Korean Journal of Sport Biomechanics
Vol. 24, No. 2, 2014, 95-101

ISSN 1226-2226(Print), ISSN 2093-9752(Online)
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2014.24.2.95
http://www.kssb.or.kr

수중운동이 여성노인 장애물보행 시 하지 협응에 미치는 영향 - 훈련 및 훈련잔여효과 중심으로 -

윤석훈[1] · 장재관[2] · 김주년[3]

[1]한국체육대학교 생활체육대학 사회체육학과, [2]경희대학교 체육대학 골프경영학과, [3]한국체육대학교 대학원 체육학과

Effects of a Water Exercise on the Lower Extremities Coordination during Obstacle Gait in the Female Elderly - Focusing on Training and Detraining Effects -

Sukhoon Yoon[1] · Jae-Kwan Chang[2] · Joonyeon Kim[3]

[1]*Department of Community Sport, College of Lifetime Sport of Korea National Sport University, Seoul, Korea*
[2]*Department of Golf Management, College of Physical Education, Kyunghee University, Yongin, Korea*
[3]*Department of Physical Education, Graduate School of Korea National Sport University, Seoul, Korea*
Received 29 April 2014; Received in revised form 2 June 2014; Accepted 10 June 2014

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the training and detraining effects of a 8-week water exercise on lower extremities coordination during obstacle gait in the female elderly. Eight elderly participants (age: 76.58±4.97 yrs, height: 148.88±7.19 cm, body mass: 56.62±6.82 kg, and leg length: 82.36±2.98 cm), who stayed at the Seoul K welfare center, were recruited for this study. All participants had no history of orthopedic abnormality within the past 1 year and completed the aquatic exercise program which lasted for 8 weeks. To identify the training and detraining effect of 8 weeks of water exercise, a 3-D motion analysis with 7 infrared cameras and one force plate sampling frequency set at 100 Hz and 1,000 Hz, respectively, was performed. A two-way ANOVA was performed to find training and detraining effects among diferent obstacle heights. In this study significant level was set at .05. Significant training effects of LTS (lead foot thigh and shank) coordination in all obstacle height were found (p<.05). It is also found that the training effect of LTS remained 37%, 58%, and 25% in obstacle height of 30%, 40%, and 50%, respectively. Lead foot showed the greater detraining effect of coordination compared with trail foot, and SF (shank and foot) coordination revealed better detraining effects of coordination compare with TS (thigh and shank) in both feet. Based on the findings, a 8 week water exercise give an positive effects to the elderly in terms of segment cooperation which potentially helps reducing their accident falls. The magnitude of detraining may also help the elderly to find the retraining moment.

Keywords : Water Exercise, Obstacle Gait, Elderly, Continuous Relative Phase

I. 서 론

65세 이상의 노인인구는 우리나라 전체인구의 11.3%(약 543만명)로 높은 비중을 차지하고 있으며(Statistics Korea, 2011a), 2030년에는 24.3%(약 1,269만명), 2060년에는 40.1%(약 1,762만명)로 지속적으로 증가될 전망이다(Statistics Korea, 2011b). 이처럼 노인인구가 지속적으로 증가되는 추세를 나타남에 따라 노화로 인한 경제적·사회

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음 (NRF-2011-332-G00099).
Corresponding Author : Sukhoon, Yoon
Department of Community Sport, College of Lifetime Sport of Korea National Sport University, 138-763, 1239, Yangjae, Songpa-gu, Seoul, Korea
Tel : +82-2-410-6850 / Fax : +82-2-410-6927
E-mail : sxy134@knsu.ac.kr

적 문제점들이 부각되고 있으며, 이를 예방하고 해결하기 위한 연구가 끊임없이 이뤄지고 있다.

노인은 노화가 진행됨에 따라 근력 저하 및 근신경계 기능 감소로 인해 분절의 협응력이 떨어지게 되고, 자세균형 능력이 감소되어 노인의 상해위험도를 증가시킨다(Hamill, van Emmerik, Heiderscheit, & Li, 1999; Winter, 1992). 특히 보행 중 낙상은 노인에게서 가장 흔히 발생되는 상해 중 하나이며, 노인의 주된 사망원인으로도 보고되고 있다(Hartholt et al., 2011). 따라서 노인의 보행 중 낙상 예방을 위한 다양한 훈련 및 연구가 이뤄지고 있다.

