제 2 세미나실

세미나 III : 운동의학 up to date

김명화 | 우송대학교

≫ Basics of Exercise Metabolism for Health Care Professionals — 서상훈 | 연세대학교

≫ 발 형태에 따른 계단 내리기 마지막 스텝의 운동학 · 운동역학 변인의 차이 — 조혜영 | 이화여자대학교

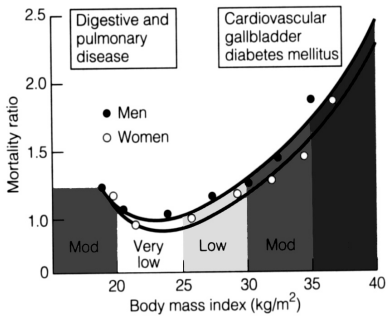
≫ The effects of exercise for frail elderly — 송 욱 | 서울대학교

≫ 유전체와 운동 — 변재종 | 우송대학교

Basics of Exercise Metabolism for Health Care Professionals

서상훈 연세대학교

BMI and Mortality



Bray and Gray, *West. J. Med., 1988*

What is your metabolic scope?

25-30 METs **3-4 METs**

- MET (Metabolic Equivalent) is the resting metabolic rate (3.5 ml/kg/min)
- Good way to express exercise intensity.
  - Low-intensity: 3-4 METs
  - Mid-intensity: 6-8 METs
  - High-intensity: > 10 METs

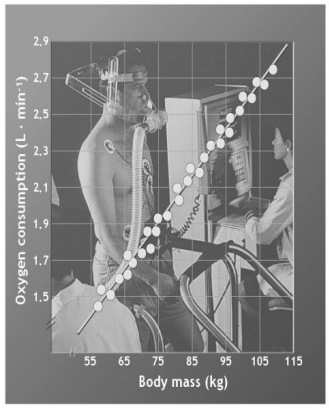


Figure 9.5. Relationship between body mass and oxygen consumption measured during submaximal, brisk treadmill walking. (From Laboratory of Applied Physiology Queens College, NY.)

Copyright © 2001 Lippincott Williams & Wilkins

McArdle et al., Exercise Physiology, 2004.

Metabolic Rate in a Resting Men

- **MR (kcal/min) = VO_2 (l/min) (Caloric Equivalent for the RQ)**
- **MR (kcal/min) = 0.25 (l/min) (4.82 kcal/lO_2)**
- **MR (kcal/min) = 1.2 kcal/min**

RQ = 0.82, 40% CHO & 60% Fat
Typical of Metabolism on Awakening in the AM

Determination of Respiratory Quotient (RQ = $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$)

- For glucose (a sugar)

$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6\ H_20$

RQ = 6/6 = 1.0

- For Trioleate (a fat)

$C_{57}H_{104}O_6 + 80\ O_2 \longrightarrow 57\ CO_2 + 52\ H_20$

RQ = 57/80 = 0.71

Non-Protein RQ and Substrate Partitioning

RQ	% CHO	% Fat
1.00	100	0
0.95	84	16
0.90	68	32
0.85	51	49
0.82	40	60
0.80	33	67
0.75	16	84
0.71	0	100

Zuntz and Schumburg, Modified by Lusk, 1924

Combustion of Foods and Body Stores

Food/ Body Store	kcal/liter O_2	kcal/gram	RQ
CHO	5.05	4.2	1.0
Fat	4.70	9.5	0.70
Protein	4.50	4.2	0.80
PA on Mixed Diet	4.82		0.82
Starving	4.70		0.70

PA is Postabsorptive

Metabolic Rate in a Resting Men

- MR (kcal/min) = $\dot{V}O_2$ (l/min) (Caloric Equivalent for the RQ)
- MR (kcal/min) = 0.25 (l/min) (4.82 kcal/lO_2)
- MR (kcal/min) = 1.2 kcal/min

RQ = 0.82, 40% CHO & 60% Fat
Typical of Metabolism on Awakening in the AM

Metabolic Rate in an Exercising Man

- MR (kcal/min) = $\dot{V}O_2$ (l/min) (Caloric Equivalent for the RQ)
- MR (kcal/min) = 4.0 (l/min) (5.05 kcal/l O_2)
- MR (kcal/min) = 20.2 kcal/min

RQ = 1.0, 100% CHO
Typical of Hard Exercise

Question: If the Preceding Data Were Obtained on the Same Person, What would be His/Her Metabolic Scope?

- Resting MR 1.2 kcal/min
- Exercise MR = 20.2 kcal/min
- Metabolic Scope = 16.8x

What was the Metabolic Scope of Olympian, the Obese, and Heart Patient ?

The Fick Relationship of Oxygen Transport Use

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q}\,(a\text{-}\bar{v})O_2$$

$$\dot{Q} = \dot{V}O_2/(a\text{-}\bar{v})O_2$$

where: $\dot{V}O_2$ is O_2 consumption
a is arterial O_2 Content
$\bar{v}$ is mixed venous O_2 Content

The Fick Relationship of Oxygen Transport Use

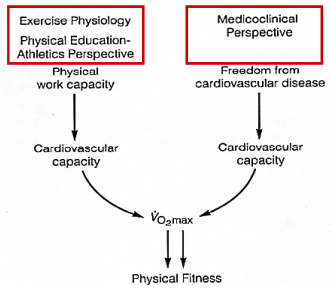
$\dot{V}O_2 = \dot{Q}\,(a\text{-}\bar{v})O_2$

$\dot{V}O_2$ = Flow (O_2 Extraction)

$\dot{V}O_2 = f$ Vs $(a\text{-}\bar{v})O_2$

$\dot{V}O_2$ = (Heart Rate) (Stroke Volume) (O_2 Extraction)

Why VO_2max is Considered to Be the Standard of Physical Fitness



Brooks et al., Exercise Physiology, 2004.

