

Comparison of Physical Characteristics and Lower Extremity Biomechanics of Elderly and Young Adult Runners

노인 러너의 신체특성과 하지관절의 생체역학적 비교

Jong-Bin Kim¹, Sunghe Ha^{2,3}, Sangheon Park¹, Sukhoon Yoon^{1,3}, Ji-seon Ryu^{1,3}, Sang-Kyoon Park^{1,3}

¹Motion Innovation Centre, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

²Integrative Sports Science Research Laboratory, Yonsei University, Seoul, South Korea

³Department of Physical Education, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 16 July 2019

Revised : 20 August 2019

Accepted : 20 August 2019

Objective: The purpose of this study was to compare the physical characteristics (bone mineral density, joint muscle strength) and running biomechanics between older adults and young adult runners to understand the changes of running strategy by aging.

Method: Bone mineral density (Dual Energy X-ray Absorptiometry, USA) of lower lower extremity and muscle strength (Cybex Humac Norm [DEXA], CSMI, USA) were measured to identify the physical characteristics of 10 elderly (age: 67.70±3.30 yrs, height: 1.68±0.04 m, mass: 67.70±3.80 kg) and 10 young adults (age: 21.20±0.42 yrs, height: 1.73±0.06 m, mass: 72.11±4.15 kg). Running data was collected by using an instrumented treadmill (Bertec, USA) and 7 infrared cameras (Oqus 300, Qualisys, Sweden). Two-way repeated ANOVA analysis was used to analyze results at a significant level of .05 with Bonferroni post hoc analysis.

Results: Compared to the young adult group, the elderly group showed statistically significant difference in physical characteristics and in running characteristics. Elderly runners showed lower BMD and muscle strength compared with young runners ($p<.05$). In the running parameters, elderly runners tend to show shorter contact time and stride length compared with young runners ($p<.05$). In the joint angles, elderly runners showed smaller range of ankle motion compared with young runners ($p<.05$). Finally, elderly runners showed lower level of joint moment, joint power, and GRF compared with young runners in each running speed ($p<.05$).

Conclusion: The running behavior of the elderly performed periodic running was similar to many variables of young adults. However, there were noticeable differences found in the ankle joints and most kinetic variables compared with young adult runners. This discrepancy may propose that elderly runners should consider appropriate running distance and intensity in the program.

Keywords: Aging, Bone mineral density, Running, Kinematics

Corresponding Author

Sang-Kyoon Park

Department of Physical Education, Motion Innovation Centre, Korea National Sport University, 1239, Yangjae, Songpa-gu, Seoul, 05541, South Korea

Tel : +82-2-410-6952

Fax : +82-2-410-6952

Email : spark@knsu.ac.kr

INTRODUCTION

우리나라 노인 인구의 91%가 관절염, 요통, 골다공증 등 다양한 근 골격계 질환 및 생리화학적 노화에 노출되어 있다 (Ministry of Health and Welfare, 2015). 이러한 질환 및 노화로

인해 노인들은 2차 근 골격계 손상이 발생되고, 그 중 생리학적 노화로 발생하는 골다공증과 근력 저하는 대표적인 신체변화이며, 노인 골절 손상의 요인으로 보고되고 있다. 골다공증과 하지 근력 저하는 신체 활동 시 골절, 염좌와 같은 근 골격계의 손상을 초래하며, 신체 비대칭과 균형 능력 감소 등은 신

체 활동을 제한시켜 골격과 근육을 빠르게 퇴화시키는 위험 요인으로 작용할 것이다(Bohannon, 1995; Brown, Sinacore & Host, 1995; Choi, Jeon, Won & Lee, 2011; Fukuchi, Stefanyshyn, Stirling, Duarte & Ferber, 2014; Fields, 2011; Hernlund et al., 2013; Wang, Xiang, Xiong & Zhou, 2012). 이로 인해 일상 생활에 많은 장애를 야기시키며 삶의 질을 떨어트리는 문제가 발생될 것이다. 또한 성인에 비해 노인의 근 골격계 손상의 회복 기간이 상대적으로 오래 걸려 의료비 부담으로도 이어지며 생리학적 노화로 발생하는 근 골격계 손상에 대한 피해를 줄이기 위해서는 사전에 예방하는 것이 중요한 과제이다(Jette & Branch, 1981; Thelen, Ashton-Miller, Schultz & Alexander, 1996).

주기적으로 신체 활동을 실시하는 노인은 골 건강과 근력에 긍정적인 효과가 있다고 보고되고 있다(Bolam, Van Uffelen & Taaffe, 2013; Jung, 2001; Shin, 2010). 그 중 저항 운동과 체중 부하 운동은 뼈의 강도 증가와 근력의 감소를 막아 주는 것으로 보고되었는데(Figueroa et al., 2013; Lui, Qin & Chan, 2008), 선행연구에서 14주 간 하지 저항 운동을 실시한 노인들은 전체 근력의 27%, 무릎 관절 굴곡 및 신전 근력은 각각 27%, 17%가 증가한다고 보고되고 있다(Frontera, Meredith, O'Reilly, Knuttgen & Evans, 1988). 또한 노인들은 발목과 무릎 관절의 굴곡, 신전력은 일반 성인 남성에 비해 70~80%에 불과하며, 이처럼 생리학적 노화로 나타나는 위험 요인 감소를 위해 노인의 규칙적인 신체 활동은 골 무기질 감소 및 근력 저하를 지연시키는데 효과적이라고 보고되고 있다(Abe, DeHoyos, Pollock & Garzarella, 2000; Hchodzko-Zajko, 2000). 따라서 노인들에게 적절하고 규칙적인 신체 활동 참여는 근 골격계 손상의 위험 요인을 감소시키는데 중요하다고 할 수 있다.

