

## 휠체어 새천년 건강체조의 팔꿈치 운동속도에 따른 상지협응과 근활성도 변화

이강진 · 김택훈<sup>†</sup>

한서대학교 대학원 물리치료학과, <sup>1</sup>한서대학교 물리치료학과

### Wheelchair-based New Millennium Health Gymnastics: Muscle Activity and Upper Limbs Coordination by Elbow Exercise Velocity

Kang-Jin Lee, PT, MS, Tack-Hoon Kim, PT, PhD<sup>†</sup>

Department of Physical Therapy, Graduate School, Hanseo University

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Hanseo University

Received: February 11, 2014 / Revised: March 10, 2014 / Accepted: March 31, 2014

© 2014 J Korean Soc Phys Med

#### | Abstract |

**PURPOSE:** This study concerns the wheelchair-based rehabilitation of elderly people, investigating muscle activity and coordination of upper limbs during wheelchair-based new millennium health gymnastics with varying elbow exercise velocity.

**METHODS:** Twelve elderly people participated in new millennium gymnastics twice per week during 12-weeks. The group was separated into 0.4, 1.0, and 1.6 Hz groups (controlled by the metronome speed). Range of motion was measured by electrogoniometer, electromyography signals used root mean square values. The data application was normalized using reference voluntary contraction (%RVC). Upper limb (wrist and elbow joint) data gathered while standing up after the “falling on hips” was investigated in

terms of coordination of angle-angle plots. One-way ANOVA, paired t-test and Scheffe's post hoc comparisons, were used for statistical analyses.

**RESULTS:** There were results taken before and after the experiments. The results demonstrated a significant improvement in the triceps brachii and flexor carpi radialis of the 0.4 Hz group ( $p < .05$ ). There was significant difference in the triceps brachii of the 1 Hz group. No significant differences were found in all muscles of the 1.6 Hz group. Muscle co-activation indexes of the 0.4 Hz group were larger than the others. The 0.4 Hz graph was turning point synchronized clockwise. The 1 Hz graph was out of phase with the negative slope. The 1.6 Hz graph was turning point synchronized counterclockwise, and uncontrolled factor phase was offset on angle-angle plots.

**CONCLUSION:** It is found that improvement of muscle activity and upper limbs coordination of elderly people using wheelchair-based new millennium gymnastics is optimal with elbow exercise velocity with a frequency of 0.4 Hz.

**Key Words:** Electrogoniometer, Electromyography, New millennium health gymnastics, Exercise velocity, Upper limbs coordination

<sup>†</sup>Corresponding Author : tack@hanseo.ac.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서론

일상생활 중 수행목표를 성취하기 위하여 신경, 근육, 관절, 또는 분절 등과 같은 다양한 신체 부분이 효과적으로 공동작용하는 것을 협응(coordination)이라한다 (Turvey, 1990). 수행하고자 하는 동작의 목적에 따라 형성되는 신체와 사지의 상대적인 움직임의 모든 형태를 의미하며, 이러한 협응 증진의 기본적인 방법으로 체조를 언급할 수 있다. 특히, 1999년에 개발된 휠체어 새천년 건강체조는 가볍게 손목털기, 엉덩방아 짚기 등 18개 동작으로 구성되어 있으며 장애인과 노인에게 삶의 질을 개선하는 기본적인 체조로써 자리매김하고 있다(Kim, 2010).

체조 효과에 대한 과학적인 검증을 기반으로 2004년에 허약한 노인들을 위한 쉬운체조가 개발되었는데, 운동강도가 기본체조와 2배 까지 차이가 있었다(4MET와 8MET, MET; metabolic equivalent). 2007년에는 노인의 평형 및 자세에 대하여, 2008년에는 장애인과 허약한 노인을 위해 휠체어 새천년 건강체조의 심리학적이고 기초과학적인 연구가 진행되었으나 체조효과의 극대화를 도모할 수 있는 것 중 하나로 고려될 수 있는 동작속도 변수는 포함되지 않았다(Jun 등, 2008; Lee 등, 2008).

휠체어 기반 재활운동에 관한 선행연구로 만성 뇌졸중 환자(평균 연령: 50.08세)를 대상으로 한 6주간의 연구에서, 느린 박자로부터 시작하여 빠른 박자의 체조 및 근력강화로 종속변수 중 하나인 30초 동안 의자에 앉았다 일어서기의 횟수 증가 등 긍정적 보고가 있었다(Park, 2009). Choi 등(2013)의 휠체어 기반 재활에 관한 연구에서도 휠체어에서 일어서기 등이 포함된 휠체어 운동프로그램이 뇌졸중 환자에게 신체기능 향상에 기여한다고 하였다.