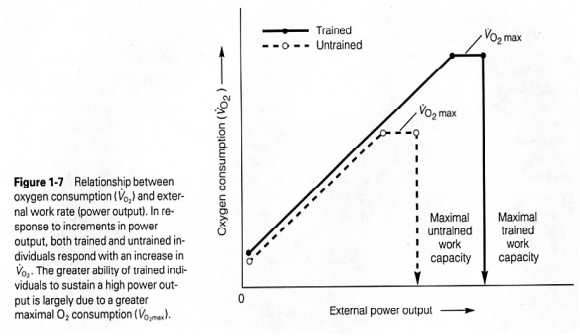
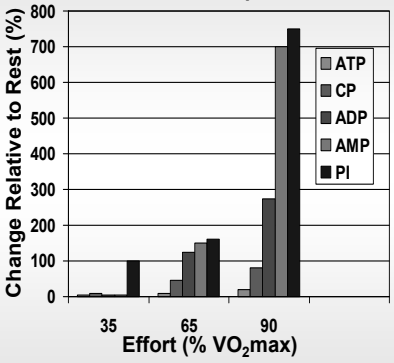


Figure 1-7 Relationship between oxygen consumption ($\dot{V}_{O_2}$) and external work rate (power output). In response to increments in power output, both trained and untrained individuals respond with an increase in $\dot{V}_{O_2}$. The greater ability of trained individuals to sustain a high power output is largely due to a greater maximal O_2 consumption ($\dot{V}_{O_2max}$).

Brooks et al., Exercise Physiology, 2004.

Relative Changes in Concentrations of Phosphagens And Related Compounds

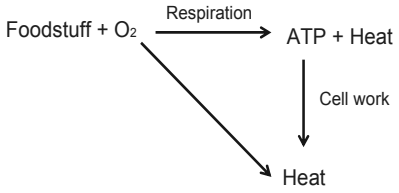


Spriet, Howlett, and Heigenhauser, MSSE, 2000.

Definitions of Metabolism

- Functional: the sum of all transformations of energy and matter that occur in a living organism.
- Operational: rate of energy turnover (heat production).

Metabolism and Heat Production

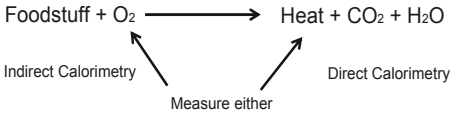


Measuring heat production (Calorimetry) gives the metabolic rate.

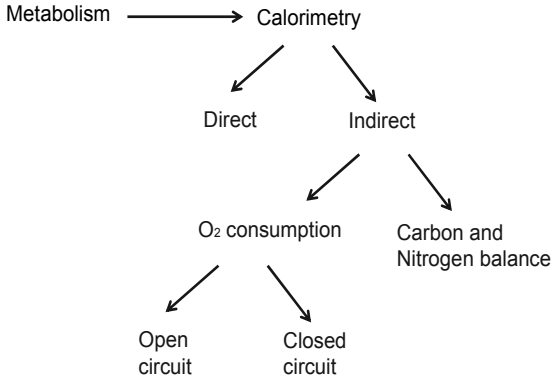
Measurement of Metabolic Rate

- Metabolism is the rate of heat production.
- The calorie (cal or kcal) is the unit of heat production
- Measurement of metabolic rate is referred to as “calorimetry”.

Techniques of Calorimetry



- Direct Calorimetry: Measuring heat production is very difficult with difficulties in determining both heat release and retention.
- Indirect Calorimetry: Measuring something directly related to metabolism (e.g., O_2 consumption or CO_2 production, N_2 balance).



Utility of Indirect Calorimetry

- Laboratory, Clinic or Field Applications
- Estimates of Metabolic Rate
- Estimates of Energy Substrate Partitioning (i.e., % CHO/% fat)
- Estimates of Muscle Efficiency

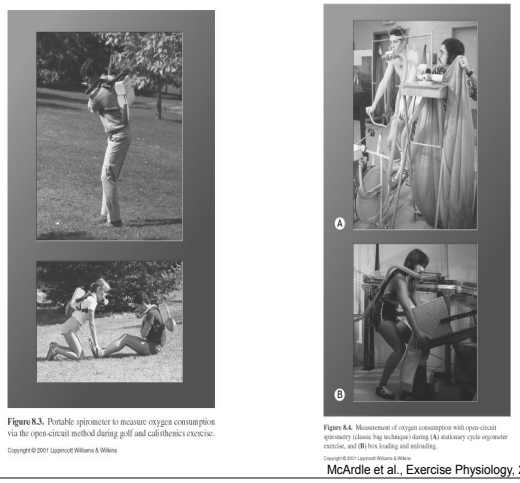


Figure 8.3. Portable spirometer to measure oxygen consumption via the open-circuit method during golf and calisthenics exercise.

Figure 8.4. Measurement of oxygen consumption with open-circuit spirometry (classic bag technique) during (A) stationary cycle ergometer exercise, and (B) box loading and unloading.

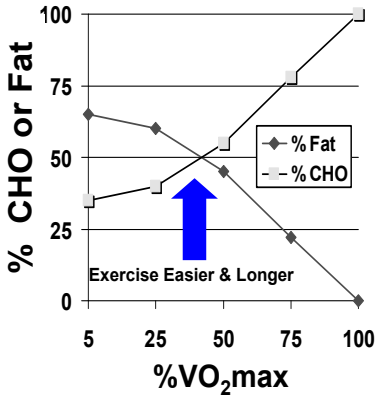
McArdle et al., Exercise Physiology, 2004

Metabolic Rate in an Exercising Man

- MR (kcal/min) = VO_2 (l/min) (Caloric Equivalent for the RQ)
- MR (kcal/min) = 4.0 (l/min) (5.05 kcal/l O_2)
- MR (kcal/min) = 20.2 kcal/min

RQ = 1.0, 100% CHO
Typical of Hard Exercise

Crossover Concept



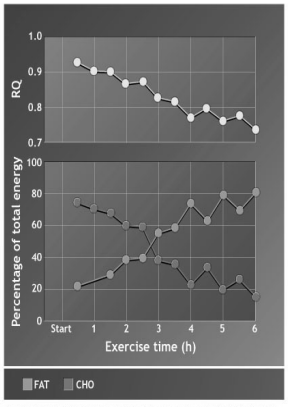


Figure 1.18. Classic 1934 study showing the relationship between respiratory quotient (RQ) and substrate use during long-duration, submaximal exercise. *Top*: Progressive reduction in RQ at an oxygen consumption of 2.36 L · min^{-1} during 6 hours of continuous exercise. *Bottom*: Percentage of energy derived from carbohydrate and fat (1 kcal: 5.4 2 kJ). (Modified from Edwards HT, et al. Metabolic rate, blood sugar and utilization of carbohydrate. Am J Physiol 1934;108:203.)