규칙적인 신체 활동 중 달리기는 연령에 구애 받지 않아 유효성과 흥미도가 높은 신체 활동 중 하나이며, 시간과 장소에 상관없이 주기적으로 참여할 수 있다(Anbarian & Esmaeili, 2016; Son, Cho & Park, 2015). 그 동안 노인 달리기에 관한 연구는 다양한 관점에서 이루어지고 있는데, Martyn-St James (2008, 2009)은 약 5~6 km/h의 속도로 달리기를 실시할 때 골밀도량이 증가할 수 있다고 보고하였고, Giarmatzis, Jonkers, Baggen & Verschuere (2017)와 Schubert, Kempf & Heiderscheit (2014)은 과도한 달리기 속도 증가는 훈련 시 노인의 골반과 고관절, 몸통 동작을 크게 만들어 골반 및 허리에 부하를 증가시켜 근 골격계 상해를 유발시킨다고 하였다. 또 노인의 달리기 동작을 젊은 성인과 비교하였을 때 발목 관절 가동 범위의 차이는 크게 나타난 반면, 무릎 관절과 엉덩 관절의 가동 범위는 작게 나타났고(Devita, Fellin, Seay, Stavro & Messier, 2016; Freedman-Silvernail, Boyer, Rohr, Brüggemann & Hamill, 2015; Fukuchi & Duarte, 2008; Fukuchi et al., 2014; Kline & Williams, 2015; Nigg, Baltich, Maurer & Federolf, 2012), 달리기 속도 증가에 따라서 젊은 성인은 속도의 증가가 무릎 관절과 엉덩 관절의 각도와

최대 모멘트에 영향을 미치며(Shin, Lee & Kwon, 2008), 노인은 발목 관절과 무릎 관절의 가동 범위가 점점 커지는 것으로 나타났다(Silvernail, Boyer, Rohr, Brüggemann & Hamill 2015; Weyand, Sandell, Prime & Bundle, 2010). 하지만 노화로 인해 관절의 유연성은 떨어지며 특히, 발목 관절의 저축 굴곡과 배측 굴곡 가동 범위는 크게 줄어든다고 보고하였다(Bus, 2003; Conoboy & Dyson, 2006; Fukuchi & Duarte, 2008; Fukuchi et al., 2014). 그리고 노인은 달리기 시 발생하는 충격을 흡수하는데 신체 기능의 저하로 어려움이 있어 하지 관절의 잠재적 상해 가능성이 크며(Milgrom et al., 1992; Ryu, 2005), 노화로 인해 노인의 발목 관절 모멘트와 파워가 감소되어 발목 관절 상해의 원인이 된다고 보고하였다(Devita et al., 2016).

이상과 같이 노인 달리기의 효과와 상해에 대한 연구가 많이 수행되고 있지만, 노인의 신체적 변화를 고려한 달리기의 운동역학적 관계를 구체적으로 규명한 연구는 매우 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 노화가 진행되고 있는 건강한 65세 이상 남성 노인집단과 20대의 젊은 성인 남성의 신체적 특성(골밀도, 근력)과 달리기 시 운동 역학적 특성(움직임, 부하)을 비교하여 노인의 올바른 운동 방법과 운동강도에 대한 기초적인 자료정보를 제공하고자 한다.

METHOD

1. 연구대상자

본 연구는 주 3회 2시간 이상 달리기를 실시하고 있는 노인 남성 10명(age: 67.70±3.30 yrs, height: 1.68±0.04 m, mass: 67.70±3.80 kg)과 젊은 성인 남성 10명(age: 21.20±0.42 yrs, height: 1.73±0.06 m, mass: 72.11±4.15 kg)을 대상으로 실시하였다(Katherine, Boyer, Freedman, Silvernail & Hamill, 2016). 최근 6개월 이내에 하지 근 골격계 문제로 치료 및 수술 과거력이 없는 자로 선정하였다. 모든 대상자는 자발적 참여로 동의서에 서명 후 연구에 참여하였다. 본 연구는 K대학 연구윤리 위원회(IRB)에서 승인 후 실험을 실시하였다.

2. 연구방법

1) 골밀도 측정 및 근력 측정

대상자의 신체적 특성을 관찰하기 위하여 하지 골밀도 측정과 하지 근력 검사를 실시하였고, 달리기 동작분석을 실시하였다(Figure 1). 골밀도량을 측정하기 위해 이중 에너지 X선 방사선 흡수법(Dual Energy X-ray Absorptiometry, [DEXA], USA)으로 방해가 되는 금속물을 제거하고 검사 테이블에 누워 천장을 바라본 자세로 촬영 장비가 이동하면서 검사를 실시하였다.



Figure 1. Testing methods (BMD, muscle strength, and running biomechanics)



Figure 2. Reflective marker position (left and middle) & definition of joint coordinate system (right)

하지 최대 근력은 등속성 근기능 검사기(Cybex Humac Norm, CSMI, USA)를 이용하여, 엉덩 관절의 굴곡, 신전, 무릎 관절의 굴곡, 신전, 발목 관절의 배측 굴곡, 저축 굴곡 근력을 측정하였다. 대상자는 검사 장비에 편한 자세로 앉도록 요청 받았으며 이후 측정부위 외의 움직임을 최소화하기 위해 가슴과 골반 앞쪽으로 벨트로 상체를 고정하였다. 각 부위별 관절과 검사 장비의 축과 회전이 일어나는 분절의 원위부를 고정하여 근력 검사를 실시하였다. 연구자는 대상자에게 청각적 동기부여를 실시하여 최대 힘을 발휘하도록 독려했다. 검사 전 연습을 3회씩 실시하였고, 60 °/sec의 각속도로 각 부위별 5회씩 측정하여 평균을 산출하였다.