휠체어 추진속도에 관한 Kong (2002)의 연구에서 휠체어 추진속도가 증가할 경우 등세모근과 위팔세갈래근의 근지구력 약화와 총돌중후군 증가를 보고하였으며, 휠체어에서 총돌중후군과 추진속도의 연관성을 언급하였다.

운동속도에 관하여 Bernstein (1967)은 비록 같은 움

직임이라 하더라도 움직임의 속도에 따라 사용되는 근육의 가변성이 있음을 언급하였고, Park (2013)은 낮은 운동부하에서는 느린 운동속도가 더 경제적이라는 연구결과를 보고하였다.

동작속도와 협응 관계에서 속도가 증가하면 Newell 등(1979)은 속도-정확성 상쇄(speed-accuracy trade-off)에 대한 일반적인 통념으로 속도가 증가함에 따라 공간 오차가 증가한다고 하였으며 협응과 속도의 관계를 제시하였다.

최근에 Hong 등(2013)의 동작속도에 따른 사지내 협응에 관한 연구로 농구 수비수 이동속도(1.5%, 3.0%, 4.5%)변화와 목표지점에 패스 시 협응을 Winstein과 Garfinkel (1989)의 각도-각도 도면 양상에 따른 분석을 수행하였고(Table 2), Lee (2005)는 연령 및 속도 조건과 스쿼시 스윙의 정확성 연구 등 다른 스포츠 종목에서는 속도와 협응의 연구개발 및 검증이 계속 진행되고 있으나, 휠체어 체조에서는 속도 조절을 포함하여 효율적인 근활성도 유도와 이에 따른 관절 협응을 분석하고 검증한 체조 방법에 대해서는 필요성에 비하여 상대적으로 미흡하였다.

따라서 본 연구에서는 체조방법 개선의 관점으로 휠체어 새천년 건강체조의 동작수행 시에 수행속도(0.4, 1, 1.6 Hz)를 제어하여 훈련한 후 체조 구성 중 팔꿈치 운동 시 자료를 수집하였다. 근신경생리학적 측면에서 근활성도를 근전도로 분석하고 운동형상학 측면에서 상지협응을 각도-각도 도면의 분석을 통해, 노인과 장애인이 휠체어에서 새천년 건강체조를 효과적으로 수행하도록 체조 수행에 효율적인 속도를 검증하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상 및 연구 기간

본 연구는 전북 H 복지원의 여성 노인 21명이 연구대상자로 실험에 참여하였다. 연구대상자의 선정기준은 휠체어에 의지하여 이동하는 자, 의사소통에 문제가 없는 자, 실험에 영향을 줄 수 있는 손상이나 수술을

받지 않은 자(어깨관절 수술, 목 추간판 수술 등), 체질량지수(body mass index) 기준 25 이하인 대상자들이 본 연구에 참여하였다. 연구대상자는 새천년 건강체조를 12주간, 1주에 2회씩 세 집단(0.4, 1, 1.6 Hz, 각 7명)으로 정하였고 체조의 수행횟수는 실험당 3회 실시하였다. 휠체어 새천년 건강체조의 구성은 가볍게 손목덜기, 기펴기, 날개펴기, 팔굽치기, 손등치기, 몸통돌리기, 등·옆구리비틀기, 상체늘리기, 어깨돌리기, 배 두드리기, 주먹지르기, 엉덩방아 찧기, 어깨펴기, 휘돌리기, 팔밀기, 호흡하기 총 18개 동작으로 구성되었다. 연구대상자들은 각 집단의 속도로 나뉘어져 연구자의 속도별 체조를 보면서 메트로놈의 속도에 맞추어 체조를 실시하였고, 각 집단은 선행연구 주파수 특성을 갖는 속도 자료를 토대로 하였다(Jun, 2008; Kim과 Kim, 2011; Ro 등, 2009). 건강상의 사유로 중간탈락자(9명)는 연구에서 제외되어 최종적으로 각 집단에 4명 총 12명만이 통계분석이 가능하였다. 또한 예비실험에서 반복측정의 어려움을 갖는 대상자들을 고려하여 한 가지 속도의 집단 편성 및 실험을 진행하였다. 연구대상자에게 연구의 내용을 충분히 설명하였고 동의를 얻은 후 실험을 수행하였다.