Copyright © 2001 Lippincott Williams & Wilkins

McArdle et al., Exercise Physiology, 2004

발 형태에 따른 계단 내리기 마지막 스텝의 운동학·운동역학 변인의 차이

조혜영 이화여자대학교

목차

- 서론
  - 선행연구
  - 연구의 필요성
- 연구방법
  - 연구대상
  - 실험장비
  - 실험절차
  - 자료분석
  - 자료처리
- 결과
- 결론 및 제언
- 참고문헌

계단 보행

계단보행

- 공간적 제한이 있는 현대 도시 생활에서 계단보행은 일상생활을 통해 평지 보행 다음으로 빈번하게 이루어지는 활동
- 버스나 지하철 등과 같은 공공 교통수단을 이용할 때에도 계단은 필수적

계단 보행과 관련된 다양한 연구

- 계단 오르기와 내리기 동작 시 하지분절의 보행형태와 EMG 분석 (김유진, 김은정, 서충진, 2006)
- 성인 계단보행 시 계단 너비에 따른 하지의 운동역학적 분석 (전현민, 류지선, 2008)
- 노인 하지근력 불균형에 따른 보행과 계단 내리기 보행의 변인 분석 (박양선, 이성노, 2012)
- 여성의 버스계단 내리기 시 구두 힐과 계단높이에 따른 보행자세의 운동역학적 비교분석 (류재청, 현승현, 2013)

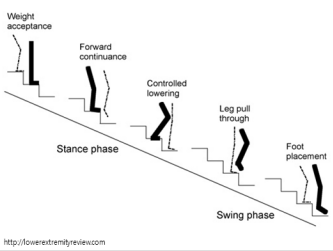
계단 내리기

Zachazewski, Riley, & Krebs (1993)

- 계단을 내려갈 때에는 올라갈 때보다 한발로 지지하는 비율↑ · 양발로 지지하는 비율↓

Startzell, Owens, Mulfinger, & Cavanagh (2000)

- 계단 오르기보다 내리기 시에 낙상에 대한 가능성이 3배 이상



연구의 필요성

- 발 유형에 대한 연구

- 전체 인구의 60%가 정상족, 20%는 편평족, 20%는 요족 (Subotnick, 1975)

- 여대생의 56%가 발 변형 (이경옥, 김남희, 김유련, 2011)

- 신발을 신고 보행하는 시간이 길어지면서 발의 변형도 증가 (Lee, 2000)

- 계단관련 선행 연구들은 발의 형태에 대한 언급 부족
- 발 형태를 구분한 준거를 밝히지 않음

발 유형에 따른 평지 보행의 운동역학적 차이

(김혜림, 2013)

편평족

- 골반, 엉덩이, 무릎관절의 굴곡·신전 각이 크게 나타남.
- 보행 시 초기에 제동을 걸어주는 제동기에서 편평족이 가장 적은 힘을 나타냄.
- 전두면에서 편평족은 무릎 관절을 제외한 나머지 관절에서 내외전각이 크게 나타남.

정상족

- 발의 내.외측에 발생하는 모든 운동량이 가장 높음.
- 발목관절에서 내회전각이 크게 나타남.

연구목적

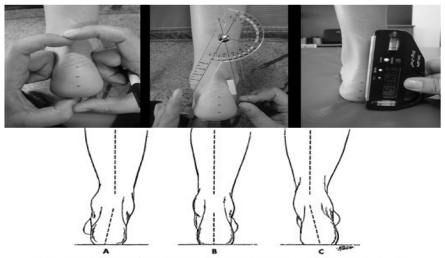
연구 목적

- 발 형태에 따른 계단 내리기 마지막 착지 시에 나타나는 운동학, 운동역학적 차이를 규명
- 이를 통하여 발 형태에 따른 계단 내리기 시 불편감, 통증, 혹은 상해의 위험을 줄이기 위한 메커니즘을 설명하기 위한 기초자료를 제공
- 노인 계단 보행을 위한 운동 프로그램 개발의 기초자료 제공

연구대상

RCSP(Resting Calcaneal Stance Position) 분류

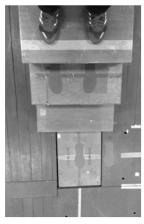
	n	RCSP	연령(yr)	신장(cm)	체중(kg)
편평족(Pronator)	3	-5±1(Lt.)	20.33±4.73	163.67±7.1	51.33±4.73
정상족(Normal)	3	0(Lt.)	20.33±1.53	106±3.61	60.33±10.41
요족(Supinator)	2	+6±1.4(Rt.)	20.5±3.54	162.5±12.02	59.5±7.78



Supination : ≥+3˚ Normal : ±2˚ Pronation : ≤-3˚

실험장비

실험장비



- 계단
(한국표준과학연구소에서 제시하고 있는 폭 90cm, 디딤면 최소 23cm, 높이 최소 18cm의 규격)
- 지면반력 측정기
(Kistler 9281B)
- 카메라
(MV900F, Samsung)
: 30frame/sec

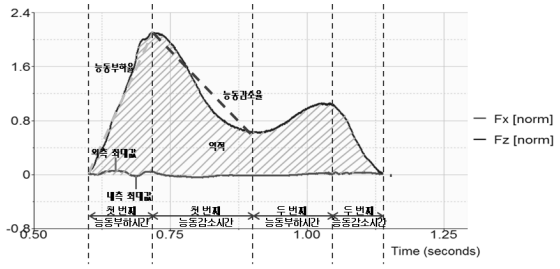
실험절차

I. 신발의 종류에 의한 오차를 없애기 위해 맨발로 시행
II. 영상 분석을 위해 하지의 관절중심점(상전장골극, 엉덩관절, 무릎 바깥쪽 관절융기, 외측복사뼈, 5th 중족골두)에 마커 표시
III. 총 15회를 실시하여 전문가와 피험자가 가장 자연스러운 동작이라고 의견이 모아진 5회의 동작을 채택

자료분석

자료분석

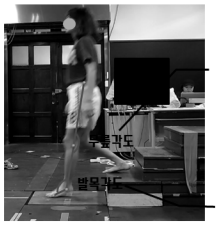
- 지면 반력 수직(Z)방향 : 능동 부하율 · 감소율 · 역적 분석
- 지면 반력 좌우(X)방향 : 외측 최대값 · 내측 최대값 분석
- 영상 분석 : 마지막 계단 내리기 착지 시 발목 각도 · 무릎 각도 분석