2) 달리기 동작분석

달리기의 동작분석은 실험 과정에서 안전을 위해 준비 운동을 10분 간 실시하였다. 이후 타이즈로 환복하고 자신의 신발을 신게 한 후, 하지 관절에 구형 반사마커를 14개와 분절의 움직임을 파악하기 위해 대퇴와 하퇴에 각각 1개씩 반사마커가 붙어 있는 클러스터를 2개를 부착하였다(Figure 2). 촬영 장비는 7대의 적외선 카메라(Oqus 300, Qualisys, Sweden)를 이용

하였으며, 촬영 속도(sampling rate)는 100 Hz으로 설정하였고, 지면반력기 2대가 내장되어 있는 트레드밀(Instrumented treadmill, Bertec, USA) 위에서 달리기를 수행하였다. 이때 표집률(sampling rate)은 1,000 Hz로 설정하였다. 3차원 공간 좌표 방향과 지면반력 방향은 X축은 좌(-)·우(+), Y축은 전(+).후(-), Z축은 수직(+)으로 설정하였다(Figure 2). 분석구간은 연구 대상자 오른발의 후족이 지면에 닿는 순간(heel strike)부터 전족이 지면으로부터 떨어지는 시점(toe off)까지의 지지국면(stance phase)을 운동역학적 분석구간으로 설정하였으며, 오른발 후족이 지면에 닿는 순간부터 그 다음 오른발 후족이 지면에 닿는 순간까지, 한 보행 주기(stride)를 운동학적 분석구간으로 설정하였다. 운동강도에 따라 변화도 살펴보기 위하여 달리기의 3가지 속도 조건(2.2 m/s, 2.8 m/s, 3.1 m/s)에 대해 랜덤으로 실시하였다(Barrett, Noordegraaf & Morrison, 2008). 속도 조절은 트레드밀 소프트웨어(Bertec, USA)를 통해 통제하였다.

3. 자료처리

골밀도 자료는 하지 분절과 골반을 측정하였으며, 골밀도 측정 시 스캔 모드는 중간으로 하였고, 각 부위별 평균 골밀도를

측정하였다. 하지 근력 측정값은 체중으로 표준화하여 최대 근력(peak torque, Nm/kg)을 산출하였다. 달리기 동작분석 자료 처리는 Matlab R2014a (The Mathworks, USA)와 Visual3D v3 (C-Motion, USA)를 이용하여 실시하였다. 원자료(raw data)는 Qualisys 사의 Qualisys Track Manager 프로그램을 이용하여 각 관절의 위치 데이터와 지면반력 자료를 획득하였다. 취득한 자료의 노이즈를 제거하기 위해 Butterworth 2nd order low-pass filter를 사용하였으며, 3차원 위치 좌표는 차단주파수 12 Hz (Heiderscheit, Chumanov, Michalski, Wille & Ryan, 2011)로 지면반력 자료는 차단주파수 100 Hz로 실시하였다(Fukuchi et al, 2014). 이들 자료를 바탕으로 시상면의 발목 및 무릎과 영덩 관절각은 양의 값(+)이 굴곡과 배측 굴곡각을 의미하고 음의 값(-)은 신전과 저측 굴곡각을 의미하며, 관절파위는 양(+)의 값이 단축성 수축을 음(-)의 값이 신장성 수축을 의미한다.

4. 통계처리

통계 처리는 SPSS 21.0 (IBM, USA)을 이용하여 노인집단과 젊은 성인집단 간 골밀도와 근력의 차이를 검증하기 위해 독립(independent) *t*-test를 실시하였고, 속도변화에 따른 집단 간 운동학·운동역학적인 변인의 차이 검증을 위하여 Two-way repeated ANOVA를 실시하였다. 사후 검증(post-hoc)은 Bonferroni 다중 비교 방법을 실시하였으며, 이때 유의 수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

RESULTS

본 연구는 주기적으로 달리기에 참여하고 있는 노인집단과 젊은 성인집단간 하지 골밀도와 근력의 특성을 비교하고 달리기 속도 조건에 따른 하지 관절의 운동역학적 변인의 차이를 분석하였다.

1. 신체특성

노인집단과 젊은 성인집단 간 하지 관절 골밀도량과 근력 차이는 (Table 1)과 같다. 노인집단은 젊은 성인집단 보다 하지의 BMD (Bone Mineral Density)에서 모든 수치(Legs, Right Leg, Pelvis, T-score)가 작게 관찰되었으며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). 하지 근력에서도 노인집단의 영덩 관절과 무릎 및 발목 관절의 최대 근력(peak torque)이 젊은 성인집단에 비해 작게 나타났고 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < .05$).

2. 운동학적 변인

노인집단과 젊은 성인집단 간 속도변화에 따른 달리기 시 주행특성, 하지 관절의 운동학적 변인의 차이는 (Table 2)와 같다. 주행특성 변인에서 노인집단은 보장이 짧고 보빈도가 높게 나타났고($p < .05$), 집단과 속도에 대한 상호작용 효과가 통

Table 1. Bone Mineral Density and joint muscle strength for Elderly and Young runners

Parameters	Elderly	Young	<i>t</i>	<i>p</i>	η^2	β
Bone Mineral Density (g/cm ²)						
BMD	1.25±0.09	1.32±0.08	-2.22	.043	.82	1.00
Legs	1.39±0.10	1.53±0.08	-3.56	.002	.95	1.00
Right Leg	1.38±0.10	1.52±0.09	-3.42	.000	.95	1.00
Pelvis	1.18±0.09	1.41±0.14	-4.44	.003	.81	1.00
T-score	0.86±1.15	1.85±1.03	-2.28	.049	.50	1.00
Peak torque (Nm/kg)						
Hip_FLX	96.11±20.79	135.50±25.15	-3.73	.002	.70	1.00
Hip_EXT	276.20±69.70	396.70±93.67	-3.26	.005	.45	1.00
Knee_FLX	118.80±35.21	168.70±41.49	-2.90	.010	.81	1.00
Knee_EXT	142.50±39.86	194.20±35.46	-3.06	.007	.72	1.00
Ankle_PF	102.50±38.11	152.00±37.42	-2.93	.040	.69	1.00
Ankle_DF	38.70±8.30	49.70±11.59	-2.44	.026	.92	1.00

