 한다. 이러한 연구 결과는 뇌성마비아동을 평가 및 치료하는데 필요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상 및 연구기간

본 연구의 대상자는 서울장애인종합복지관에서 치료 중인 5~8세의 뇌성마비아동 중 누운 자세에서 머리 들어 올리기가 어려운 10명을 무작위로 선정하였다. 뇌성마비아동의 선정기준은 누운 자세에서 머리를 들 수 있지만, 수평면으로부터 20도 이상 굴곡이 불가능한 경직성 뇌성마비아동, 검사자의 간단한 지시를 이해할 수 있는 아동, 머리를 들어올릴 때 근골격계 질환으로 인한 통증이 없는 아동, 표면근전도 또는 실험기구에 대하여 두려움이나 거부반응이 없는 아동, 아동의 부모로부터 연구에 참여하겠다는 자발적인 동의를 받은 아동을 선정하였다. 정상아동은 신경학적, 발달적, 근골격계 질환이 없는 아동 중 뇌성마비아동과 같은 연령, 동성을 매칭시켜 K 유치원에서 선발한 후, 아동과 부모로부터 자발적인 동의를 얻은 아동을 대상으로 하였다.

2. 실험 장비

표면근전도 MP100SWS (BIOPACK System, Inc., USA, 1997)을 이용하고, 전극은 표면전극인 Bagnoli DE3-1 EMG (DelSys Inc., Boston, MA, USA) 전극을 사용하였다. 2개의 근전도 전극과 하나의 스위치를 사용하였다(그림1). 전극은 복직근과 흉쇄유돌근에 부착하고 스위치 전극은 바닥과 닿는 머리 뒷부분에 위치시켰다. 접지전극(reference electrode)은 오른쪽 손목에 부착하였다. 스위치 전극은 머리가 바닥으로부터 떨어지는 시점이 언제인가를 알기 위해

여 사용되었다. 두 개의 전극과 하나의 스위치 전극으로부터의 신호는 실시간으로 개인용 컴퓨터에 저장하였다. 근전도 신호는 1000 sample/sec로 표집 하였고, 잡음을 제거하기 위하여 30-300 Hz의 대역필터(band pass filter)와 60 Hz notch 필터로 처리하였다.

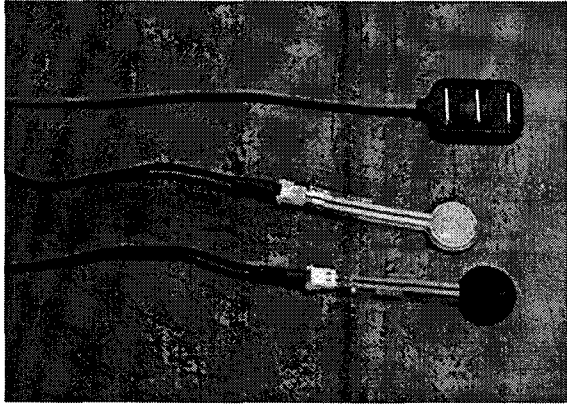


그림 1. 실험에 사용된 스위치와 근전도 전극

3. 연구방법

아동은 상의를 탈의한 후 편안한 자세로 누워 있게 하고 전극과 스위치, 접지전극을 부착하였다. 전극을 부착하기 전에 피부저항을 최소화하기 위하여 부드러운 사포로 피부각질을 제거하고, 알콜로 문질러 깨끗하게 하였다. 첫 번째 전극은 왼쪽 흉쇄유돌근의 중간 지점 근복에 부착하였고, 두번째 전극은 배꼽에서 외측으로 2cm 떨어진 복직근 근복에 부착하였다(Cram 등, 1998)(그림 2).