지면반력 분석 변인

자료분석

- 자료분석
  - 지면 반력 수직(Z)방향 : 능동 부하율 · 감소율 · 역적 분석
  - 지면 반력 좌우(X)방향 : 외측 최대값 · 내측 최대값 분석
  - 영상 분석 : 마지막 계단 내리기 착지 시 발목 각도 · 무릎 각도 분석



상전장골극-무릎 바깥쪽관절융기-외측복사뼈를 잇는 무릎의 상대각

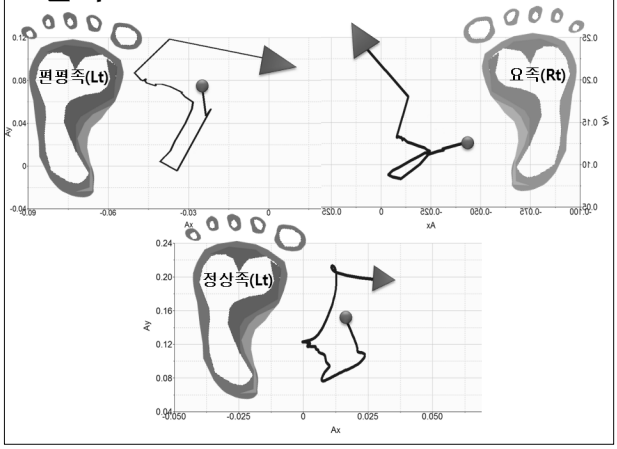
무릎 바깥쪽관절융기-외측복사뼈-5th 중족골두를 잇는 발목의 상대각

영상분석 변인

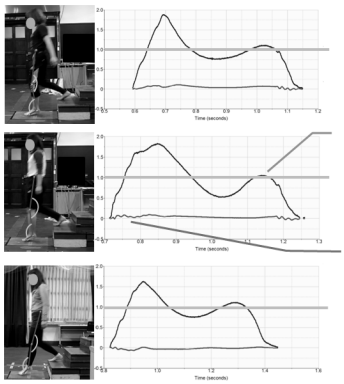
자료처리

- COP(Center of Pressure) Pattern 분석
  - 발 형태별 COP pattern 형태 분석을 통한 좌우·앞뒤 방향 분석
- 통계처리
  - SPSS 18.0을 사용하여 일원배치분산분석(ANOVA : One-way Analysis of Variance)을 실시
  - 사후분석은 LSD 분석을 사용 (유의수준 α=.05)

결과 - COP Pattern



결과



정상족 영상분석과 지면반력 그래프

지면에 닿는 면적이 가장 많은 편평족의 특성 상 접차 힘을 분산시켜 두 번째 능동 최대 힘이 낮게 나타남.

편평족 영상분석과 지면반력 그래프

편평족이 내외측 움직임 범위가 넓으며, 좌우 움직임이 많음.

요족 영상분석과 지면반력 그래프

결과

	발유형	n	M±SD	F	p	post-hoc
수직방향 능동 부하율(BW)	평족	15	23.38±8.12	7.67	.002 *	평족>정상 평족>요족
	정상	10	14.68±2.47			
	요족	15	17.00±4.71			
수직방향 능동 감소율(BW)	평족	15	-7.05±1.14	1.46	.245	-
	정상	10	-6.03±1.98			
	요족	15	-6.56±1.36			
수직방향 역적(BW*t)	평족	15	0.51±0.05	5.76	.007 *	정상>평족 요족>평족
	정상	10	0.55±0.01			
	요족	15	0.55±0.02			
외측방향 최대값 (BW)	평족	15	0.13±0.04	15.13	.000 *	평족>정상 요족>정상
	정상	10	0.07±0.02			
	요족	15	0.11±0.02			
내측방향 최대값 (BW)	평족	15	0.08±0.06	7.36	.002 *	평족>정상 평족>요족
	정상	10	0.03±0.02			
	요족	15	0.03±0.02			
무릎 각도(°)	평족	15	168.80±3.08	2.37	.108	-
	정상	10	170.20±3.52			
	요족	15	171.67±4.12			
발목 각도(°)	평족	15	124.93±8.15	4.75	.015 *	정상>평족 정상>요족
	정상	10	133.60±9.12			
	요족	15	125.47±5.28			

결과

운동학적 분석 – 영상분석 결과

- 무릎 각도 : 발 형태에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다.
- 발목 각도 : 정상족이 편평족과 요족보다 유의하게 크다(p<.05).

운동역학적 분석 – 지면반력 결과

- 수직 힘의 능동 부하율 : 편평족이 정상족이나 요족보다 유의하게 높다(p<.05).
- 수직 힘의 능동 감소율 : 발 형태에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다.
- 역적 : 정상족과 요족이 편평족보다 유의하게 높다(p<.05).
- 좌우 방향의 외측 최대값 : 요족과 편평족이 정상보다 유의하게 높다(p<.05).
- 좌우 방향의 내측 최대값 : 편평족이 정상족과 요족보다 유의하게 높다(p<.05).

결론 및 제언

요족

- 수직방향의 역적(BW*t)이 편평족보다 높게 나타남.
  - 편평족보다 큰 힘을 받음.
- 외측방향의 최대값이 정상보다 높게 나타남.
  - 정상족보다 외측 방향으로 더 많이 디딤.
- 발목의 각도는 정상보다 작게 나타남.
  - 정상족보다 발목을 많이 사용하지 않음.
  - 정면에서 보았을 때, 외측으로 발목이 supination됐을 것으로 예상됨.

결론 및 제언

정상족

- 수직방향의 역적(BW*t)이 편평족보다 높게 나타남.
  - 편평족보다 큰 힘을 받음.
- 외측방향의 최대값이 편평족이나 요족보다 낮게 나타남.
  - 바깥 방향으로 발목을 염좌 가능성이 다른 발 유형보다 적을 것으로 예상됨.
- 발목 각도가 평족과 요족보다 크게 나타남.
  - 발목관절의 저측 굴곡을 가장 크게 이용함.