EXT = extension, FLX = flexion, DF = dorsiflexion, PF = plantarflexion, indicate a significant difference at $\alpha = .05$

Table 2. Running parameters Mean (SD) and joint ROM for Elderly and Young runners

Parameters	2.2 m/s ^a	2.8 m/s ^b	3.1 m/s ^c	Speed effect		Interaction effect	η^2	β		
	M \pm SD	M \pm SD	M \pm SD	F (p)	Post hoc tests					
Running parameters										
Stride length (m)	Elderly	1.47 \pm .24 [†]	1.81 \pm .25 [†]	2.05 \pm .29 [†]	F=8.31 (p<.009)*	a>b* a>c* b>c*	a>b*	F=16.05 (p<.001)*	.97	1.00
							a>c*			
	Young	1.67 \pm .10	2.01 \pm .11	2.34 \pm .12			a>b*			
							a>c*			
							b<c*			
Stride frequency (Hz)	Elderly	1.76 \pm .11	2.33 \pm .16	2.87 \pm .14 [†]	F=11.14 (p<.011)*	a>b* a>c* b>c*	a>b*	F=18.58 (p<.001)*	.95	1.00
							a>c*			
	Young	1.70 \pm .16	2.15 \pm .20	2.49 \pm .22			a>b*			
							a>c*			
							b<c*			
ROM_angle (°) during stance phase										
Ankle PF-DF	Elderly	27.01 \pm 4.49 [†]	29.29 \pm 3.85 [†]	31.08 \pm 4.93 [†]	F=16.74 (p<.001)*	a>b* a>c* b>c*	a>b*	F=1.98 (p=.152)	.51	.98
							a>c*			
	Young	35.38 \pm 5.11	35.63 \pm 3.40	37.26 \pm 5.03			a<b			
							a<c			.18
							b<c			.42
Knee FLX-EXT	Elderly	21.21 \pm 2.78	21.50 \pm 3.13	22.02 \pm 3.36	F=3.63 (p=.070)	a>b* a>c* b>c*	a>b	F=.22 (p=.727)	.07	.18
							a>c			
	Young	23.87 \pm 3.84	23.80 \pm 4.27	24.95 \pm 3.98			a>b			
							a<c			.26
							b<c*			.61
Hip FLX-EXT	Elderly	26.30 \pm 4.20	32.05 \pm 4.14	36.15 \pm 4.22	F=.01 (p=.956)	a>b* a>c* b>c*	a>b*	F=.96 (p=.386)	.91	1.00
							a>c*			
	Young	27.02 \pm 3.49	31.66 \pm 3.64	36.08 \pm 4.31			a>b*			
							a>c*			.90
							b<c*			1.00

EXT = extension, FLX = flexion, DF = dorsiflexion, PF = plantarflexion. * indicate a significant difference at $\alpha = .05$, [†] = indicate group age effects

Table 3. Joint kinetic and vertical GRF variables for Elderly and Young runners

Parameters	2.2 m/s ^a	2.8 m/s ^b	3.1 m/s ^c	Speed effect		Interaction effect	η^2	β	
	M \pm SD	M \pm SD	M \pm SD	F (p)	Post hoc tests				
Peak joint moment (Nm/ Kg)									
Ankle PF-DF	Elderly	-1.81 \pm 1.14	-2.69 \pm .35 [†]	-2.90 \pm .39 [†]	F=5.92 (p <.024) [*]	a>b [*] a>c [*] b>c [*]	a>b [*]	.70	1.00
							a>c [*]		
	Young	-2.55 \pm .85	-3.01 \pm .37	-3.34 \pm .45			a>b	.78	1.00
							a>c [*]		
							b>c [*]		
Knee FLX-EXT	Elderly	-.78 \pm .61 [†]	-1.09 \pm .39 [†]	-1.30 \pm .39 [†]	F=8.15 (p <.009) [*]	a>b [*] a>c [*] b>c [*]	a>b [*]	.70	1.00
							a>c [*]		
	Young	-1.27 \pm .51	-1.56 \pm .40	-1.77 \pm .35			a>b [*]	.62	1.00
							a>c [*]		
							b>c [*]		
Hip FLX-EXT	Elderly	-1.47 \pm 1.01	-2.21 \pm .59	-2.51 \pm .53	F=.64 (p =.433)	a>b [*] a>c [*] b>c [*]	a>b [*]	.64	1.00
							a>c [*]		
	Young	-1.83 \pm .71	-2.34 \pm .70	-2.66 \pm .74			a>b [*]	.61	.99
							a>c [*]		
							b>c [*]		
Peak joint power (W/Kg)									
Ankle PF-DF	Elderly	4.38 \pm 2.89	7.65 \pm 1.60 [†]	9.37 \pm 2.03 [†]	F=.01 (p <.006) [*]	a>b [*] a>c [*] b>c [*]	a>b [*]	.78	1.00
							a>c [*]		
	Young	6.34 \pm 2.17	9.14 \pm 1.40	11.74 \pm 1.67			a>b [*]	.87	1.00
							a<c [*]		
							b<c [*]		
Knee FLX-EXT	Elderly	3.80 \pm 3.29	5.49 \pm 2.83 [†]	7.38 \pm 3.23 [†]	F=6.71 (p <.017) [*]	a>b [*] a>c [*] b>c [*]	a>b	.68	1.00
							a>c [*]		
	Young	5.88 \pm 2.60	8.09 \pm 2.02	10.42 \pm 2.02			a>b [*]	.77	1.00
							a>c [*]		