노인의 보행 중 낙상에 관한 연구는 평지보행, 계단보행, 내리막 · 오르막보행 등 다양한 시각에서 이루어지고 있다. 하지만 일상생활에서의 노인낙상은 주로 울퉁불퉁한 지면이나 연석(curb-stone), 문간(doorstep) 등과 같은 장애물에 걸려 가장 빈번하게 발생된다고 보고되고 있으며 이러한 관점에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다(Austin, Garrett, & Bohannon, 1999; Hill, Schwarz, Flicker, & Carroll, 1999). 노인은 성공적으로 장애물을 넘기 위해 장애물을 지속적으로 응시하여 시각 정보에 의존한다(Keller Chandra et al., 2011). 또한 장애물을 넘는 다리(leading leg)와 장애물 사이의 수직거리를 증가시켜 장애물에 걸려 넘어지는 것을 예방하며, 안정된 자세를 유지하기위해 보행 속도를 감소시키고 양발을 장애물과 가깝게 위치하는 등(Chen, Ashton-Miller, Alexander, & Schultz, 1991; Weerdesteyn, Nienhuis, & Duysens, 2005), 일반적인 건강한 성인과는 다른 전략을 나타낸다. 이에 따라 노인들의 보행능력을 개선하고 낙상을 예방하기 위한 여러 가지 훈련이 마련되어지고 있다.

많은 연구자들은 노인 낙상을 예방하기 위해 웨이트 트레이닝을 통한 근력 훈련, 태극권(Tai Chi)을 통한 근력 및 균형성 훈련, 그리고 다양한 장애물을 넘는 훈련 등 다양한 접근을 통해 장애물 보행 개선에 미치는 효과를 검증하였다(Hess & Woollacott, 2005; Yamada et al., 2011; Zhang, Mao, Riskowski, & Song, 2011). 하지만 위와 같은 훈련들은 낙상의 원인이 되는 요소를 개선함에 따라 낙상 발생도를 감소시키는데 기여하였음에도 불구하고, 지상에서 행해지는 훈련특성상 노화나 근골격계 질환 때문에 체력이 약화된 노인들에게는 적용하기 힘들고, 훈련 중 상해가 발생할 위험도 갖고 있다.

최근 지나치게 건강이 악화되거나 근골격계 질환을 갖고 있는 노인들의 신체능력을 개선하기 위해 수중운동(water exercise)이 적용되고 있다. 수중에서의 운동은 부력으로 인해 운동 시 중력의 영향을 비교적 적게 받기 때문에 훈련 중 상해가 발생할 위험이 적다는 것이 가장 큰 장점이다. 또한 부력으로 인해 관절에 부담이 적은 반면, 물의 높은 밀도를 저항으로 활용할 수 있어, 노인뿐만 아니라 근골격계 환자들의 근력, 균형성 향상 등 보행능력개선을 위해 주로 사용되어지고 있다(Jung, Lee, Chung, & Kim, 2014; Katsura et al., 2010; Rahmann, Brauer, & Nitz, 2009; Lee, Hyong & Shim, 2009; Wang, Belza, Elaine Thompson, Whithey, & Bennet, 2007).

이렇듯 많은 선행연구들은 다양한 훈련을 통한 근력강화가 장애물에 의한 낙상을 감소시킨다고 보고하고 있으나, 최근 Wang 등 (2009)의 연구에 의하면 장애물을 성공적으로 넘기 위해서는 근력과 균형력 뿐만 아니라 분절 간의 협응력이 요구된다고 보고되어지고 있다.

분절 간의 협응력은 분절의 각도와 각속도를 통해 분절의 움직임 패턴을 이용한 연속상대위상(Continuous Relative Phase [CRP])의 사용을 통해 정량화 할 수 있다(Kelso, 1995). 분절의 각도와 각속도로 이뤄진 위상면(phase plane)에서 각 좌표값의 위상각(phase angle)을 산출한 후, 협응을 이루는 두 분절의 위상각 간에 차이가 연속상대위상으로 정의되어진다. 이 때 보행과 같이 하지의 협응이 중시되는 경우, 하지의 인접한 두 분절 간의 협응(intra-limb coordination)과 좌 · 우 분절 간의 협응(interlimb coordination)을 살펴볼 수 있으며, 노인이나 근골격계 질병으로 인해 신체협응의 변화를 살펴보고자 하는 연구에서 하지의 협응관계를 밝히는데 주로 사용되어지고 있다(Krasovsky et al., 2012; Miller, Meardon, Derrick, & Gillette, 2008; Rinaldi & Monaco, 2013; Sjödah, Jarnlo, Söderberg, & Persson, 2003; Wang et al., 2009).