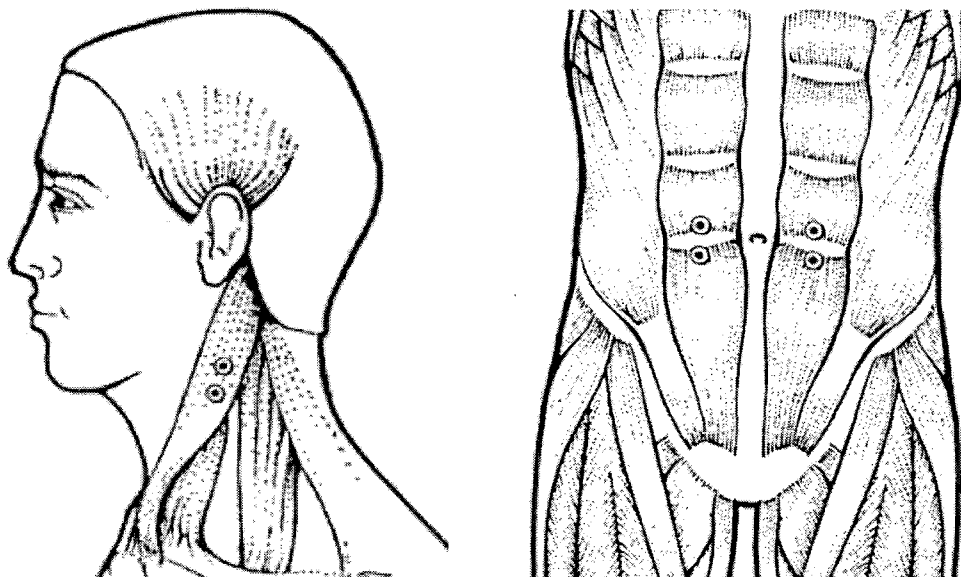


그림 2. 흉쇄유돌근과 복직근에 부착한 전극의 위치

머리가 바닥으로부터 떨어지는 시점을 알아보기 위한 스위치는 후두에서 가장 돌출된 부분과 바닥 사이에 위치시켰다. 머리를 지면으로부터 들기 전에 아동은 최대한 근 이완이 되도록 하였고, 컴퓨터 스크린을 통하여 흉쇄유돌근과 복직근의 근 활성화도가 안정 상태가 되는 것을 확인한 후, 아동에게 가능한 빨리 머리를 지면으로부터 들라고 지시하였다(그림 3).

안정 상태에서 머리를 들 때의 근전도 신호를 20초간 수집 저장하였다. 2개의 채널과 스위치로부터 수집된 아날로그 신호는 MP100 시스템으로 보내져 디지털 신호로 전환한 다음 개인용 컴퓨터에서 Acknowledge 소프트웨어를 이용하여 잡음제거와 자료처리를 하였다.



그림 3. 머리를 든 상태

4. 분석방법

수집된 자료는 full-wave rectify 시켰다. 근 수축 시간은 머리를 들기 전 안정 상태에서 기록한 10초 동안의 근 수축량의 평균과 표준편차를 구하고 그 표준편차의 2배 이상 근 활성화도가 증가하는 시점을 근 수축 개시 시점으로 설정하였으며(Di Fabio, 1987), 이러한 과정은 Acknowledge 소프트웨어 프로그램에서 자동적으로 처리되었다. 각각의 근 수축 개시 시점은 스위치 전극으로부터 얻은 자료로부터 머리가 지면으로부터 분리된 시간을 기준점으로 상대적인 시간을 산출하였다. 머리가 지면으로부터 분리된 시점보다 먼저 근 수축이 발생하면 양(+) 값이 되고, 나중에 수축하면 음(-) 값으로 상대적인 시간을 측정하였다. 양의 값이 클수록 근 수축 개시가 시작된 후 머리를 들어올릴 때까지 걸린 시간이 긴 것을 의미한다. 측정된 근 수축 개시 시간을 이용하여 흉쇄유돌근과 복직근의 근 수축 개시 순서를 결정하였다(그림 4~5).

또한 머리를 들기까지 소요되는 흉쇄유돌근과 복직근의 근 수축 시간을 측정하였고, 머리를 들어 올릴 때 두 근육의 동시수축(synchronization) 시간 간격을 알아보기 위하여 두 근육의 수축 개시 시간 차이를 계산하였다. 측정은 3회 실시하였고, 그 평균값을 자료분석에 사용하였다.