## 2. 실험방법

### 1) 측정도구

#### (1) 근전도 시스템

휠체어에서 체조 중 상지의 근활성도를 측정하기 위해 근전도 기기(MP100ACE, BIOPAC System Inc., U.S.A.)를 사용하였다. 전극은 지름이 1 cm, 전극간 간격이 2 cm인 이극표면전극(bipolar surface electrode)을 사용하였다. 표본수집률은 1024 Hz로 하였다. 저대역 통과필터(low-pass filter)는 500 Hz를 사용하였고, 고대역 통과필터(high-pass filter)는 20 Hz를 심전도 신호나 움직임 관련 잡음(artifact)의 영향을 최소화하기 위해 사용하였다. 국내 교류 전기제품의 60 Hz 사용 및 실험실 환경에 기인한 잡음 억제와 원자료의 왜곡 및 소실을 최소화하기 위해 대역 저지 필터(band stop filter)로 60, 120, 180 Hz를 사용하였다. 근전도 신호는 제곱평균제

곱근(root mean square; RMS)값을 체조 동작 시 모든 구간 측정하였고 자료수집은 관절가동범위와 비교하여 사용하였다(Lee 등, 2009).

#### (2) 전자각도계

휠체어에서 체조 중 근전도 측정과 동시에 관절가동범위를 측정하기 위하여 MP100 시스템과 연동된 전자각도계(TSD 130B, 130D, 130E, BIOPAC System Inc., U.S.A.)를 사용하여 손목과 팔꿈치 관절의 협응 검증에 필요한 각도를 산출하였다.

#### (3) 전자메트로놈

집단(0.4, 1, 1.6 Hz) 간의 체조 수행속도를 제어하기 위해 시청각적 신호를 사용할 수 있는 컴퓨터용 전자메트로놈(Zetronome ver 1.0, Park YM, Korea)을 활용하였다.

## 2) 실험 방법

### (1) 측정방법 및 자세

연구 대상자의 측정 자세는 척주를 가능한 펴고 불편하지 않게 착석하도록 하였고, 전자메트로놈의 청각 신호와 연구자의 속도별 체조에 맞추어 체조를 실시하였고, 체조 중 휠체어(Partner P1001, DaeseM. Care, Korea)에서 일어서기(엉덩방아찧기) 동작 전후 자료가 실험을 위해 측정되었다. 양손은 손잡이를 잡고 양팔에 힘을 주어 상체를 세 번 들어주었다. 체조 전 안전장치를 점검하고 실험을 수행하였다(Ham 등, 1998).

### (2) 근전도 전극설치

피부저항을 최소화하기 위해 면도기와 사포로 털과 각질을 제거하고, 알코올로 이물질을 제거하였다. 전극의 전기 전도성을 향상시키기 위하여 전극 표면에 젤을 도포하였다. 본 연구의 체조 동작과 연관성이 깊은 긴 노쪽손목뽀근, 온손가락뽀근, 노쪽손목굽힘근, 위팔세 갈래근의 근복(muscle belly)에 선행 연구자들의 권고 사항에 따라서 염화은(Ag-AgCl) 이극표면전극을 부착하였으며, 접지전극(ground electrode)은 C7 가시돌기에 부착하였다(Table 1).(Lee 등, 2009).

Table 1. EMG electrode position of the upper extremity

Muscles	Electrode Position
Triceps brachii	At 50 % on the line between the posterior crista of the acromion and the olecranon at 2 finger widths medial to the line
Extensor carpi radialis longus Extensor digitorum communis Flexor carpi radialis	At each muscle belly in radioulnar flexion and extension during pronation and supination on sitting posture with elbow flexion 90°

3) 자료 수집

연구 대상자들의 연령과 건강상태를 고려하여 자료 수집은 1주 및 12주 되는 시점에서 실시하였고, 속도에 따라 각각의 세 집단 별로 체조를 실시하였으며, 체조 전 휴식시간은 10분을 사용하였다. 체조 수행시 MP100 시스템을 통하여 근전도 측정값(RMS) 및 관절가동범위가 동시에 수집되었다. 측정된 자료는 정규화(normalization)를 위하여 자발적기준수축백분율(% reference voluntary contraction: %RVC)을 계산하여 사용하였다.

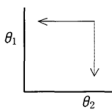
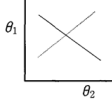
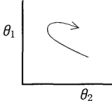
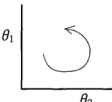
%RVC의 계산을 위한 각 근육의 자발적기준수축값은 다음과 같이 측정하였다. 각 실험자 별로 위팔세갈래근의 경우 0.5 kg 아령을 우측 상지에 들고 어깨관절 벌립하고 팔꿈관절이 곧게 유지되도록 한 후, 손등이 위를 향하게 하였고, 손목 펴고 및 굽힘근의 측정은 팔꿈관절 90°굽힘에서 아령을 들지 않고 맨손으로 완

전 펴고 및 굽힘 자세를 취했다. 각각의 측정자세에서 10초 유지하는 동안 근전도 신호를 각각 3회 반복측정한 후, 각각 중간 5초 동안의 평균으로 자발적기준수축값을 구하였으며, 상기 모든 자세는 휠체어에 앉은 자세에서 실시하였다(Ham 등, 1998; Hansson 등, 2000; Kim, 2010; Lee 등, 2009).