많은 선행연구자들이 보고하였듯이 지속적인 운동참여가 노인들의 낙상예방에 효과가 있다는 것은 명확한 사실이다. 그러나 노인들의 입장에서 생각하면 훈련을 통한 낙상예방효과 못지않게 중요한 것은 훈련잔여효과(detraining effect)이다. 즉, 지속적인 운동을 통하여 얻어질 수 있는 낙상감소 효과와 더불어 운동을 중단했을 때 그 효과가 어느 정도 지속될지를 아는 것은 노인들 자신에게 낙상 예방을 위한 매우 유용한 정보가 될 것이다. 그러나 지금까지 모든 운동 역학분야에서 수행된 훈련잔여효과에 대한 연구는 운동중지 후 근력이 어느 정도 감소되었다고 평가하는 간접적인 방법이었고(Harris, DeBeliso, Adams, Lrmischer, & Spitzer, 2007; Kalapotharakos, Smilios, Parlavatzas, & Tokmakidis, 2007; Tokmakidis, Kalapotharakos, Smilios, & Parlavatzas, 2009), 이러한 방법은 실질적으로 연구의 결과를 사용하는 노인들에게 직접적인 정보를 제공하기 못하고 있다고 생각된다. 그러므로 트레이닝 효과의 검증 시와 마찬가지로, 보다 현실적인 상황을 명확히 대변할 수 있는 상황을 설정, 적용하여 실제적으로 노인들이 훈련 종료 후 시간이 지남에 따라 낙상 상황극복 방법이 어떻게 변화하는 가를 평가, 조사할 필요가 있다고 사료된다.

따라서 본 연구의 목적은 8주간의 수중운동이 대부분의 노인낙상이 발생되는 장애물 보행 활동에서 노인들의 하지 분절 협응 향상에 미치는 영향을 정량화하여 낙상위험 감소에 효과가 있는 지를 검증하고, 또한 이들이 훈련 종료 후 8주간 운동을 중단 하였을 때 그 훈련효과가 어느 정도 지속되는지를 평가하여 각 노인들에게 낙상 예방을 위한 노력을 수행할 수 있는 기초자료를 제공하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구의 연구대상자는 정형외과적 병력이 없는 노인 11명(나이 평균: 76.58±4.97 yrs, 신장 평균: 148.88±7.19 cm, 체중 평균: 56.62±6.82 kg)을 선정하였다. 훈련 전, 각 피험자는 주동발을 확인하기 위해 축구공 차기 3회를 실시하였으며, 이 때 공을 차는데 사용한 발을 주동발로 정의하였고, 본 연구에 참여한 피험자는 모두 오른쪽 발을 주동발로 사용하였다. 또한 실험 전, 모든 피험자에게 실험과 훈련에 관련된 충분한 설명 후, 실험참여 동의서를 작성하였다.

2. 수중운동 프로그램

각 피험자는 지도자격을 갖춘 1인의 강사가 진행하는 수중운동 프로그램에 8주간 참여하였다. 수중운동은 일주일에 3회씩 회당 60분 동안 진행되었으며, <Table 1>과 같이 구성되었다. 본 운동의 강도는 운동자각도(ratings of the Borg perceived exertion [RPE]) 12-16으로 3주에 한 번씩 개인적으로 확인하여 점진적으로 증가시켰다. 수중운동 시, 수심은 130-150 cm인 곳에서 실시하였으며, 수온는 27ºC로 조절하였다.

Table 1. Water exercise program

	Program	Duration
Warm-up	Stretching	10 min
Main Exercise	Side walking Forward walking Jogging Backward walking Cross stepping Joint rotation movement	40 min
Cool-down	Stretching	10 min

*Exercise frequency: 3 times a week during 8 weeks, exercise intensity: RPE 12-16

3. 실험 절차

본 연구는 수중운동이 노인의 장애물 보행 시 하지 협응 향상에 미치는 영향을 알아보기 위해 수중훈련 전, 수중훈련 8주 후, 운동중단(detraining) 8주 후 장애물 보행 실험을 실시하였다. 총 15 m의 보행로에서 실험이 진행되었으며, 출발지점으로부터 10 m 위치에 장애물을 설치하였다. 이때 장애물의 높이는 각 피험자의 다리길이 대비 30, 40, 50%의 높이로 선정하였다. 보행속도는 각 피험자의 선호속도로 하였으며, 장애물을 넘는 발(leading foot)은 주동발을 사용하도록 하였다.

각 피험자는 좌·우 하지 6개 분절을 설정하기 위해 뒤꿈치 말단, 제 2중족골두, 비골외과, 대퇴과, 대전자에 총 10개의 반사마커를 부착하고, 8대의 적외선 카메라(Oqus 300, Qualysis, Sweden)를 이용해 촬영하였다. 이때 촬영속도는 100 Hz로 설정하여 Qualysis Track Manager ([QTM], Qualysis, Sweden) 프로그램을 이용해 통제하였다.

4. 자료 처리

수중운동에 따른 하지 협응의 향상을 분석하기 위해, 장애물 보행 시 수집된 3차원 마커데이터를 Matlab R2009a (The Mathworks, USA) 프로그램을 이용해 처리하였다. NLT (non linear transformation) 방법으로 변환된 반사마커의 3차원 좌표값은 Butterworth 2nd orther low-pass filter를 사용해 노이즈를 제거하였으며, 차단주파수는 6 Hz로 설정하였다.