뇌성마비아동과 정상아동 간의 일반적 특징, 근 수축 개시 순서, 머리를 들어올릴 때까지 걸린 흉쇄유돌근과 복직근의 근 수축시간과 두 근육간의 동시수축시간간격을 두 근간에 차이가 있는지 알아보기 위하여 Mann-Whitney U 검정을 실시하였다. 자료를 부호화한 후 통계처리를 위하여 상용통계프로그램인 윈도우용 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences) 프로그램을 사용하였다. 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

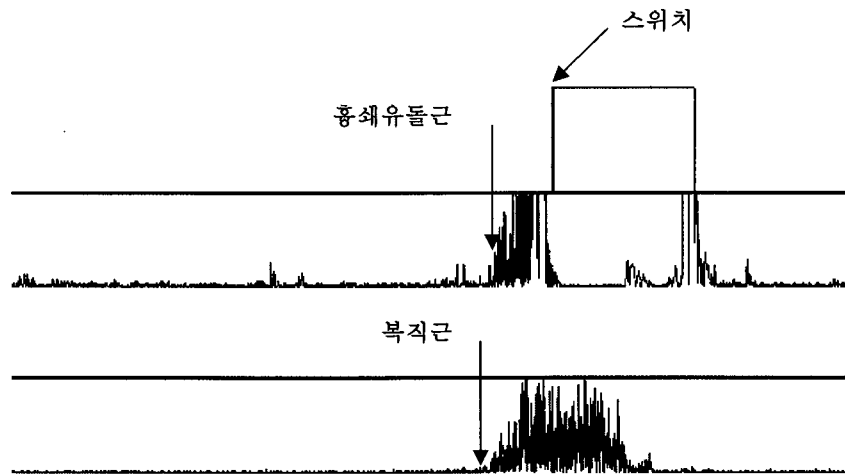


그림 4. 뇌성마비아동에서 흉쇄유돌근과 복직근의 근 수축 개시 시간

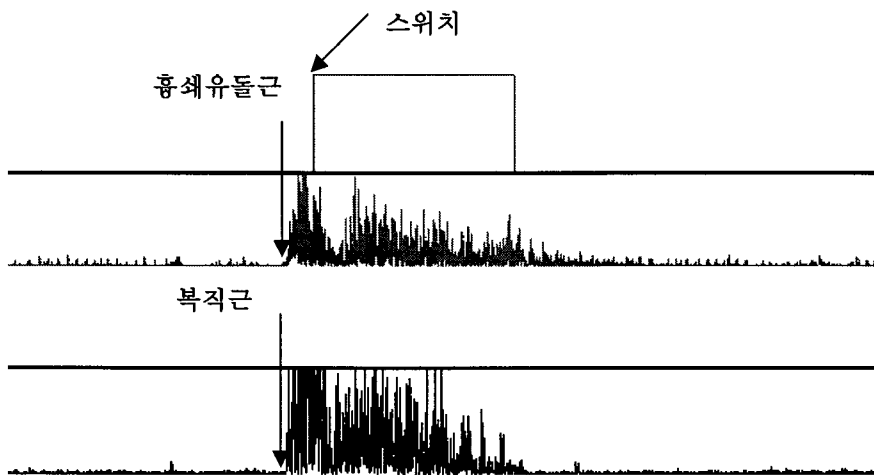


그림 5. 정상아동에서 흉쇄유돌근과 복직근의 근 수축 개시 시간

Ⅲ. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

본 연구에 참여한 대상자의 성별은 뇌성마비아동과 정상아동 각각 남 9명, 여 1명이었고, 평균 연령은 뇌성마비아동이 7.1세, 정상아동은 6.9세이었다. 뇌성마비 아동의 평균 신장은 118.9cm, 정상아동은 120.2cm이었고, 평균체중은 뇌성마비아동에서 22.3kg, 정상아동이 23.3kg이었다(표 1). 두 군간에 연령, 신장, 체중에는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