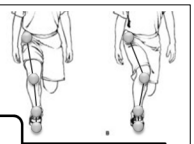
결론 및 제언

편평족

- 발목이 내측으로 회전된 상태임.
- 계단 내리기 시 발이 지면에 닿는 순간 발목 움직임에 제한
- 발바닥에 순간적으로 큰 힘이 가해질 때 보상작용으로 무릎을 비교적 많이 굽히며, 좌우 회전력이 큼.

➢ <u>따라서 편평족은 다른 발 유형보다 장시간 계단 내리기 보행 시 피로가 더 할 수 있음.</u>

결론 및 제언



추후 연구 과제

- 계단 내리기 착지 시 시상면에서의 하지 관절의 운동학적 분석뿐만 아니라 관상면에서의 움직임에 대한 분석
- 계단 내리기 동작도 오른발과 왼발이 번갈아 가며 움직이는 것이므로 스텝을 하는 동안의 위에 있는 다리의 3차원 운동학적 분석
- 피로도에 따른 계단 오르내리기 분석

참고문헌

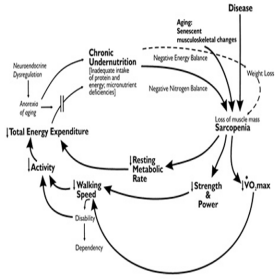
- 김유신, 김은정, 서충진(2006). 계단 오르기와 내리기 동작 시 하지분절의 보행 형태 및 EMG 비교분석. **한국체육학회지**, 45(4), 535-545.
- 김혜림(2013). 발 유형과 운동화 종류가 보행의 운동역학에 미치는 영향. 이화여자대학교 대학원. 석사학위논문.
- 이경옥, 김남희, 김유련(2012). 전공과 좌우 양 발에 따른 여대생의 발 유형 분석. **한국운동역학회지**, 22(2), 229-236.
- 전현민, 류지선(2008). 성인 계단보행 시 계단 너비에 따른 하지의 운동역학적 분석. **한국운동역학회지**, 18(4), 161-169.
- Lee W C.(2000). Surgery of the foot. Seoul; Koonja, p.29-72.
- Startzell, J. K., Owens, D. A., Mulfinger, L. M., & Cavanagh, R. R.(2000). Stair negotiation in older people: A review. *Journal of American Geriatrics Society*, 48(5), 567-580.
- Subotnick SI.(1975).*Podiatric Sports Medicine Pediatric Medicine and Surgery Series*. New York:FoturaPublishingCompany
- Zachazewski, J. E., Riley, P. O., & Krebs, D. E.(1993). Biomechanical analysis of body mass transfer during stair ascent and descent of healthy subject. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 30(4), 412-422.

The effects of exercise for frail elderly

송 욱 서울대학교

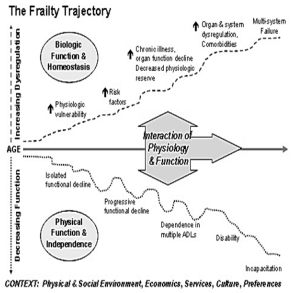
■ What is the Frailty?

- Frailty is considered to be highly prevalent with increasing age and to confer high risk for adverse health outcomes, including mortality, institutionalization, falls, and hospitalization (Fried et al., 2001)



Cycle of Frailty (Fried et al., 2001)

■ What is the Frailty?



The Frailty Trajectory (Deborah, 2009)

■ Frailty's diagnosis

- Frailty is based on a phenotype of 5 characteristics, **any 3 of which mark frailty**,

1-2 mark prefail or intermediate frailty (Fried et al., 2001)

Table. Criteria used to define physical frailty (Adapted from Fried et al., 2001, pp.M156 and Walston et al., 2006)

One must have 3 of the 5 following criteria for frailty, 2 for intermediate frailty, and 1 for prefrail				
Frailty Criteria	**Male**		**Female**	
15 foot walk time-"slowness"	Height < 173 Height < 173	> 7 seconds > 6 seconds	Height < 159 Height > 159	> 7 seconds > 6 seconds
Hand grip strength-"weakness"	BMI < 24 BMI 24.1-26 BMI 26.1-28 BMI > 28	< 29 < 30 < 30 < 32	BMI < 23 BMI 23.1-26 BMI 26.1-29 BMI > 29	< 17 < 17.3 < 18 < 21
Unintentional weight loss-"shrinking"	Greater than 10 lbs (4.54kg) or 5% weight loss in the last year not due to dieting or exercise			
Physical activity-"low activity"	< 383 kcal/wk		< 270 kcal/wk	
Exhaustion-"fatigue"	A score of 2 or 3 on either question of the CES-D (Center for Epidemiological Studies-Depression Scale, CES-D) How often in the last week did you feel this way? 0 = 1 day, 1 = 1-2 days, 2 = 2-3-4 days, 3 = more than 4 days			

■ Epidemiology of Frailty – related to BMI

Journals of Gerontology: MEDICAL SCIENCES
Cite journal as: J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2014 January;69(1):73–79
doi:10.1093/gerona/glt057

© The Author 2013. Published by Oxford University Press on behalf of The Gerontological Society of America.
All rights reserved. For permissions, please e-mail: journals.permissions@oup.com.
Advance Access publication May 2, 2013

Midlife Obesity and Risk of Frailty in Old Age During a 22-Year Follow-up in Men and Women: The Mini-Finland Follow-up Survey

Sari Stenholm,[1] Timo E. Strandberg,[2,3] Kaisu Pitkälä,[4] Päivi Sainio,[1] Markku Heliövaara,[1] and Seppo Koskinen[1]

- The common clinical perception of frail person is small and thin.
- However, recent cross-sectional studies have detected **a new subgroup of frail persons — fat and frail**

- The aim of this study was to examine the **predictive role of midlife overweight and obesity on development of frailty over 22-year follow-up**

- Subjects: **1,122 persons** (follow-up time: 22.2 years (1978-2001)) - in Finland follow-up survey
  aged 30-75 years at baseline (median age 42 years)
- Category: Normal weight (BMI < 25kg/m^2), Overweight (BMI 25-29.9kg/m^2), Obesity (BMI ≥ 30kg/m^2)

■ Epidemiology of Frailty – related to BMI

The association between Body Mass Index (BMI) and frailty

Table 2. Baseline Body Mass Index as a Predictor of Frailty Status at 22-Year Follow-up