분석구간은 넘는 발이 지면에 떨어지는 순간(toe off [TO])부터 장애물을 넘고 지면에 착지되는 순간(heel contact [HC])까지로 설정하였다.

연속상대위상 분석을 위해 좌·우 하지분절(발, 하퇴, 대퇴)의 3차원 좌표값 중 장애물을 넘는데 영향을 미치는 시상면(sagittal plane)의 좌표값을 이용하여 각도와 각속도를 계산하였고, 1%가 장애물 보행의 각 순간을 대표할 수 있도록 100%로 보간하였다(Pollard, Heiderscheit, van Emmerik, & Hamill, 2005). 분절 간의 진폭과 빈도 차이를 제거하고, 각속도가 0일 때 자료가 소실되지 않도록 하기 위해, 다음 두 공식을 이용해 각도와 각속도를 –1부터 +1까지로 표준화(normalization) 하였다(Hamill, Haddad, & McDermott, 2000; Miller, et al., 2008).

$$\theta_{i,norm} = 2 \times \frac{\theta_i - \min(\theta)}{\max(\theta) - \min(\theta)} - 1$$

$$\omega_{i,norm} = \frac{\omega}{|\max(\omega)|}$$

표준화 되어진 각도(θ)와 각속도(ω)로 이뤄진 위상면을

설정한 후, 오른쪽 수평축을 중심으로 0 - 180°의 범위에서 각 좌표값의 위상각(ϕ)을 계산하였다. 계산되어진 각 분절에 대한 위상각은 아래 공식과 같이 협응관계를 보고자하는 두 분절을 선정하여, 근위 분절의 위상각과 원위분절의 위상각의 차이로 연속상대위상을 계산하였다.

$$CRP_i = |\phi_{i,prox} - \phi_{i,dist}|$$

연속상대위상의 각도는 0-180°의 범위에서 나타나고, 0°에 가까울수록 협응관계의 향상(in-phase coordination)을 의미하고, 180°에 가까울수록 협응관계의 하락(anti-phase coordination)을 의미한다. 본 연구에서는 넘는 발의 하퇴와 대퇴(LTS), 하퇴와 발(LSF), 지지하는 다리(trailing leg)의 하퇴와 대퇴(TTS), 하퇴와 발(TSF), 그리고 좌·우 대퇴(TT), 하퇴(SS), 발(FF)의 연속상대위상을 계산하였다.

5. 통계 처리

연속상대위상의 각도 비교는 RMS(root mean square)값을 이용하였고, 수중훈련 기간(수중훈련 전, 수중훈련 후, 운동중단)과 장애물 높이에 대한 하지의 협응의 향상을 비교 분석하기 위해 반복측정 이원변량분석(two way ANOVA with repeated measure)하였으며, 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

III. 결 과

본 연구는 수중운동이 노인 장애물 보행 시 하지 협응 향상에 미치는 영향에 대해 조사하기 위해, 수중운동 전, 수중운동 후, 운동중단 후에 하지 연속상대위상의 변화를 비교 분석하였다. 총 6개의 분절에 대하여 LTS, LSF, TTS, TSF, TT, SS, FF 7가지 연속상대위상을 계산하여 노인의 장애물 보행 시 하지 내/하지 간 협응(intra/inter lower extremities coordination)의 향상을 조사하였다(Table 2).

Table 2. Mean (standard deviation) of the continuous relative phase and two-way ANOVA with repeated measure results (unit: deg)