3. 자료 분석

본 체조의 구성 중 일상생활에서 기본적으로 많이 이루어지는 동작인 휠체어에서 일어서는 동작(체조의 엉덩방아찜기 후)을 분석에 사용하였다. 연속적으로 움직이는 동안에 나타나는 사지내(intralimb) 분절 간의 시공간적 관계변화가 관찰 가능한 전자각도계로 관절의 각각 동작에서 각도를 측정 한 후, 각도-각도 도면 분석으로 협응 정도를 그래프의 질적 유형으로 분석하

Table 2. Shapes of trajectory segments in angle-angle plot with dynamical interpretations.

Shape	Description	Interpretation
	Horizontal or vertical segments	One joint angle changing while the other is held constant
	Diagonally oriented straight line with negative (positive) slope	Two joint angles coordinated out of phase (in phase); changing at a constant ratio
	Both joints reach their maxima and switch simultaneously	Turning point synchronization; intersegmental coordination at switching point
	Rounded trajectory	Phase offset; decoupled coordination

였다(Table 2). 상지 근육의 활동 정도는 우세손에서 근전도 기기를 이용하여 제곱평균제곱근으로 근활성도를 산출하였다(Ham 등, 1998; Hansson 등, 2000). 상지의 근활성 동안 공동작용의 확인을 위해 공동작용지수 (co-activation index = Flexor muscle activity / Extensor activity × 100)를 사용하였다(Morrison, 2009).

자료의 통계처리를 위해 윈도우용 SPSS ver. 12.0 프로그램을 사용하였고, 12주간 주당 2회 매 실험마다 3회씩, 3집단(0.4, 1, 1.6 Hz 집단)의 집단별 수행속도로 체조 실시 후 관절협응을 질적으로 나타내는 각도-각도 도면과 근활성도를 비교하기 위하여, 세 집단 간 비교를 위한 일요인 분산분석(one-way ANOVA)으로 동질성 검사와 집단내 훈련 전후비교를 위해 짝비교 t 검정을, 사후분석으로 Scheffe 방법을, 유의수준  $\alpha$ 는 .05로 하였다(Hong 등, 2013; Kim과 Kim, 2011; Ro 등, 2009; Winstein과 Garfinkel, 1989).

### III. 결과

#### 1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구에 여성 노인 21명이 참여하였으나 중간탈락자(9명)를 제외한 12명(각 집단 4명)을 연구대상자로 하였다. 전체 평균 연령은 73.25±1.60세, 신장은 평균 148.13±2.66cm 이었고, 몸무게는 평균 46.75±2.14kg, 체질량지수(body mass index)는 21.33±1.37 이었다(Table 3).

#### 2. 체조 수행속도에 따른 근활성도 비교

본 연구의 실험 전 일원분산분석 시 노쪽손목굽힘근

을 제외한 긴노쪽손목굽힘근, 위팔세갈래근, 온손가락편근의 분산은 동일하였으며(Table 4), 위팔세갈래근의 근활성도 값이 상대적으로 큰 값을 보였다(Table 5). 실험 전후 비교 시 0.4 Hz 집단에서는 노쪽손목굽힘근과 위팔세갈래근의 근활성도가 증가하였고, 1 Hz 집단에서는 위팔세갈래근의 근활성도가 증가하였으며, 1.6 Hz 집단에서는 실험 전후 유의한 차이가 없었다(Table 5). 실험 후 사후분석 시 0.4 Hz 집단과 1 Hz 집단 비교에서는 위팔세갈래근과 노쪽손목굽힘근이, 0.4 Hz 집단과 1.6 Hz 집단에서는 노쪽손목굽힘근, 위팔세갈래근, 온손가락편근이, 1 Hz 집단과 1.6 Hz 집단에서는 온손가락편근이 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ ).(Table 6). 노쪽손목굽힘근과 긴노쪽손목편근, 위팔세갈래근과 온손가락편근의 근활성 동안 공동작용지수는 0.4 Hz 집단에서 0.18 및 0.68 이었고, 1 Hz 집단에서는 0.08 및 0.06 이었으며, 1.6 Hz 집단에서는 0.08 및 0.47 이었다(Table 7).

#### 3. 체조 수행속도에 따른 상지 협응 비교

본 체조 수행 시 느린 속도인 0.4 Hz에서 곡선들의 자취가 시계방향으로 향하는 유형인 동작 방향이 전환되는 지점에서 관절협응을 이루는 전환점 동조(turning point synchronization)를 이루었고, 보통 속도인 1 Hz에서는 부정 기울기 사선(negative slope oblique) 유형의 이행동조(out of phase)로 협응을 이루었으며, 빠른 속도인 1.6 Hz에서는 그래프의 곡선이 반시계 방향의 원형 궤적을 그리는 유형으로 통제해야 할 비제어요소가 많은 비결속 협응인 위상상쇄(phase offset)가 확인되었다(Fig 1). 또한 실험전후 집단내의 협응 정도를 표현해주는 각도-각도 도면 분석 시 유형에 차이가 없었다.