표 1. 대상자의 일반적 특성

특성	뇌성마비아동 n=10	정상아동 n=10	U	p
연령(year)	7.1±2.3	6.9±3.5	42.5	0.53
신장(cm)	118.9±4.7	120.2±5.4	35.5	0.26
체중(kg)	22.3±4.5	23.3±3.4	34.5	0.23

2. 흉쇄유돌근과 복직근의 수축 개시 순서 비교

뇌성마비아동과 정상아동 간에 머리를 들어 올릴 때 흉쇄유돌근과 복직근의 근 수축 개시 순서에 차이가 있는지 알아본 결과, 뇌성마비아동의 경우 복직근이 먼저 수축한 아동은 4명이었고, 흉쇄유돌근이 먼저 수축 개시한 아동은 6명이었다. 정상아동의 경우 복직근이 먼저 수축한 아동은 6명이었고, 흉쇄유돌근은 4명이었으나 통계학적으로 두 군간에 유의한 차이가 없었다(표 2).

표 2. 흉쇄유돌근과 복직근의 수축 개시 순서 비교

구분	평균순위	U	p
뇌성마비 아동	5.50	40	0.38
정상 아동	5.50		

3. 흉쇄유돌근과 복직근의 수축 시간 비교

뇌성마비아동과 정상아동 간에 머리를 들어올릴 때까지 흉쇄유돌근의 근 수축 시간을 비교한 결과, 뇌성마비아동의 경우 머리를 들어올리기까지 걸린 수축 시간은 0.380초이었고, 정상아동은 0.231초로 두 군간에 유의한 차이가 있었다.

머리를 들어올릴 때까지 복직근의 근 수축 시간을 비교한 결과, 뇌성마비 아동의 경우 머리를 들어올리기까지 걸린 수축 시간은 0.448초이었고, 정상 아동은 0.212초로 두 군간에 유의한 차이가 있었다(표 3).

표 3. 머리들기 시점까지 흉쇄유돌근과 복직근의 수축 시간 비교

	구분	근 수축 시간(sec)	U	p
		평균±표준편차		
흉쇄유돌근	뇌성마비아동	0.380 ± 0.067	2.0	0.00*
	정상아동	0.231 ± 0.055		
복직근	뇌성마비아동	0.448 ± 0.120	0.5	0.00*
	정상아동	0.212 ± 0.419		

*p<0.05

4. 흉쇄유돌근과 복직근의 수축 개시 시간 간격 비교

머리를 들어올릴 때 복직근과 흉쇄유돌근의 동시수축 정도에 차이가 있는지 알아보기 위하여 복직근 수축 개시 시간과 흉쇄유돌근 수축 개시 시간 사이의 간격을 측정된 결과, 뇌성마비 아동의 경우 두 근육 개시 시간 차이는 0.144초이었고, 정상아동은 0.039초로 두 군간에 유의한 차이가 있었다(표 4).

표 4. 흉쇄유돌근과 복직근의 수축 개시 시간 비교

구 분	근 수축 개시 시간 간격(sec)	U	P
	평균±표준편차		
뇌성마비아동	0.144 ± 0.376	0.0	0.00*
정상아동	0.039 ± 0.022		

*p<0.05

IV. 고 찰

본 연구는 표면근전도를 이용하여 누운 자세에서 머리를 드는데 어려움이 있는 뇌성마비아동과 정상아동 간에 흉쇄유돌근과 복직근의 근 수축 개시 시간을 측정하여, 근 수축 개시 순서, 머리를 들 때까지 근 수축 시간, 두 근육의 수축 개시 시간의 동시수축 정도에 차이가 있는지 알아보기 위하여 실시하였다.