	Pre-frail		Frail	
	OR	95% CI	OR	95% CI
Model 1 - Adjusted for age, sex, education, smoking, alcohol use, physical activity				
BMI				
<25	1.00		1.00	
25–29.9	1.46	1.09, 1.95	2.52	1.28, 5.00
≥30	2.47	1.50, 4.07	5.43	2.13, 13.80
Model 2 - **Model 1** + adjusted for hypertension, coronary heart disease, other cardiovascular disease, diabetes, osteoarthritis, inflammatory arthritis, Chronic mental disorder				
BMI				
<25	1.00		1.00	
25–29.9	1.45	1.08, 1.96	2.49	1.22, 5.06
≥30	2.36	1.41, 3.93	5.02	1.89, 13.33

Notes: OR = odds ratio; CI = confidence interval (multinomial logistic regression analysis).
Model 1: Adjusted for age, sex, education, smoking, alcohol use, and physical activity. Model 2: Model 1 + adjusted for hypertension, coronary heart disease, other cardiovascular diseases, diabetes, osteoarthritis, inflammatory arthritis, and chronic mental disorder.

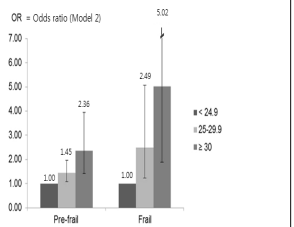


Figure 1. The association between baseline body mass index and frailty status at 22 year follow-up based on multinomial logistic regression analysis. Models were adjusted for age, sex, education, smoking, alcohol use, physical activity, and chronic conditions.

→ Based on a 22-year follow-up study, midlife obesity was associated with development of frailty in old age.
Preventing weight gain among middle-aged may help to prevent or delay the onset of frailty

■ Epidemiology of Frailty – related to Frailty Index (FI) and age

Eur J Epidemiol
DOI 10.1007/s10654-011-9691-6

Frailty prevalence and 10-year survival in community-dwelling older adults: results from the ESTHER cohort study

Kai-Uwe Saum · Aida Karina Dieffenbach · Heiko Müller · Bernd Holleczek · Klaus Hauer · Hermann Brenner

- This study aimed to use the accumulation of deficits approach to examine prevalence of frailty at baseline by age and sex, and its association with 10-year mortality in a large cohort study of initially 50–75 year old adults from Germany.
- Analysis: baseline data and follow-up data of the ESTHER study – a large population-based cohort study
- Subjects: **9,886 persons** (50-75 years old)

Baseline recruitment: July 2000 – December 2002 in Saarland, Germany

■ Epidemiology of Frailty – related to Frailty Index (FI) and age

The association between Frailty index and age

Table. Study sample characteristics by 5-year age group

	50–54	55–59	60–64	65–69	70–75
Sample size	1,706	1,679	2,691	2,265	1,545
Women (%)	56.5	55.2	54.2	54.5	54.8
Education* (%)					
≤9 years	66.8	69.9	79.4	78.2	75.1
10–11 years	19.2	17.6	10.7	11.4	15.2
≥12 years	14.0	12.5	9.9	10.4	9.7
Married* (%)	78.9	78.0	77.9	74.6	67.5
BMI*,† (%)					
Underweight	0.4	0.6	0.4	0.5	0.6
Normal range	31.7	30.2	24.9	24.2	26.2
Overweight	42.2	44.4	48.0	49.4	50.4
Obese	25.7	24.8	26.7	25.9	22.8
FI* (mean ± SD)	0.19 ± 0.13	0.23 ± 0.14	0.24 ± 0.14	0.26 ± 0.15	0.29 ± 0.16
Frailty categories* (%)					
Non-frail	62.9	50.9	47.1	42.3	33.6
Pre-frail	32.5	40.4	44.9	46.0	49.4
Frail	4.5	8.7	8.0	11.7	17.0

* ANOVA or Chi square test was statistically significant (p<0.05)
† Underweight (BMI<18.5), normal range (BMI<25), overweight (BMI<30), obese (BMI≥30)

- FI (frailty index): diseases, general health, difficulties in ADL, and IADL, symptoms
The index is expressed as ratio of the deficits present divided by the total number of deficits considered.

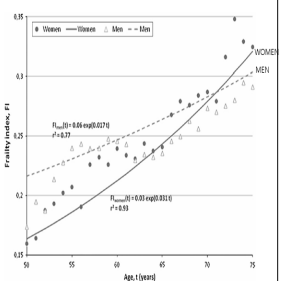


Fig. Age- and sex specific mean values of the frailty index by single year of age and best fitting sex specific regression lines

■ Epidemiology of Frailty – related to Frailty Index (FI) and age

The survival probability declined with increasing FI (frail index)

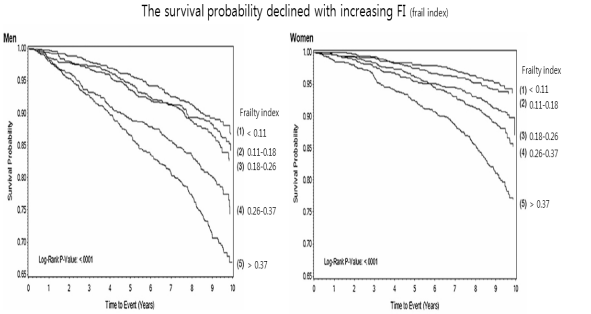
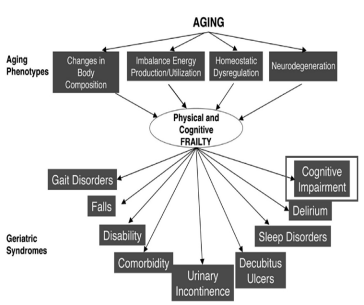


Fig. Survival probability over a 10-year period stratified by sex for quintiles of the frailty index
(1 =<0.11, 2 = 0.11–0.18, 3 = 0.18–0.26, 4 = 0.26–0.37, 5 =>0.37)

■ Epidemiology of Frailty – related to cognitive impairment



Relationship between aging, the aging phenotypes and the geriatric syndromes (Ferrucci et al., 2010)

■ Epidemiology of Frailty – related to cognitive impairment

International Psychogeriatrics (2014), 26:1, 155–163 © International Psychogeriatric Association 2013
doi:10.1017/S1041610213001804

Association of cognitive impairment with frailty in community-dwelling older adults