Table 3. General characteristics of subjects

(N=12)

Between group	0.4 Hz	1 Hz	1.6 Hz	P
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	
Age (years)	73.25±1.71	72.50±1.29	74.00±1.83	.46
Height (cm)	147.25±1.71	149.13±2.22	148.00±3.39	.65
Weight (kg)	46.63±2.21	46.88±2.60	46.75±2.26	.99
Body Mass Index (kg/m <sup>2</sup> )	21.50±0.90	21.10±1.49	21.39±1.37	.93

Table 4. Test of homogeneity of variance

	Levene statistic	df1	df2	p
ECRL <sup>†</sup>	1.769	2	12	.21
EDC <sup>‡</sup>	3.515	2	12	.06
FCR <sup>§</sup>	4.085	2	12	.04*
TRI <sup>¶</sup>	1.794	2	12	.21

\*p&lt;.05

<sup>†</sup>; extensor carpi radialis longus<sup>‡</sup>; extensor digitorum communis<sup>§</sup>; flexor carpi radialis<sup>¶</sup>; triceps brachii

Table 5. Pre-post comparison of muscle activity on gymnastic velocity

Unit: %RVC

Within group	0.4 Hz		t	p	1 Hz		t	p	1.6 Hz		t	p
	Mean±SD				Mean±SD				Mean±SD			
ECRL <sup>†</sup>	7.58±4.30		.30	.78	2.86±2.32		-1.78	.15	9.26±4.24		-1.10	.33
	6.70±4.33				7.58±4.30				15.94±12.83			
EDC <sup>‡</sup>	6.70±4.34		2.60	.06	2.84±1.85		-2.47	.07	10.62±5.47		-1.21	.29
	1.28±4.49				6.70±4.34				14.94±5.96			
FCR <sup>§</sup>	1.28±0.45		-4.59	.01*	1.40±0.47		.33	.76	2.78±1.82		-.50	.65
	10.18±4.43				1.28±0.45				3.50±2.72			
TRI <sup>¶</sup>	10.18±4.43		-196.8	.00*	3.58±2.48		-3.81	.02*	8.68±3.65		-.09	9.4
	400.00±0.00				10.18±4.43				8.96±4.93			

\*p&lt;.05

Table 6. Post hoc comparison of muscle activity on gymnastic velocity after exercise

Unit: %RVC

Between group	ECRL <sup>†</sup>	EDC <sup>‡</sup>	FCR <sup>§</sup>	TRI <sup>¶</sup>
0.4 Hz - 1 Hz	.99	.18	.00*	.00*
0.4 Hz - 1.6 Hz	.25	.00*	.02*	.00*
1.6 Hz - 1 Hz	.31	.03*	.53	.88

\*p&lt;.05

Table 7. Comparison of co-activation index on gymnastic velocity after exercise

Between group	0.4 Hz	1 Hz	1.6 Hz
FCR <sub>RMS</sub> / ECRL <sub>RMS</sub> × 100	.18	.08	.08
TRI <sub>RMS</sub> / EDC <sub>RMS</sub> × 100	.68	.06	.47

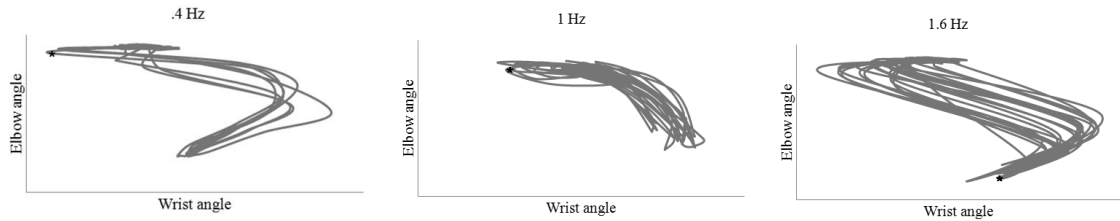


Figure 1. Comparison of joint coordination on gymnastic velocity after exercise  
\* starting point