복근에는 복직근, 외복사근, 내복사근, 횡복근이 있으며 이 근육들이 양측성으로 수축할 때, 전면 골반과 흉부가 서로 가까워지면서 접근된다(Floyd와 Silver, 1960; Kendall 등, 1993; Part ridge와 Walters, 1959). 복근은 누운 자세에서 머리를 굴곡하여 들어올릴 때, 흉곽을 안정시켜 줌으로써, 경추 굴근이 양측성으로 수축할 수 있게 하여 머리를 들 수 있게 해준다. 그러므로 경추 굴근의 근력이 좋더라도, 복근이 약하면 누운 자세에서 머리를 들어올리기 어려울 수 있다(Kendall 등, 1993). Kendall 등(1993)은 머리를 들 때 흉곽을 고정하는데 특히 중요한 근육은 복직근이라 하였고, 또한 Floyd와 Silver(1950)도 근전도를 이용한 연구에서 누운 자세에서 머리를 들 때 4개의 복근들 중 복직근이 가장 많은 근활성도를 보인 근육이었다고 보고하였기에 본 연구에서는 네 개의 복근 중 머리를 들어올릴 때 가장 관련이 많은 복직근을 대상으로 근 수축 개시 시간을 측정하였다.

운동 협응 능력이나 운동발달에 대한 연구방법에는 다양한 방법이 있지만 근 수축 개시 순서를 알아보기 위해 근전도가 활용되고 있다(Sveistrup과 Woollacott, 1996; Woollacott와 Sveistrup; 1992). 실시간 자료에서 근 수축 개시 시간을 결정하는 방법에는 여러 가지가 있다. 오실로스코프나 컴퓨터 스크린을 보면서 경험자에 의해 주관적으로 시각을 통해 근 수축 개시 시점을 결정하는 방법과 컴퓨터의 소프트웨어를 이용하여 자동적으로 개시 시점을 결정하는 방법이 있다(Hillstrom과 Triolo, 1995). Perry(1992)는 최대 근 수축의 5% 이상 근 수축이 발생하는 지점을 수축 개시 시점으로 정의하였고, Nashner 등(1983)은 안정 시에서 측정된 표준편차의 1.5배 활성도가 증가하는 시점을 근 수축 개시 시점으로 하였다.

Di Fabio(1987)는 안정 시에서 측정된 표준편차의 3배 근 수축이 있고, 25 ms이상 근 수축

이 지속되거나, 또는 표준편차 2배 이상의 근 수축이 있고, 40 ms 이상 근 수축이 지속된 경우를 근 수축 개시 지점으로 결정하였다. Chanaud 와 Macpherson(1991)은 안정 시에 측정된 표준편차의 2.5배보다 높은 근활성도가 있는 지점을 근 수축 개시 시점으로 결정하였고, Bullock-Saton 등(1993)은 보행주기 동안 최대근수축의 15% 이상의 근활성도가 발생하는 지점을 근 수축 개시 시점으로 결정하였다. Karst 와 Willet (1995)는 안정 시 표준편차(1SD) 이상이 넘는 곳을 컴퓨터 스크린에서 시각으로 결정하였다. 이처럼 근 수축 개시 시점을 결정하는 방법은 저자마다 매우 다르지만 본 연구에서는 신뢰도가 입증된 Di Fabio(1987)의 방법 중 안정 시 표준편차 2배 이상의 근 수축이 나타나는 지점을 근 수축 개시 시점으로 결정하였다.

Harbourne 등(1993), Hirschfeld와 Forssberg(1994), Woollacott 등(1987)은 2~8개월 사이의 아동을 대상으로 앉은 자세에서 목과 몸통의 조절능력을 알아보기 위한 단면연구와 종적연구를 실시한 결과 3~4 개월이 되면 목 근육에 특정한 자세조절 패턴이 나타나며, 5개월이 되면 몸통근육에 협응된 자세 조절 패턴이 나타나고, 독립적으로 앉을 수 있는 생후 8개월이 되면 전방과 후방 자세동요에 대하여 목 근육과 몸통근육을 효과적으로 활용할 수 있는 협응 패턴(coordinated pattern)이 완성된다고 하였다. 본 연구는 누운 자세에서 머리 들기가 어려운 뇌성마비 아동과 정상 아동 간에 누운 자세에서 머리를 드는데 필요한 흉쇄유돌근과 복직근의 운동조절의 차이로 인하여 근 수축 개시 순서에 차이가 있을 것이라는 가설하에 실험을 실시한 결과 두 군간에 근 수축 개시 순서에는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