Segments	Height	Main effects							F	*p*
		Pre-training		Post-training		De-training				
LTS	30%	84.37	(6.62)	69.19	(10.51)*	78.71	(8.69)†	Time	43.727	**.000**
	40%	87.06	(8.48)	73.59	(4.68)*	79.18	(6.61)*	Height	1.950	.160
	50%	88.20	(9.31)	74.86	(7.78)*	84.86	(7.43)†	Time*Height	.589	.672
LSF	30%	47.60	(12.02)	37.38	(7.95)	40.42	(9.66)	Time	15.268	**.000**
	40%	56.09	(19.71)	38.95	(9.51)	42.32	(12.55)	Height	9.757	**.001**
	50%	73.84	(19.88)[30]	44.73	(9.02)*	52.88	(21.62)*	Time*Height	1.306	.278
TTS	30%	38.80	(13.23)	34.14	(8.93)	38.59	(20.68)	Time	3.856	**.027**
	40%	51.18	(18.28)	37.83	(13.73)	41.04	(15.33)	Height	3.900	**.031**
	50%	53.62	(18.71)	41.89	(12.17)	53.19	(18.13)	Time*Height	.616	.653
TSF	30%	75.61	(19.61)	69.54	(22.74)	71.07	(18.79)	Time	2.469	.093
	40%	87.87	(14.49)	83.28	(11.33)	87.26	(12.68)	Height	.378	**.000**
	50%	100.27	(15.70)[30]	86.43	(13.85)	90.86	(13.01)[30]	Time*Height	10.741	.823
TT	30%	73.88	(3.92)	70.18	(13.20)	74.93	(8.32)	Time	1.943	.154
	40%	74.65	(13.01)	68.52	(8.61)	69.42	(7.42)	Height	3.013	.064
	50%	69.61	(8.52)	66.02	(9.41)	70.10	(15.05)	Time*Height	.183	.946
SS	30%	121.37	(6.76)	123.40	(7.06)	124.87	(9.05)	Time	1.340	.269
	40%	125.94	(5.41)	118.60	(5.43)	118.80	(4.47)	Height	.969	.391
	50%	125.32	(5.97)	121.80	(6.76)	121.81	(12.60)	Time*Height	1.588	.189
FF	30%	95.71	(10.32)	90.84	(15.81)	93.54	(10.12)	Time	3.066	.054
	40%	91.96	(13.31)	84.27	(5.67)	86.93	(8.43)	Height	.122	.097
	50%	93.38	(8.81)	86.85	(11.88)	87.35	(7.95)	Time*Height	2.519	.974

*bold: a significant difference, [30]: a significant difference compared to the 30% height, *: a significant difference compared to pre-training, †: a significant difference compared to post-training.

분석 결과, 수중운동 전에 비해 수중운동 후에 모든 높이에서 LTS의 협응과 50% 높이에서 LSF의 협응이 유의하게 향상되었다. 수중운동 후에 비해 운동중단 후에 30, 50% 높이에서 LTS의 협응이 유의하게 하락한 반면, 수중운동 전에 비해 40% 높이에서 LTS의 협응과 50% 높이에서 LSF의 협응이 유의하게 향상되었다. 또한 수중운동 전과 운동중단 후에, 30% 높이에 비해 50% 높이에서의 TSF가 유의하게 하락하였지만, 수중운동 후에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

IV. 논 의

노인 상해의 주요 원인인 낙상은 장애물에 의해 가장 빈번하게 발생되며, 이를 예방하기 위해 다양한 운동이 도입되고 있다. 그 중 수중운동은 노인, 뇌졸중으로 인한 편마비 환자, 퇴행성 관절염 환자 등 근골격계 문제로 인해 지상에서 운동 시 부상의 위험이 따르는 대상을 중심으로 부력과 높은 밀도를 이용하여 널리 시행되어지고 있다. 이에 따라 수중운동의 효과 검증에 대한 연구가 다수 이루어지고 있으며, 근력 및 균형성, 보행 능력 등의 향상에 긍정적인 효과가 보고되어지고 있다(Choi & Yoon, 2010; Katsura et al., 2010; Kim & Yu, 2009; Wang et al., 2009). 하지만 장애물 보행을 성공적으로 수행하기 위해서 분절 간의 협응이 요구된다는 보고에도 불구하고, 수중운동이 장애인 보행 시 분절 간 협응 향상에 미치는 연구는 미흡한 부분으로 남아있어, 본 연구에서는 수중운동 프로그램에 참여 중인 노인을 대상으로 장애물 보행을 실시하여 수중운동 전(1차 측정), 수중운동 후(2차 측정), 운동중단 후(3차 측정)에 대한 하지 협응의 향상 정도를 평가하고자 하였다.

이 연구에서는 넘는 다리의 대퇴와 하퇴 간(LTS)의 협응 향상이 두드러지게 나타났다. LTS 협응의 경우 수중운동전에 비하여 운동 후 모든 높이에서 통계적으로 유의하게 향상되었으며 특히 40% 높이의 경우 운동중단 8주까지 운동효과가 유지되었다 ($p<.05$, Table 2). 그러나 30%와 50%의 높이의 경우 운동의 효과가 운동중단 8주 후에 유의하게 감소되었으나 (30% 높이: 17.9% to 6.7%, 50% 높이: 15.1% to 3.8%) 수중운동의 효과는 각각 37.2% 와 25.0% 정도 지속되고 있음을 알 수 있었다. 평지보행의 경우 전방으로 추진하는 역할을 위해 분절들이 움직이기 때문에 대퇴에 비해 원위분절인 하퇴가 비교적 빠른 움직임을 나타내는 반면, 장애물 보행의 경우 평지보행 패턴에 장애물을 넘기 위한 하지의 수직움직임이 추가적으로 요구되기 때문에 대퇴의 움직임이 중시되어 진다. Kim과 Yu (2009)는 수중운동 후 장애물 보행 시 고관절의 쓰임이 유의하게 향상되었다고 보고하였고, 이는 발과 장애물 사이의 거리(foot clearance)를 증가시켜 발이 장애물에 걸리지 않고 성공적인 장애물 보행을 수행하기 위해 대퇴의 움직임을 증가시키는 장애물 보행 전략으로 나타난다(Zhang et al., 2011). 이렇듯 대퇴는 하퇴에 비해 근위분절임에도 불구하고 평지보행에 비해 장애물 보행 시 하퇴와 비슷한 패턴으로 움직이기 때문에, 대퇴의 움직임이 증가될수록 장애물 보행 시 요구되는 하지 협응이 향상되어(Wang et al., 2009), 장애물에 의한 낙상 예방에 도움이 될 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서 밝혀진 정량적인 훈련잔여 효과(LTS의 경우 30, 40, & 50% 높이에서 37.9, 58.5, & 25.0%)는 노인들에게 낙상예방을 위한 지속적인 운동의 재시도 선택 시기에 대한 보다 유익한 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 즉, 운동중단 8주 후의 운동잔여효과는 노인 본인이 운동을 다시 시작해야 되는지 아닌지에 대한 분명한 결정 요인으로 작용될 것 이라고 생각된다.