#### IV. 고찰

본 연구는 월치어 새천년 건강체조의 동작수행 시 수행속도(0.4, 1, 1.6 Hz)를 제어하여 훈련한 후 체조 구성 중 팔꿈치 운동 시 자료를 수집하여 근활성도를 분석하고 상지협응을 각도-각도 도면 분석을 통해 월치어에서 체조 수행에 효율적인 속도를 검증하고자 하였다. 통계분석 결과에서 실험 전후 비교 시 0.4 Hz 집단에서는 노쪽손목굽힘근과 위팔세갈래근의 근활성도가 증가하였고, 1 Hz 집단에서는 위팔세갈래근의 근활성도가 증가하였다. 1.6 Hz 집단에서는 실험 전후 유의한 차이가 없었다(Table 5). 실험 후 사후분석 시 0.4 Hz 집단과 1 Hz 집단 비교에서는 위팔세갈래근과 노쪽손목굽힘근이, 0.4 Hz 집단과 1.6 Hz 집단에서는 노쪽손목굽힘근, 위팔세갈래근, 온손가락편근이, 1 Hz 집단과 1.6 Hz 집단에서는 온손가락편근이 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ ).(Table 6). 노쪽손목굽힘근과 긴노쪽손목편근, 위팔세갈래근과 온손가락편근의 근활성 동안 공동작용지수는 0.4 Hz 집단에서 0.18 및 0.68 이었고, 1 Hz 집단에서는 0.08 및 0.06 이었으며, 1.6 Hz 집단에서는 0.08 및 0.47 이었다(Table 7).

본 체조의 수행 속도에 따른 협응 분석 시 느린 속도인 0.4 Hz에서 곡선들의 자취가 시계방향으로 향하는 유형인 동작 방향이 전환되는 지점에서 관절협응을 이루는 전환점 동조를 이루었고, 보통 속도인 1 Hz에서는 부적 기울기 사선 유형의 이형동조로 협응을 이루었으며, 빠른 속도인 1.6 Hz에서는 그래프의 곡선이 반시계방향의 원형 궤적을 그리는 유형으로 통제해야 할 비제

어요소가 많은 비결속 협응인 위상상쇄가 확인되었다 (Fig 1). 또한 실험전후 집단내의 협응 정도를 표현해주는 각도-각도 도면 분석 시 유형에 차이가 없었다.

이상의 결과와 속도변화에 있어서 유사점이 있는 Choi (2008)의 연구에서, 보행 시 속도변화(0.8, 1.3, 1.8 m/s)와 보행방향에 따른 근활성도 변화 시 근활성도가 빠른 속도에서 앞정강근(tibialis anterior)의 경우 편심수축(eccentric contraction) 동안 즉 뒤로 걸을 때 증가하였고, 반대로 동심수축 시 즉 앞으로 걸을 때는 근활성도가 감소함을 보고하였다. Winter (2009)는 최대의 노력 동안 근육의 힘, 근육길이, 그리고 근육의 수축 및 속도 사이의 3차원 관계(muscle length-tension relationship, velocity-tension relationship)에서 움직임 속도에 따라 동심수축 시 근력이 감소함을 나타내어 월치어 새천년 건강체조 수행 시 측정된 근전도 값(RMS)이 대체로 동심수축이 주된 형태였던 본 연구결과와 유사한 점이 있었다. 이러한 이유에 대해 운동학(kinesiology) 측면에서 생각해보면, 빠른 속도로 체조를 수행하였을 때 근육의 강한 수축과 활성을 위해 운동단위(motor unit)를 동원하는데 시간이 부족하여 속도 증가 시 근섬유의 수축 및 활성화가 저조했을 것이다(Winter, 2009). 대부분의 체조의 목적은 워밍업과 손상예방에 있음에도 불구하고 빠른 속도로 체조를 실시하는 것은 점탄성 등이 큰 조직은 숙고해 볼 필요가 있을 것이다.

운동조절과 학습에 관한 선행연구에서 Newell (1985)은 Bernstein (1967)의 자유도 고정과 자유도 풀림의 단계인 협응단계와 운동기술 수행의 효율성이 향상된 제어단계를 설명하였으며, Winstein과 Garfinkel

(1989)은 사지내 및 사지간 관절협응을 네 가지 각도-각도 도면으로 설명하였고, 본 연구에서도 휠체어 새천년 건강체조 시 MP100 시스템의 전자각도계로 측정된 자료를 Winstein과 Garfinkel (1989)의 각도-각도 도면 분석을 통한 협응분석 시 실험전후 집단내 협응 정도는 도면 유형의 차이가 없었으며, 이것은 상지협응에 있어서 기간보다는 좀 더 속도의 의존성이 있다는 것과 과제 수행에 있어서 속도와 정확성 관계(speed-accuracy relationship)에 관한 선행 연구결과를 확인시켜주었다(Cos 등, 2013; Morrison 등, 2009; Newell, 1985; Verrel 등, 2013).

이러한 결과와 유사한 Kim과 Kim (2011)의 연구에서도 숙련성, 협응형태, 움직임 속도(0.4 Hz, .6 Hz)에 따른 협응 분석에서, 움직임 속도조건은 숙련성과 상관없이 빠른속도 조건이 느린속도 조건에 비해 낮은 상관계수를 보였다. 사지협응 시 타이밍 속도에 있어서 움직임 속도가 빨라짐에 따라 상관계수가 낮아지는 경향을 보고하여 본 연구의 0.4 Hz 속도조건과 유사점이 있었다.