Floyd와 Silver(1960)는 18~25세 연령을 대상으로 누운 자세에서 머리를 들어올릴 때 복직근과 흉쇄유돌근의 근 수축 개시 시간을 비교한 결과 두 근육이 동시에 수축한다고 보고하였다. 본 연구에서 정상 아동의 경우 복직근과 흉쇄유돌근의 수축 개시 시간의 차이는 0.039초이었고, 뇌성마비 아동의 경우에는 0.144초로 두 군간에 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 이러한 결과는 머리를 들 때 정상 아동의 경우 두 근육이 동시에 협응적으로 작용하여 머리를 효율적으로 쉽게 들어올릴 수 있게 하는 반면, 뇌성마비아동의 경우에는 두 근육이 동시에 수축 개시하는 협응 능력이 떨어져 머리를 효율적으로 들어올리는데 어려움이 있는 것으로 판단된다.

운동단위의 동원과 운동단위 활성화빈도는 근육의 힘을 발휘하는데 중요한 요소이다. 본 연구의 결과 흉쇄유돌근과 복직근의 수축 개시 시간과 스위치 신호로 얻은 머리가 들리는 시점까지의 기간(duration)을 비교한 결과 뇌성마비아동과 정상아동 간에는 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 정상아동에 비해 뇌성마비아동에서는 머리가 들리는 시점까지 근 수축 시간이 통계학적으로 유의하게 길었다. 이것은 뇌성마비아동의 경우 운동단위를 동원하는 능력이나 운동단위 활성화빈도가 정상아동보다 낮기 때문으로 생각된다. 이처럼 뇌성마비아동에서는 짧은 시간 내에 복직근과 흉쇄유돌근의 운동단위를 많이 동원할 수 없기 때문에 누운 자세에서 머리를 들어올리기가 어려운 것으로 판단된다.

이러한 연구의 결과는 뇌성마비아동에게 누운 자세에서 머리를 들어올리는 능력을 증진시키기 위한 운동치료를 실시할 때는 복직근과 흉쇄유돌근의 동시수축능력과 두 근육의 운동단위를 단시간에 많이 동원할 수 있는 능력을 증진시키는 치료방법의 모색이 필요하다는 것을 제안해주고 있다.

본 연구의 제한점은 뇌성마비 아동 10명, 정상 아동 10명의 적은 연구 대상을 선정하여 실험을 실시하였기 때문에 이러한 결과를 일반화하여 해석하는데는 제한점이 있다. 앞으로 더 많은 대상자나 다른 연령층을 대상으로 연구를 실시해 보는 것이 필요할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 표면근전도를 이용하여 뇌성마비아동과 정상아동 간에 누운 자세에서 머리 들기 시 항굴근인 흉쇄유돌근과 복직근의 근 수축 개시 순서에는 유의한 차이가 없었으며, 뇌성마비아동과 정상아동 간에 머리를 들어올릴 때까지 흉쇄유돌근의 근 수축 시간을 비교한 결과, 뇌성마비아동의 경우 머리를 들어올리기까지 걸린 수축 시간은 0.380초이었고, 정상아동은 0.231초로 두 군간에 유의한 차이가 있었으며, 뇌성마비아동의 경우 머리를 들어올리기까지 걸린 수축 시간은 0.448초이었고, 정상 아동은 0.212초로 두 군간에는 유의한 차이가 있었다. 머리를 들어올릴 때 복직근과 흉쇄유돌근의 동시수축 정도보기 위한 수축 개시 시간간의 간격을 측정된 결과, 뇌성마비아동의 경우 두 근육 개시 시간 차이는 0.144초이었고, 정상아동은 0.039초로 두 군간에는 유의한 차이가 있었다. 앞으로도 뇌성마비아동과 정상아동 간에 누운 자세에서 머리를 드는 동안 근 수축 활동 차이에 대한 기전을 알아보는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