넘는 다리의 하퇴와 발 간(LSF)의 협응은 50% 높이에서 수중운동 전에 비해 수중운동 후 유의하게 향상되었으며, 운동중단 후까지 효과가 지속되어 수중운동 전에 비해 유의하게 향상되었음을 나타냈다. Zhang 등 (2011), Kim과 Yu (2009)의 연구에서는 노인의 장애물 보행을 개선시키기 위한 훈련 후, 지지하는 발과 장애물 간의 수평거리와 착지 후 넘는 발과 장애물 간의 수평거리가 증가하는 등 장애물 보행 시 보폭(step length)이 길어졌음에도 불구하고, 장애물을 넘는 속도 및 시간이 유의하게 짧아졌다고 보고하였다. 이는 유각기(swing phase)에서 하퇴의 움직임이 증가되었다고 볼 수 있고, 이에 따라 하퇴와 발의 협응을 향상시키기 위해서는 발의 움직임이 증가되어야 한다고 볼 수 있다. 30, 40% 높이에서는 발견되어지지 않고, 50% 높이에서만 협응이 유의하게 증가된 것은 장애물의 난이도가 높을수록 발이 장애물에 걸리지 않기 위해 발이 저측굴곡이 수반되어야 하며(Kim & Yu, 2009), 이에 따른 발의 움직임 증가는 하퇴와의 협응 향상을 증가시키는 것으로 생각된다. 또한 Katsura 등 (2010)은 노인의 경우 수중운동 후 발목의 배측굴곡(dorsi flexion)의 근력을 측정한 결과, 유의하게 향상되지 않았음을 보고하였고, 이로 미뤄보아 수중운동은 발목의 배측굴곡근군의 근력향상에는 영향을 미치지 않지만, 기능적인 사용능력이 유의하게 향상되며, 훈련잔여효과를 지속하는데 기여한다고 생각되어진다.

장애물 보행 시 지지하는 다리는 넘는 다리가 장애물을 통과하는 동안 안정성을 유지하기 위한 역할을 수행할 뿐만 아니라, 넘는 다리의 높이나 스윙 형태에 따라 균형성의 요구가 증가된다(Chou, Kaufman, Brey, & Draganich, 2001; Eng, Winter, & Patla, 1994; Patla & Rietdyk, 1993; Said et al., 2008). 이 연구에서는 지지하는 다리의 대퇴와 하퇴 간(TTS) 협응은 유의하게 향상되지 않았고,

하퇴와 발 간(TSF) 협응은 수중운동 전과 운동중단 후에 30% 높이에 비해 50% 높이의 장애물을 넘을 때 유의하게 하락하였다. 또 훈련 기간에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았지만, 전반적으로 수중운동 전과 운동중단 후에 비해 수중운동 후 지지하는 다리의 협응이 향상되는 경향을 나타냈다. Krasovsky, Lamontagne, Feldman과 Levin (2014)은 보행 시 낙상을 야기시킬 수 있는 물리적 방해(perturbation)가 발생할 경우, 노인은 이를 정상 보행으로 되돌리려는 기능이 떨어지고, 이를 예방하기 위해서는 보행 안정성보다 하지 간의 협응 향상이 중요하다고 보고하였다. 따라서 좀 더 장기적인 수중운동을 적용할 경우 지지하는 다리의 협응도 기대할 수 있다고 생각되어지며, 훈련잔여효과가 떨어지는 점을 감안하여 지속적인 프로그램을 마련하고, 참여시키는 것이 장애물에 의한 노인 낙상 예방에 도움이 될 것이라고 생각된다.