또한 속도의 작용으로 발생하는 협응패턴의 변화는 걷기에서 달리기, 달리기에서 걷기로의 패턴이 변화된다는 여러 연구들을 통해 규명되었으며, 이런 사례는 개가 걸을 때는 앞발과 뒷발의 교차(이형동조)가 있으나 속도를 더 내어 달릴 때는 앞발과 뒷발이 동일한 패턴인 동형동조로 협응형태의 변화가 관찰되었고 (Diedrich와 Warren, 1995), 본 연구의 1 Hz 속도조건에서 이와 유사한 협응형태의 결과가 있었다.

농구 리시버의 이동속도(1.5%, 3.0%, 4.5%)와 숙련도를 독립변수로 협응을 연구한 Hong 등(2013)의 연구에서는 숙련자는 수직분절에서 시작하여 부적 기울기의 사선형태의 동형동조의 협응형태를 보인 초보자과 다르게 위상 상쇄, 즉 비결속 협응을 채택하여 팔꿈치 관절과 손목관절을 개별적으로 제어함을 보고하였으며, 본 휠체어 체조 중 1.6 Hz 속도조건으로 일어서기 동작에서 팔꿈치와 손목관절의 협응형태가 비결속 협응인 점에서 유사하였으나 이 경우는 지절간 협응에 좀 더 적합한 형태인 점에서 본 연구 지절내 협응 결과와 차이점이 있었다.

Kong (2002)은 휠체어 사용자의 재활프로그램을 실시하는 경우 휠체어 추진속도가 증가할 경우 등세모근

과 위팔세갈래근의 근력약화나 충돌증후군의 증가 가능성을 보고하였다. 휠체어 재활 시에 속도 관련 유사한 점이 있었고 추진 방향에 있어서 각도의 차이를 상호 보완하여 효율적이고, 상해를 예방할 수 있는 추진각도 및 일어서기 각도의 운동속도를 유추할 수 있을 것이다.

Choi 등(2013)의 뇌졸중 환자를 대상으로 한 휠체어 기반 재활 연구에서 6주 동안 1주당 5회 60분씩, 초기에는 느린 속도로 마지막 주에는 속도를 증가시키는 것을 포함한 재활프로그램을 수행한 결과 민첩성, 악력, 유연성 등 신체기능이 향상되었음을 보고하였다. 본 연구의 상대적으로 긴 저항도 운동과 결합시켜 기간별 또는 강도별 부분적 재활프로그램을 추론 및 활용할 수 있을 것이다.

본 연구의 제한점으로 연구대상자의 건강상의 사유로 중간탈락자가 많아 통계분석에 어려움이 있었다. 또한 연구 관련 장비 및 내외적 환경 개선으로 추후 연구에서는 좀 더 정교한 자료를 얻고자 한다. 그리고 휠체어를 사용하는 노인과 장애인들에게 손상을 예방하는 등 상지를 최적의 상태로 유지할 수 있는 하나의 방법으로 비교적 느린 속도인 0.4 Hz 조건의 휠체어 건강체조 수행이 일상생활에 도움이 될 것이다.

## V. 결론

본 연구는 휠체어 새천년 건강체조의 동작수행 시 수행속도(0.4, 1, 1.6 Hz)를 제어하여 훈련한 후 체조 구성 중 팔꿈치 운동 시 자료를 토대로 근활성도를 분석하고 상지협응을 각도-각도 도면 분석을 통해 휠체어에서 체조 수행에 효율적인 속도를 검증하고자 하였다. 실험 결과를 통해 노쪽손목굽힘근과 위팔세갈래근의 경우에는 0.4 Hz 속도 조건이 좀 더 효율적일 것이며, 위팔세갈래근의 경우에는 1 Hz 속도 조건이 체조 수행에 좀 더 효율적일 것이다. 1.6 Hz 속도 조건의 집단에서는 실험 전후 유의한 차이가 없었기 때문에 휠체어를 사용하는 노인의 경우에 부적합한 체조속도일 것이다. 또한 노쪽손목굽힘근과 긴노쪽손목뻗근, 위팔세갈래근과 온손가락뻗근의 근활성 동안 공동작용지수는 0.4



Hz 집단이 다른 집단에 비해 공동작용이 큰 것으로 나타나 안정성 측면에서 0.4 Hz 속도조건이 좀 더 효율적일 것이다.