Table 3. Joint kinetic and vertical GRF variables for Elderly and Young runners (Continued)

Parameters	2.2 m/s ^a	2.8 m/s ^b	3.1 m/s ^c	Speed effect		Interaction effect	η^2	β	
	M \pm SD	M \pm SD	M \pm SD	F (p)	Post hoc tests				
Hip FLX-EXT	Elderly	2.90 \pm 2.32	5.38 \pm 2.42	7.02 \pm 3.10	F=.76 (p =.392)	a>b* a>c* b>c*	F=3.02 (p =.074)	.75	1.00
	Young	2.98 \pm 1.28	4.52 \pm 1.37	5.68 \pm 1.83					
Vertical GRF (BW)									
Peak vertical GRF	Elderly	1.05 \pm 0.49 [†]	2.01 \pm 0.79 [†]	2.10 \pm 0.92 [†]	F=4.98 (p <.039)*	a<b* b<c* a<c*	F=.034 (p =.172)	.93	1.00
	Young	1.27 \pm 0.83	2.24 \pm 0.58	2.41 \pm 0.78					

EXT = extension, FLX = flexion, DF = dorsiflexion, PF = plantarflexion *indicate a significant difference at $\alpha = .05$, [†] = indicate group age effects

계적으로 유의하게 크게 나타났다($p < .001$).

운동학적 변인에서 발목 관절의 배측 굴곡과 저축 굴곡의 가동 범위가 집단 간에 통계적 차이가 크게 나타났고($p < .05$), 속도변화에 따른 유의한 차이도 관찰되었다($p < .001$). 무릎 관절에서 굴곡신전각의 가동 범위에서는 따른 통계적 차이를 나타내지 않았다. 엉덩 관절에서 속도변화에 따른 통계적 차이가 크게 나타났으나($p < .001$), 굴곡 신전 가동 범위는 집단 간 차이가 나타나지 않았고, 상호작용 효과도 나타나지 않았다.

3. 운동역학적 변인

노인집단과 젊은 성인집단 간에 하지 관절의 운동역학 변인인 관절 모멘트와 파워, 수직 지면반력의 속도변화에 따른 차이는 (Table 3)과 같다.

노인집단은 발목 관절 모멘트가 속도 2.8 m/s와 3.1 m/s에서 젊은 성인집단에 비해 작게 관찰되었고 통계적으로 유의한 차이가 크게 나타났으며($p < .05$), 무릎 관절 모멘트는 모든 속도에서 작게 관찰되며 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었다($p < .05$). 엉덩 관절은 속도변화에서 유의한 차이가 크게 나타났으며($p < .001$), 집단 간 차이는 나타나지 않았고 상호작용 효과도 나타나지 않았다.

발목 관절 파워에서는 집단 간 차이는 나타나지 않았으나

속도변화에 따라 차이가 크게 관찰되었으며($p < .001$), 무릎 관절 파워에서는 2.8 m/s와 3.1 m/s 속도에서 집단 간 차이가 크게 나타났고($p < .05$). 엉덩 관절 파워에서는 통계적인 차이는 나타나지 않았다. 수직 지면반력 값은 집단 간 차이가 크게 나타났고($p < .05$), 속도 변화에 따라 차이가 크게 보였다($p < .001$).

DISCUSSION

본 연구는 주기적으로 달리기를 수행하는 노인들의 신체특성(골밀도와 근력)이 젊은 성인과 차이를 알아보고, 노인의 달리기 시 발생하는 운동역학적 변인 중 수직 지면반력과 관절 가동 범위 및 관절 모멘트 등을 젊은 성인과 비교하고자 하였다. 이를 통해서 달리기의 신체 활동이 노인에게 적용 시 건강 증진과 상해예방적인 측정에서 올바르게 적용하고자 하였다.

1. 두 집단 간 골밀도와 하지 근력의 차이

노인집단의 신체적 특성 중 하지 분절 골밀도를 수치로 비교해 본 결과, 노인집단은 젊은 성인집단에 비해 전체적으로 낮은 수치가 관찰되었다. Shin (2010)은 65세 이상 노인 대상으로 골다공증 예방을 위해 운동을 실시한 결과 T-score와 골반, 하퇴 등에서 BMD의 통계적 수치가 유의하게 증가하였고, 노

인이 3년 간 주기적으로 운동을 실시하면 골밀도가 증가되거나 유지되는 것으로 보고하였다. 또한 Bolam et al. (2013)의 연구에서도 골다공증 남성 노인을 대상으로 규칙적인 운동을 실시한 결과 BMD가 증가하였다고 하였으며, 운동을 하지 않은 노인집단은 감소하였다고 보고하였다. 그리고 Cho, Choi, Kim, Lee & Park (2018)은 일반 남성 노인 2,657명의 골밀도를 분석한 결과 전체 BMD는 1.16 g/cm^2 , 대퇴 BMD는 0.92 g/cm^2 로 나타났는데 규칙적으로 달리기를 실시하는 노인들은 전체 BMD는 1.25 g/cm^2 , 대퇴는 BMD 1.38 g/cm^2 로 일반 노인에 비해 결과 값은 상대적으로 크게 나타났다. 따라서 본 연구 결과가 선행연구보다 노인집단의 전체 BMD (7.7%)와 하지 관절 BMD (43.4%)에서 크게 나타났는데 이는 Einhom, Azria & Goldstein (1992)의 연구와 울프의 법칙(Wolff's law)에서 보고하듯이 점진적이고 반복적으로 뼈에 대한 스트레스(충격)를 가하면 뼈의 밀도가 높아지면서 손실을 감소시킨다는 점을 본 연구의 결과에서도 유추해볼 수 있을 것이다. 따라서, 적절한 강도의 달리기를 꾸준히 실시하면 골밀도 유지 및 증가로 각종 질환과 골감소증, 낙상으로 인한 골절 부상을 미연에 방지할 수 있다고 사료된다.