<참고문헌>

- Baldauf KL, Swenson DK, Medeiros JM et al: Clinical assessment of trunk flexor muscle strength in healthy girls 3 to 7 years of age, *Phys Ther*, 64, 1203-1208, 1984.
- Bly L: The components of normal movement during the first year of life, In :Slaton DS, editor. *Development of movement in infancy*, University of North Carolina at Chapel Hill Division of Physical Therapy, 85-123, 1980.
- Bly L: Abnormal motor development. In: Slaton DS, editor. *Development of movement in infancy*, University of North Carolina at Chapel Hill Division of Physical Therapy, 124-135, 1980.
- Bullock-Saton JE, Janda V, Bullock MI: Reflex activation of gluteal muscles in walking with balance shoe: an approach to restoration of function for chronic low back pain patients, *Spine*, 18, 704-708, 1993.
- Chanaud CM, Macpherson J: Functionally complex muscles of the cat hindlimb, III: differential activation within biceps femoris during postural perturbation, *Exp Brain Res*, 85, 271-280, 1991.
- Cram JR, Kasman GS, Holtz J: *Introduction to surface electromyography*, Aspen Publisher Inc. Maryland, 264, 1998.
- Di Fabio RP: Reliability of computerized surface electromyography for determining the onset of muscle activity, *Phys Ther*, 67, 43-48, 1987.
- Floyd WF, Silver PS: Electromyographic study of patterns of activity of the anterior abdominal wall muscles in man, *J Anat*, 84, 132-145, 1960.
- Harbourne RT, Giuliani C, MacNeela J: A kinematic and electromyographic analysis of the development of sitting posture in infants, *Dev Psychobiol*, 26, 51-64, 1993.
- Hillstrom HJ, Triolo RJ. *EMG theory*: In: Craik RL, Oatis CA, Editors. *Gait analysis: Theory and application*, St. Louis, Mosby-Year Book Inc., 300-305, 1995.
- Hirschfeld H, Forssberg H: Epigenetic development of postural responses for sitting during infancy, *Exp Brain Res*, 97, 528-540, 1994.

- Horak FB, Nashner LM, Nutt JG: Postural instability in Parkinson's disease: motor coordination and sensory organization, *Neurology Report*, 12, 55, 1988.
- Hudges PW, Richardson CA: Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb, *Phys Ther*, 77, 132, 1997.
- Karst GM, Willet GM: Onset timing of electromyographic activity in the vastus medialis oblique and vastus lateralis muscle in subjects with and without patellofemoral pain, *Phys Ther*, 75, 813-823, 1995.
- Kendall FP, McCreary EK, Provance PG: *Muscles: Testing and Function*, 4th ed. Baltimore, MD., Williams and Wilkins, pp 176, 1993.
- Lefko MB: Trunk flexion in healthy children aged 3 to 7 years, *Phys Ther*, 66, 39-44, 1986.
- Nashner LM, Shumway-Cook A, Marin O: Stance posture control in select groups of children with cerebral palsy: deficits in sensory organization and muscular coordination, *Exp Brain Res*, 49, 393-409, 1983.
- Partridge MJ, Walters CE: Participation of the abdominal muscles in various movements of the trunk in man, *Phys Ther Rev*, 39, 791-800, 1959.
- Perry J: *Gait analysis: Normal and pathological function*, Thorofare, NJ, Slack Inc., 385, 1992.
- Stockmeyer SA: An interpretation of the approach of Rood to the treatment of neuromuscular dysfunction, *Am J Phys Med*, 46, 900-954, 1967.
- Sveistrup H, Woollacott MH: Longitudinal development of the automatic postural response in infant, *J Motor Behav*, 28, 63-70, 1996.
- Woollacott MH, Sveistrup H: Changes in the sequencing and timing of muscle response coordination associated with developmental transitions in balance abilities, *Hum Mov Sci*, 11, 23-36, 1992.
- Woollacott M, Debu B, Mowatt M: Neuromuscular control of posture in the infant and child: is vision dominant? *J Motor Behav*, 19, 167-186, 1987.