Eun Sook Han,[1,2,3] Yunhwan Lee[1,2] and Jinhee Kim[1,2]
[1] *Department of Preventive Medicine and Public Health, Ajou University School of Medicine, Suwon, Republic of Korea*
[2] *Institute on Aging, Ajou University Medical Center, Suwon, Republic of Korea*
[3] *Seoul National University Bundang Hospital, Seong-Nam, Republic of Korea*

- OBJECTIVES: To examine the association between cognitive function and frailty in community-dwelling older adults
- DATA: the 2008 Living Profiles of Older People Survey
- SETTING: 25 metropolitan and provincial (urban and rural)
- PARTICIPANTS: 10,388 (4,294 men and 6,094 women) ≥ aged 65 years living in the community in Korea

Table 2. Odds ratios (95% CI) of frailty status among older adults with cognitive impairment[a]: multinomial logistic regression analysis

	N	UNADJUSTED	ADJUSTED I[b]	ADJUSTED II[c]
Men				
Non-frail	2,200	1.00	1.00	1.00
Pre-frail	1,719	1.72 (1.43–2.06)***	1.74 (1.44–2.10)***	1.27 (1.04–1.55)*
Frail	375	4.44 (3.33–5.93)***	4.51 (3.31–6.15)***	1.81 (1.25–2.60)**
Women				
Non-frail	2,593	1.00	1.00	1.00
Pre-frail	2,894	1.50 (1.26–1.80)***	1.71 (1.42–2.06)***	1.25 (1.02–1.53)*
Frail	607	2.95 (2.28–3.81)***	3.58 (2.73–4.70)***	1.69 (1.25–2.30)**

Notes: [a]More than 1.5 standard deviation below the age-, gender-, and education-specific mean on the Mini-Mental State Examination (MMSE-KC).
[b]Adjusted for socio-demographic factors.- Age (65-74 vs. ≥75 years), sex, marital status, education, household income, employment
[c]Additionally adjusted for health behaviors and health status. - Current smoking, alcohol drinking, BMI, Depression(GDS), ADL, IADL, Comorbity
*p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001.

Exercise Intervention Study related to detraining

■ Exercise Intervention Study – Resistance exercise training

Journal of Aging and Physical Activity, 2010, 18, 401-424
© 2010 Human Kinetics, Inc.

The Effect of Functional Circuit Training on Physical Frailty in Frail Older Adults: A Randomized Controlled Trial

- OBJECTIVES:

① To determine the effect of a 12-week structured intervention program on reducing physical-frailty measures in a group of community-dwelling physically frail elderly individuals.

② To evaluate whether these improvements were sustained 6 months after the end of the training program.

Design: RCTs
Week 0 - baseline
Week 12 - training program end
Week 36 - follow up

PARTICIPANTS
Aged 80-90 years
in Barcelona, Spain

EXERCISE PROGRAM
2 times per week, 12-week
45 min per 1 session
Functional balance exercise
Lower body strength exercise

■ Exercise Intervention Study – Resistance exercise training

Journal of Aging and Physical Activity, 2010, 18, 401-424
© 2010 Human Kinetics, Inc.

Primary Outcome result – Physical-frailty test

Table. Primary Outcome Measures (Physical-Frailty Tests)

		FCT (n = 22)		Control (n = 19)				
Physical-frailty test	Interval	*M* (*SD*)	95% CI	*M* (*SD*)	95% CI	Effect tested	$p^{\ddagger}$	Contrasts[§]
Barthel Index (ADL)	W0	73.41 (2.35)	(68.67, 78.15)	70.79 (2.53)	(65.68, 75.89)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	Week 12= W12	70.32 (2.35)	(74.58, 84.06)	67.90 (2.53)	(62.79, 73.00)			W0–W36; *p* = .001
	Week 36= W36	77.0 (2.30)	(72.19, 81.80)	66.73 (2.73)	(61.26, 72.21)			W12–W36; *p* = .049
Rapid-gait test (s)	W0	11.73 (0.60)	(10.52, 12.93)	11.87 (0.65)	(10.57, 13.16)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	Week 12= W12	9.20 (0.60)	(7.99, 10.41)	12.59 (0.65)	(11.10, 13.69)			W0–W36; *p* < .001
	Week 36= W36	10.05 (0.62)	(8.82, 11.29)	12.76 (0.74)	(11.29, 14.23)			W12–W36; *p* = .031
Stand-up test (s)	W0	19.55 (0.71)	(18.12, 20.97)	17.05 (0.93)	(15.16, 18.93)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	Week 12= W12	15.55 (0.66)	(14.21, 16.89)	17.93 (0.92)	(16.07, 19.79)			W0–W36; *p* = .002
	Week 36= W36	17.81 (0.68)	(16.43, 19.18)	17.47 (1.08)	(15.31, 19.63)			W12–W36; *p* < .001

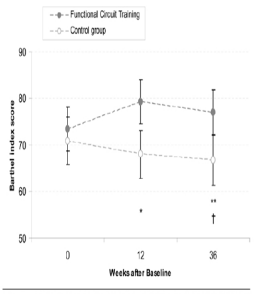


Figure 2 — Changes in the Barthel Index score from Week 0 (baseline) to end of the study, *M* ± *SD*. Significant group-by-time interactions were noted ($p < .05$). *Baseline to Week 12 interaction. **Baseline to Week 36 interaction. †Week 12 to Week 36 interaction.

■ Exercise Intervention Study – Resistance exercise training

Journal of Aging and Physical Activity, 2010, 18, 401-424
© 2010 Human Kinetics, Inc.