이 연구에서는 수중운동 시 넘는 다리의 협응이 유의하게 향상되었고, 지지하는 다리 내의 협응이나 지지하는 다리와 넘는 다리 간의 협응은 유의하게 향상되지는 않았으나 전반적으로 향상되는 경향을 나타냈다. 일반적으로 노인의 보행능력 향상을 위해서 근력이나 균형성에 초점을 맞춘 운동 프로그램이 진행되어지고 있지만, 낙상의 주요 원인인 장애물에 의한 낙상을 예방하기 위해서는 하지분절 간의 협응 향상에 초점을 맞춰야 한다(Krasovsky et al., 2014; Wang et al., 2009). 따라서 노인 낙상 예방을 위한 장애물 보행 시 하지 분절 협응에 관한 연구가 다수 이뤄지고 있으며(Chiu, Osternig, & Chou, 2013; Lu, Yen, & Chen, 2008), 이 연구의 결과는 8주간의 수중운동이 넘는 다리의 협응 향상에 올바른 역할을 하고 있음을 나타냈지만, 지지하는 다리의 협응의 향상과 훈련잔여효과를 최대화하기 위해서는 장기적이고 지속적인 프로그램이 마련되어야 된다고 생각된다.

V. 결 론

이 연구는 노인이 수중운동 전·후, 운동중단 후, 장애물 보행 시 하지 간 협응능력의 향상을 평가하는 것이다. 이를 위해 K 복지관에서 실시하는 수중운동 프로그램에 참여 중인 노인 11명을 대상으로 실시하였으며, 운동기간과 장애물 높이에 따른 연속상대위상을 비교하여 분절 간 협응 향상을 분석하였다. 연구 결과, 넘는 다리의 대퇴와 하퇴의 협응(LTS)은 수중운동 전에 비해 수중운동 후 유의하게 향상되었고, 40% 높이에서 훈련잔여효과가 나타났다. 또한 하퇴와 발의 협응(LSF)은 50% 높이에서 유의하게 향상되었으며, 훈련잔여효과가 나타났다. 이외의 분절 간의 협응은 유의한 향상을 보이지 않았지만 전반적으로 수중운동 전에 비해 향상되는 경향을 나타냈다. 이 연구 결과에 따라, 수중운동 프로그램은 노인의 장애물 보행에 필요한 하지 협응능력 발달에 긍정적인 효과를 보였지만, 지지하는 다리의 협응과 훈련잔여효과를 위해서는 좀더 장기적이고 지속적인 프로그램 진행이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

Austin, G. P., Garrett, G. E., & Bohannon, R. W. (1999). Kinematic analysis of obstacle clearance during locomotion. *Gait and Posture*, 10(2), 109-120.

Chen, H. C., Ashton-Miller, J. A., Alexander, N. B., & Schultz, A. B. (1991). Stepping over obstacles: gait patterns of healthy young and old adults. *Journal of Gerontology*, 46(6), 196-203.

Choi, P. H, & Yoon, S. H. (2010). The kinetic and kinematic effect of a 12-week aquatic exercise program on obstacle gait in older women. *Korean Journal of Sports Biomechanics*, 20(2), 129-137.

Chiu, S. L., Osternig, L., & Chou, L. S. (2013). Concussion induces gait inter-joint coordination variability under conditions of divided attention and obstacle crossing. *Gait and Posture*, 38(4), 717-722.

Chou, L. S., Kaufman, K. R., Brey, R. H., & Draganich, L. F. (2001). Motion of the whole body's center of mass when stepping over obstacles of different heights. *Gait and Posture*, 13(1), 17-26.

Eng, J. J., Winter, D. A., & Patla, A. E. (1994). Strategies for recovery from a trip in early and late swing during human walking. *Experimental Brain Research*, 102(2), 339-349.

Hamill, J., van Emmerik, R. E., Heiderscheit, B. C., & Li, L. (1999). A dynamical systems approach to lower extremity running injuries. *Clinical Biomechanics*, 14(5), 297-308.

Hartholt, K. A., van Beeck, E. F., Polinder, S., van der Velde, N., van Lieshout, E. M., Panneman, M. J., van der Cammen, T. J., & Patka, P. (2011). Societal consequences of falls in the older population: injuries, healthcare costs, and long-term reduced quality of life. *The Journal of Trauma*, 71(3), 748-753.

Harris, C., DeBeliso, M., Adams, K. J., Irmischer, B. S., & Spitzer, T. A. (2007). Detraining in the older adults: effects of prior training intensity on strength retention. *Journal of Strength Conditioning Research*, 21(3), 813-818.

Hess, J. A., & Woollacott, M. (2005). Effect of high-intensity strength-training on functional measures of balance ability in balance-impaired older adults. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 28(8), 582-590.