본 체조의 수행 속도에 따른 협응 분석 시 실험 전후에는 협응을 표현해주는 각도-각도 도면 유형에 차이가 없었기 때문에 상지협응에 있어서 기간보다는 좀 더 속도 의존성이 있다고 할 수 있을 것이다. 속도조건이 0.4 Hz 집단에서 상지의 팔꿈관절과 손목관절의 협응이 향상된 제어단계로써 상변이 없이 전환점에서 협응이 나타난 결과를 근거로 속도조건이 0.4 Hz 일 때 휠체어 새천년건강체조의 수행이 노인 및 장애인에게 좀 더 효율적 일 것으로 생각된다.

### Acknowledgements

본 논문은 2010학년도 한서대학교 대학원생 교비 학술연구비 지원에 의하여 수행된 것임.

### References

- Bernstein NA. The Coordination and Regulation of Movements. Oxford: Pergamon Press. 1967.
- Choi HJ, Kim YS, Park DS, et al. Effects of wheelchair-based rehabilitation on the physical functions and health perception of stroke patients. *Pers Ubiquit Comput.* 2013;17(7):1365-72.
- Choi YE. The EMG analysis on leg muscle's activity in accordance with change of gait velocity and direction. Konkuk University. Master's Thesis. 2008.
- Cos I, Rueda-Orozco P, Robbe D, et al. Learning a sequence of motor responses to attain reward: a speed-accuracy trade-off. *BMC Neurosci.* 2013;14(1):143.
- Diedrich FJ, Warren WH Jr. Why change gaits? Dynamics of the walk-run transition. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1995;21(1):183-202.
- Ham R, Aldersea P, Porter D. Wheelchair Users and Postural Seating: A Clinical Approach. New York: Elsevier Inc. 1998.
- Hansson GA, Nordander C, Asterland P, et al. Sensitivity of trapezius electromyography to differences between work tasks-influence of gap definition and normalization methods, *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10(2):103-15.
- Hong SB, Kim TW, Lee OJ. The intra-limb coordination patterns of passing in basketball as a function of receiver's moving speed - A comparison of angle-angle plots between skill levels. *The Korean Journal of Sport Science.* 2013;22(5):523-36.
- Jun SH, Yoo J, Lee DT. The effect of new millenium health work out exercise for older adults & disabled person. *The Korean Journal of Physical Education.* 2008;47(3):351-64.
- Kim SJ, Kim SY. Change of expressive action timing & inter-limb coordination pattern by expertise. *Korean Journal of Sport Psychology.* 2011;22(2):111-21.
- Kim SJ. Motor Training and Control. Seoul: Daehan media. 2010.
- Kong JY. Dynamic electromyographic signal characteristics of shoulder muscles during wheelchair propulsion speed changes. Daegu University. Master's Thesis. 2002.
- Lee GY, Kim YJ, Kim CH. The effect when performing basic gymnastics of new millennium health work out with providing kilocalorie and exercise intensity. *Journal of Korean Social Sport and Leisure Studies.* 2008;33:933-40.
- Lee KJ, Roh JS, Kim TH, et al. Comparison of upper extremity muscle activity with transverse plane angle changes during vertical keyboard typing. *Phys Ther Kor.* 2009;16(2):67-76.
- Lee KS. Coincidence-anticipation timing in a squash forehand swing according to the conditions of age and speed. Seoul National University. Master's Thesis. 2005.
- Morrison S, Hong SL, Newell KM. Upper frequency limits

- of bilateral coordination patterns. *Neurosci Lett.* 2009;454(3):233-8.
- Newell KM, Hoshizaki L, Carlton MJ. Movement time and velocity as determinants of movement timing accuracy. *J Mot Behav.* 1979;11(1):49-58.
- Newell KM. *Coordination, Control And Skill.* Amsterdam: North-Holland, 1985.
- Park KW. A comparison of physiological responses according to crank rate in the arm ergometry graded exercise test. Yong-in University. Master's Thesis. 2013.
- Park SK, The effects of wheelchair exercise on functional recovery and health-related satisfaction in stroke patients. Seoul National University. Master's Thesis. 2009.
- Ro JJ, Lee JM, Song YG. Study on the difference in performance of simultaneous bimanual movements in two distinctive characteristics of parkinson's disease, *Korean Journal of Sport Psychology.* 2009;20(3):247-63.
- Turvey MT. Coordination. *Am Psychol.* 1990;45(8):938-53.
- Verrel J, Pologe S, Manselle W, et al. Coordination of degrees of freedom and stabilization of task variables in a complex motor skill: expertise-related differences in cello bowing. *Exp Brain Res.* 2013;224(3):323-34.
- Winstein CJ, Garfinkel A. Qualitative dynamics of disordered human locomotion: A preliminary investigation. *J Mot Behav.* 1989;21(4):373-91.
- Winter DA. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (4th ed.). New Jersey: John Wiley & Sons. 2009.