한편, 하지 관절 근력약화는 생리학적 노화 중 매우 중요한 문제이며 하지 관절 골절 상해의 주된 원인으로 알려져 있다 (Bohannon, 1995; Brown et al., 1995). 특히, 노화로 인한 하지 근력의 감소는 상지 근력에 비해 상대적으로 더 크면, 하지 근력 및 관절파워는 나이가 들면 점차 작아 진다고 하였다 (Candow & Chilibeck 2005; Ikezoe, Mori, Nakamura & Ichihashi, 2011). 그리고 Kim & Son (2016) 연구에서는 일반적인 노인집단의 무릎 굽힘근의 근력이 70.41 Nm/kg 와 발등 굽힘근의 근력이 30.01 Nm/kg 로 달리기 하는 노인의 무릎 굽힘근이 118.80 Nm/kg 의 수치와 발목 굽힘근의 38.70 Nm/kg 수치에 비해 각각 41%와 22% 정도 낮게 나타났다. 본 연구에서 규칙적으로 달리기를 실시하는 노인은 젊은 성인에 비해 무릎 굽힘근은 23.4% 작게 나타났으며, 발등 굽힘근은 24.9% 작게 나타났다. 이렇듯 주기적으로 달리기를 실시하면 일반적인 노인보다 하지 근력 증가에 긍정적 효과가 예상되며, Kim & Ji (2004) 연구에서는 노인들이 장시간 운동을 실시하였을 때 하지 관절 기능이 높아진 것으로 나타났다. 또한 Larsen, Callahan, Foulis & Kent-Braun (2012)의 운동을 지속적으로 하였을 때 노인의 경우가 일반 노인보다 비복근과 대퇴사두근이 발달한 것을 알 수 있으며, Jung (2001)의 연구도 주기적으로 신체 활동이나 다양한 운동을 실시하는 노인들은 골 건강과 근력에 긍정적인 효과가 있다고 보고하였다. 이처럼 달리기를 주기적으로 실시하는 노인들은 하지 관절 골밀도량과 근력이 젊은 성인집단에 비해 낮음에도 불구하고, 운동을 실시하지 않는 노인집단에 비해 더 크게 나타남으로써, 적절한 달리기를 주기적으로 실시하면 급격한 골밀도량과 근력의 감소를 예방할

수 있다고 판단된다.

2. 노화로 인한 달리기 운동역학적 기전의 변화

노인집단은 주행특성에서 젊은 성인집단에 비해 보장은 더 작고 보빈도에서는 크게 나타났다. 달리기하는 노인의 보장과 보빈도는 Fukuchi & Duarte (2008)와 Bus (2003)의 연구와 유사한 패턴을 나타냈다. 노인은 생리학적 노화로 인해 달리기 시 움직임이 젊은 성인과 많이 다른데(Weyand et al., 2010), 연구 결과 노인들은 달리기 속도 증가(2.2 m/s , 2.8 m/s)에서 보폭을 더 좁게 하여 안정적으로 달리기를 실시한 반면 주행 속도가 빨라지면서 달리기 동작의 안정성과 균형성이 떨어질 가능성이 예상 되어진다. 또한 달리기 시 하지 관절 가동 범위는 주기적으로 달리기를 실시하는 노인집단과 젊은 성인집단 간의 통계적 유의한 차이가 있는 것으로 보고되었는데, 특히 Bus (2003)는 발목 관절 가동 범위는 노화에 따라 영향을 많이 받고 본 연구 결과 또한 발목 관절에서는 선행연구 결과와 같은 더 작은 가동 범위를 보여주었다(Conoboy & Dyson, 2006; Fukuchi & Duarte, 2008; Fukuchi et al., 2014). 그리고 Silvernail et al. (2015)은 노인은 성인에 비해 무릎 관절 가동 범위가 더 작은 반면 달리기 속도 증가에 따라 무릎 관절 가동 범위는 커진다. 이는 달리기 속도 증가 시 충격을 흡수하여 무릎 부상을 예방하기 위함이고 대퇴사두근 약화로 인한 무릎 관절에 부담이 과중될 수 있다는 것을 시사하며, 선행연구에서는 달리기 시 발생하는 충격을 적절히 흡수하지 못하면 하지 관절에 부정적인 영향을 보인다고 하였다(Milgrom et al., 1992; Ryu, 2005). 그리고 속도 증가에 따라 노인은 성인에 비해 수직 지면반력 값이 작게 나타나는데 Bus (2003)와 Devita et al. (2016)의 연구 결과와 일치하였으며, 그리하여 노인들에게 급격한 속도의 증가로 인해 착지 시 발생하는 충격력이 커 부상의 상대적 발생 비율이 크다고 주장했다(Hintermann & Nigg, 1998). 이렇듯 하지 관절 모멘트와 관절파워 분석을 통하여 노인들이 달리기 시 인체가 충격 부하를 얼마나 완충시키는지 살펴보면, 특히 2.8 , 3.1 m/s 에서 관절 모멘트와 관절파워가 집단 간 차이가 나타났는데, 노화로 인해 발목 관절에서 모멘트와 파워가 감소하여 발목 관절 상해가 발생할 수 있다고 보며, 발목의 힘 발생 능력이 감소하면서 무릎 관절에서 보상작용을 한다고 하였다(Devita et al., 2016; Kulmala et al., 2014). 충분한 발목 관절의 근력과 강성(뼈의 강도)이 유지되지 않게 될 경우 지면에서 발생하는 충격에 의해 발목 관절 부상 발생이 클 수 있다고 사료된다. 따라서, 건강한 하지 관절의 기능을 유지하고 달리기 중 전달되는 높은 충격에 대한 하지 관절 간에 부하의 재분배와 흡수의 능력을 향상시키기 위해 적절한 달리기 속도를 선정해야 할 것이다.