Hill, K., Schwarz, J., Flicker, L., & Carroll, S. (1999). Falls among healthy, community-dwelling, older women: a prospective study of frequency, circumstances, consequences and prediction accuracy. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 23(1), 41-48.

Jung, J., Lee, J., Chung, E., & Kim, K. (2014). The effect of obstacle training in water on static balance of chronic stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(3), 437-440.

Kalapotharakos, V. I., Smilios, I., Parlavantzas, A., & Tokmakidis, S. P. (2007). The effect of moderate resistance strength

training and detreaining on muscle strength and power in older men. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 30(3), 109-113.

Katsura, Y., Yoshikawa, T., Ueda, S. Y., Usui, T., Sotobayashi, D., Nakao, H., Sakamoto, H., Okumoto, T., & Fujimoto, S. (2010). Effects of aquatic exercise training using water-resistance equipment in elderly. *European Journal of Applied Physiology*, 108(5), 957-964.

Keller Chandra, S., Bockisch, C. J., Dietz, V., Hegemann, S. C., Straumann, D., & van Hedel, H. J. (2011). Gaze strategies for avoiding obstacles: Differences between young and elderly subjects. *Gait and Posture*, 34(3), 340-346.

Kelso, J. A. S. (1995). Dynamic Patterns: the Self-Organization of Brain and Behavior. Cambridge: MIT Press.

Krasovsky, T., Lamontagne, A., Feldman, A. G., & Levin, M. F. (2014). Effects of walking speed on gait stability and inter-limb coordination in younger and older adults. *Gait and Posture*, 39(1), 378-385.

Kim, S. B., & Yu, Y. J. (2009). The Characteristics of obstacle gaits in female elders after 12 weeks of an aquatic program. *Korean Journal of Sports Biomechanics*, 19(3), 539-547.

Lee, S. Y., Hyong, I. H., & Shim, J. M. (2009). The Effect of Aquatic Gait Training on Foot Kinesiology and Gait Speed in Right Hemiplegic Patients. *The Journal of the Korea Contents Association*, 9(12), 674-682.

Lu, T. W., Yen, H. C., & Chen, H. L. (2008). Comparisons of the inter-joint coordination between leading and trailing limbs when crossing obstacles of different heights. *Gait and Posture*, 27(2), 309-315.

Patla, A. E., & Rietdyk, S. (1993). Visual control of limb trajectory over obstacles during locomotion: effect of obstacle height and width. *Gait and Posture*, 1(1), 45-60.

Rahmann, A. E., Brauer, S. G., & Nitz, J. C. (2009). A specific inpatient aquatic physiotherapy program improves strength after total hip or knee replacement surgery: a randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(5), 745-755.

Said, C. M., Goldie, P. A., Patla, A. E., Culham, E., Sparrow, W. A., & Morris, M. E. (2008). Balance during obstacle crossing following stroke. *Gait and Posture*, 27(1), 23-30.

Statistics Korea (2011a). Population and housing census. Retrieved from http://kostat.go.kr.

Statistics Korea (2011b). Future population projection. Retrieved from http://kostat.go.kr.

Tokmakidis, S. P., Kalapotharakos, V. I., Smilios, I., & Parlavantzas, A. (2009). Effects of detraining on muscle strength and mass after high or moderate intensity of resistance training in older adults. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 29(4), 316-319.

Wang, T. J., Belza, B., Elain Thompson, F., Whitney, J. D., & Bennett, K. (2007). Effects of aquatic exercise on flexibility, strength and aerobic fitness in adults with osteoarthritis of the hip or knee. *Journal of Advanced Nursing*, 57(2), 141-152.

Wang, T. M., Yen, H. C., Lu, T. W., Chen, H. L., Chang, C. F., Liu, Y. H., & Tsai, W. C. (2009). Bilateral knee osteoarthritis does not affect inter-joint coordination in older adults with gait deviations during obstacle-crossing. *Journal of Biomechanics*, 42(14), 2349-2356.

Weerdesteyn, V., Nienhuis, B., & Duysens, J. (2005). Advancing age progressively affects obstacle avoidance skills in the elderly. *Human Movement Science*, 24(5-6), 865-880.

Winter, D. A. (1992). Foot trajectory in human gait: a precise and multifactorial motor control task. *Physical Therapy*, 72(1), 45-53.

Yamada, M., Aoyama, T., Arai, H., Nagai, K., Tanaka, B., Uemura, K., Mori, S., & Ichihashi, N. (2011). Complex obstacle negotiation exercise can prevent falls in community-dwelling elderly Japanese aged 75 years and older. *Geriatrics & Gerontology International*, 12(3), 461-467.

Zhang, C., Mao, D., Riskowski, J. L., & Song, Q. (2011). Strategies of stepping over obstacles: The effects of long-term exercise in older adults. *Gait and Posture*, 34(2), 191-196.