종합해 보면 본 연구 결과 주기적으로 달리기를 실시한 노

인집단은 근 골격계가 항상 및 유지가 되며, 달리기 시 발목 관절의 기능이 상대적으로 감소한 것으로 나타났으며, 속도의 변화에 따라 지면에서 발생하는 충격은 증가하는 것으로 나타났다. 젊은 성인에 비해 노인들은 달리기 시 무리한 훈련강도 증가나 잘못된 달리기 자세로 인하여 발목 관절을 중심으로 반복적 충격으로 인한 하지 관절의 부상 위험이 보다 높아질 것으로 예상되며, 이를 예방하기 위하여 좀 더 유연성을 증가시키는 요구된다. 또한 달리기 시 속도나 훈련거리를 조절하여 올바르게 안전한 달리기를 수행해야 할 것이다.

CONCLUSION

본 연구에서는 노화가 진행되고 있는 65세 이상 노인집단의 신체적 변화를 측정하고 달리기 동작 간 나타나는 움직임과 부하의 특성을 비교하였다. 본 연구에 참여한 노인들은 주기적으로 달리기를 수행하여 신체적 특성이 높은 반면 달리기 동작도 젊은 성인과 유사함에도 불구하고 발목 관절에서 약간의 차이가 나타났으며, 속도의 증가에 따라 지면으로부터 받는 충격은 증가하지만 충격흡수 기능이 감소하여 발목 관절에서 상해 발생 위험이 큰 것으로 나타났다. 따라서 노인들은 달리기와 같은 주기적 운동 참여하고 발목 관절 강화훈련을 실시하고 훈련 속도를 고려하여 운동을 실시해야 할 것으로 판단된다. 추후 연구에서는 다양한 연령대를 대상으로 하지 관절의 유연성, 강성, 그리고 충격흡수율 등의 분석이 이루어져야 할 것이다.

REFERENCES

- Abe, T., DeHoyos, D. V., Pollock, M. L. & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness change following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 81(3), 174-180.
- Anbarian, M. & Esmaeili, H. (2016). Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in novice runners with different foot types. *Gait & Posture*, 48, 52-56.
- Barrett, R., Noordegraaf, M. V. & Morrison, S. (2008). Gender differences in the variability of lower extremity kinematics during treadmill locomotion. *Journal of Motor Behavior*, 40(1), 62-70.
- Bohannon, R. W. (1995). Sit to stand test for measuring performance of lower extremity muscles. *Perceptual and Motor Skills*, 80, 163-166.
- Bolam, K. A., Van Uffelen, J. G. & Taaffe, D. R. (2013). The effect of physical exercise on bone density in middle-aged and older men: a systematic review. *Osteoporosis International*, 24(11), 2749-2762.
- Brown, M., Sinacore, D. R. & Host, H. H. (1995). The relationship of strength to function in the older adult. *The Journals of Gerontology*, 50, 55-59.
- Bus, S. A. (2003). Ground reaction forces and kinematics in distance running in older-aged men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(7), 1167-1175.
- Candow, D. G. & Chilibeck, P. D. (2005). Differences in size, strength, and power of upper and lower body muscle groups in young and older men. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 60(2), 148-156.
- Cho, Y., Choi, S., Kim, K., Lee, G. & Park, S. M. (2018). Association between alcohol consumption and bone mineral density in elderly Korean men and women. *Archives of Osteoporosis*, 13, 1-8.
- Choi, D. S., Jeon, Y. G., Won, Y. S. & Lee, H. D. (2011). Skeletal Muscle Strength Characteristics in Elderly People and Its Relationship with Body Composition. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(3), 297-308.
- Conoboy, P. & Dyson, R. (2006). Effect of aging on the stride pattern of veteran marathon runners. *British Journal of Sports Medicine*, 40(7), 601-604.
- Devita, P., Fellin, R. E., Seay, J. F. E., Stavro, N. & Messier, S. P. (2016). The relationships between age and running biomechanics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48, 98-106.
- Einhorn, T. A., Azria, M. & Goldstein, S. A. (1992). Bone fragility: the biomechanics of normal and pathologic bone. Sandoz.
- Fields, K. B. (2011). Running injuries-changing trends and demographics. *Sports Medicine*, 10, 299-303.
- Figueroa, A., Vicil, F., Sanchez-Gonzalez, M. A., Wong, A., Ormsbee, M. J., Hooshmand, S. & Daggy, B. (2013). Effects of diet and low-intensity resistance exercise training on arterial stiffness, adiposity, and lean mass in obese postmenopausal women. *American Journal of Hypertension*, 26(3), 416-423.
- Freedman-Silvernail, J., Boyer, K., Rohr, E., Bruggemann, G. P. & Hamill, J. (2015). Running mechanics and variability with aging. *Medica Science Sports Exercise*, 47(10), 2175-2180.
- Frontera, W. R., Meredith, C. N., O'Reilly, K. P., Knuttgen, H. G. & Evans, W. J. (1988). Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *Journal of Applied Physiology*, 64(3), 1038-1044.

- Fukuchi, R. K. & Duarte, M. (2008). Comparison of three-dimensional lower extremity running kinematics of young adult and elderly runners. *Journal of Sports Sciences*, 26(13), 1447-1454.
- Fukuchi, R. K., Stefanyshyn, D. J., Stirling, L., Duarte, M. & Ferber, R. (2014). Flexibility, muscle strength and running biomechanical adaptations in older runners. *Clinical Biomechanics*, 29(3), 304-310.
- Giarmatzis, G., Jonkers, I., Baggen, R. & Verschueren, S. (2017). Less hip joint loading only during running rather than walking in elderly compared to young adults. *Gait & Posture*, 53, 155-161.
- Hchodzko-Zajko, W. (2000). Successful aging in the new millennium: The role of regular physical activity. *Quest*, 52(4), 333-343.
- Heiderscheit, B. C., Chumanov, E. S., Michalski, M. P., Wille, C. M. & Ryan, M. B. (2011). Effects of step rate manipulation on joint mechanics during running. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 43(2), 296.
- Hintermann, B. & Nigg, B. M. (1998). Pronation in runners: Implications for injuries. *Sports Medicine*, 26, 169-176.
- Hernlund, E., Svedbom, M., Ivergård, J., Compston, C., Cooper, J., Stenmark, J. & Kanis, A. (2013). A report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA). *Archives of Osteoporosis*, 8, 136-256.
- Ikezoe, T., Mori, N., Nakamura, M. & Ichihashi, N. (2011). Age-related muscle atrophy in the lower extremities and daily physical activity in elderly women. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 53(2), 153-157.
- Jette, A. M. & Branch, L. G. (1981). The framing ham disability study: Physical disability among the aging. *Am Publications*, 71, 1211-1216.
- Jung, Y. S. (2001). Reliability of measures of mid femoral slice BMD and Isometric and Isokinetic leg muscle strength in master athletes. *Korean Journal of Physical Education*, 40(3), 603-611.
- Katherine, A., Boyer, K. A., Freedman Silvernail, J. & Hamill, J. (2016). Age and sex influences on running mechanics and coordination variability. *Journal of Sports Sciences*, 35(22), 2225-2231.
- Kim, D. J. & Ji, Y. S. (2004). Effects of long-term exercise programs on lower muscular function variables in elderly people. *Journal of Coaching Development*, 6(2), 199-210.
- Kim, S. W. & Son, J. H. (2016). Assessment of Elderly's Isokinetic Muscle Function, Flexibility and Balance in a Region of Seoul. *Journal of the Korean Academic Industrial Society*, 17(2), 37-44.
- Kline, P. W. & Williams, D. S. (2015). Effects of normal aging on lower extremity loading and coordination during running in males and females. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10, 901-909.
- Kulmala, J. P., Korhonen, M. T., Kuitunen, S., Suominen, H., Heinonen, A., Mikkola, A. & Avela, J. (2014). Which muscles compromise human locomotor performance with age? *Journal of the Royal Society Interface*, 11, 1-10.
- Larsen, R. G., Callahan, D. M., Foulis, S. A. & Kent-Braun, J. A. (2012). Age-related changes in oxidative capacity differ between locomotory muscles and are associated with physical activity behavior. *Applied Physiology Nutrition Metabolism*, 37(1), 88-89.
- Lui, P. P. Y., Qin, L. & Chan, K. M. (2008). Tai Chi Chuan exercises in enhancing bone mineral density in active seniors. *Clinics in Sports Medicine*, 27(1), 75-86.
- Martyn-St James, M. & Carroll, S. (2008). Meta-analysis of walking for preservation of bone mineral density in postmenopausal women. *Bone*, 43, 521-531.
- Martyn-St James, M. & Carroll, S. (2009). A meta-analysis of impact exercise on postmenopausal bone loss: the case for mixed loading exercise programmes. *British Journal of Sports Medicine*, 43, 898-908.
- Milgrom, C., Finestone, A., Shlamkovitch, N., Wosk, J., Laor, A., Voloshin, A. & Eldad, A. (1992). Prevention of overuse injuries of the foot by improved shoe shock attenuation. *Clinical Orthop*, 281, 189-192.
- Ministry of Health and Welfare. (2015). 2014 National Health Statistics Report. Korea.
- Nigg, B. M., Baltich, J., Maurer, C. & Federolf, P. (2012). Shoe midsole hardness, sex and age effects on lower extremity kinematics during running. *Journal of Biomechanics*, 45, 1692-1697.
- Ryu, J. S. (2005). Gender differences in the impact magnitude and its attenuation during running. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(1), 91-109.
- Schubert, A. G., Kempf, J. & Heiderscheit, B. C. (2014). Influence of stride frequency and length on running mechanics: A systematic review. *Sports Health*, 6(3), 210-217.
- Shin, S. H., Lee, H. K. & Kwon, M. S. (2008). Correlation between lower extremities joint moment and joint angle according

- to the different walking speeds. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(2), 75-83.
- Shin, Y. J. (2010). The effects of long-term exercise programs on Bone Mineral Density variables in elderly people. *Journal of Coaching Development*, 12(2), 247-257.
- Silvernail, J. F., Boyer, K., Rohr, E., Brüggemann, G. P. & Hamill, J. (2015). Running mechanics and variability with aging. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(10), 2175-2180.
- Son, Y. H., Cho, H. J. & Park, J. C. (2015). Research on the Survey of Health-oriented Consumer Behavior. *Korean Consumer Research Conference*, 119-119.
- Thelen, D. G., Ashton-Miller, J. A., Schultz, A. B. & Alexander, N. B. (1996). Do neural factors underlie age differences in rapid ankle torque development? *Journal of the American Geriatrics Society*, 44(7), 804-808.
- Wang, H., Li, C., Xiang, Q., Xiong, H. & Zhou, Y. (2012). Epidemiology of spinal fractures among the elderly in Chongqing, China. *Injury*, 43(12), 2109-2116.
- Weyand, P., Sandell, R., Prime, D. & Bundle, W. (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *Journal of Applied Physiology*, 108, 950-961.