Primary Outcome result – Physical-frailty test

Table. Primary Outcome Measures (Physical-Frailty Tests)

		FCT (n = 22)		Control (n = 19)				
Physical-frailty test	Interval	*M* (*SD*)	95% CI	*M* (*SD*)	95% CI	Effect tested	$p^{\ddagger}$	Contrasts[§]
Barthel Index (ADL)	W0	73.41 (2.35)	(68.67, 78.15)	70.79 (2.53)	(65.68, 75.89)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	Week 12= W12	70.32 (2.35)	(74.58, 84.06)	67.90 (2.53)	(62.79, 73.00)			W0–W36; *p* = .001
	Week 36= W36	77.0 (2.30)	(72.19, 81.80)	66.73 (2.73)	(61.26, 72.21)			W12–W36; *p* = .049
Rapid-gait test (s)	W0	11.73 (0.60)	(10.52, 12.93)	11.87 (0.65)	(10.57, 13.16)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	Week 12= W12	9.20 (0.60)	(7.99, 10.41)	12.59 (0.65)	(11.10, 13.69)			W0–W36; *p* < .001
	Week 36= W36	10.05 (0.62)	(8.82, 11.29)	12.76 (0.74)	(11.29, 14.23)			W12–W36; *p* = .031
Stand-up test (s)	W0	19.55 (0.71)	(18.12, 20.97)	17.05 (0.93)	(15.16, 18.93)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	Week 12= W12	15.55 (0.66)	(14.21, 16.89)	17.93 (0.92)	(16.07, 19.79)			W0–W36; *p* = .002
	Week 36= W36	17.81 (0.68)	(16.43, 19.18)	17.47 (1.08)	(15.31, 19.63)			W12–W36; *p* < .001

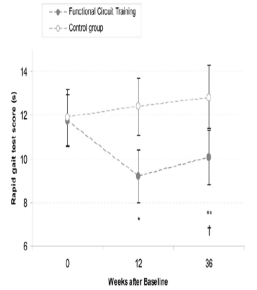


Figure 3 — Changes in the rapid-gait-test score from Week 0 (baseline) to end of the study, *M* ± *SD*. Significant group-by-time interactions were noted ($p < .05$). *Baseline to Week 12 interaction. **Baseline to Week 36 interaction. †Week 12 to Week 36 interaction.

■ Exercise Intervention Study – Resistance exercise training

Journal of Aging and Physical Activity, 2010, 18, 401-424
© 2010 Human Kinetics, Inc.

Primary Outcome result – Physical-frailty test

Table. Primary Outcome Measures (Physical-Frailty Tests)

		FCT (n = 22)		Control (n = 19)				
Physical-frailty test	Interval	*M* (*SD*)	95% CI	*M* (*SD*)	95% CI	Effect tested	$p^{\ddagger}$	Contrasts[§]
Barthel Index (ADL)	W0	73.41 (2.35)	(68.67, 78.15)	70.79 (2.53)	(65.68, 75.89)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	Week 12= W12	70.32 (2.35)	(74.58, 84.06)	67.90 (2.53)	(62.79, 73.00)			W0–W36; *p* = .001
	Week 36= W36	77.0 (2.30)	(72.19, 81.80)	66.73 (2.73)	(61.26, 72.21)			W12–W36; *p* = .049
Rapid-gait test (s)	W0	11.73 (0.60)	(10.52, 12.93)	11.87 (0.65)	(10.57, 13.16)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	Week 12= W12	9.20 (0.60)	(7.99, 10.41)	12.59 (0.65)	(11.10, 13.69)			W0–W36; *p* < .001
	Week 36= W36	10.05 (0.62)	(8.82, 11.29)	12.76 (0.74)	(11.29, 14.23)			W12–W36; *p* = .031
Stand-up test (s)	W0	19.55 (0.71)	(18.12, 20.97)	17.05 (0.93)	(15.16, 18.93)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	Week 12= W12	15.55 (0.66)	(14.21, 16.89)	17.93 (0.92)	(16.07, 19.79)			W0–W36; *p* = .002
	Week 36= W36	17.81 (0.68)	(16.43, 19.18)	17.47 (1.08)	(15.31, 19.63)			W12–W36; *p* < .001

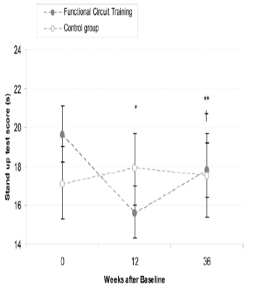


Figure 4 — Changes in the stand-up-test score from Week 0 (baseline) to end of the study, *M* ± *SD*. Significant group-by-time interactions were noted ($p < .05$). *Baseline to Week 12 interaction. **Baseline to Week 36 interaction. †Week 12 to Week 36 interaction.

■ Exercise Intervention Study – Resistance exercise training

Journal of Aging and Physical Activity, 2010, 18, 401-424
© 2010 Human Kinetics, Inc.

Secondary Outcome result – total duration

Table 3 Secondary Outcome Measures (Measures of Balance, Gait, Timed Up-and-Go, and Strength)

		FCT (n = 22)		Control (n = 19)				
Variable	Interval	*M* (*SD*)	95% CI	*M* (*SD*)	95% CI	Effect tested	$p^{\ddagger}$	Contrasts[§]
Balance								
semitandem (s)	W0	6.67 (0.63)	(5.41, 7.93)	7.26 (0.68)	(5.91, 8.62)	Group × Time	.01	W0–W12; *p* < .001
	W12	9.27 (0.63)	(8.01, 10.53)	6.23 (0.68)	(4.88, 7.59)			W0–W36; *p* = .023
	W36	8.49 (0.68)	(7.13, 9.85)	4.34 (0.97)	(2.42, 6.26)			W12–W36; *p* = .096
tandem (s)	W0	3.21 (0.67)	(1.86, 4.56)	3.11 (0.73)	(1.66, 4.56)	Group × Time	.003	W0–W12; *p* < .001
	W12	6.60 (0.67)	(5.25, 7.95)	1.98 (0.73)	(0.52, 3.43)			W0–W36; *p* = .001
	W36	5.40 (0.72)	(3.97, 6.83)	1.64 (0.96)	(0.26, 3.55)			W12–W36; *p* = .131
single leg (s)	W0	2.39 (0.57)	(1.25, 3.53)	2.05 (0.62)	(0.82, 3.27)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	W12	6.60 (0.57)	(5.46, 7.74)	1.98 (0.62)	(0.75, 3.20)			W0–W36; *p* = .953
	W36	3.10 (0.64)	(1.83, 4.36)	0.38 (0.65)	(−1.51, 2.27)			W12–W36; *p* < .001
Gait								
normal speed (m/s)	W0	0.82 (0.04)	(0.75, 0.90)	0.82 (0.04)	(0.74, 0.91)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	W12	0.94 (0.04)	(0.86, 1.01)	0.80 (0.04)	(0.72, 0.88)			W0–W36; *p* = .005
	W36	0.88 (0.04)	(0.80, 0.95)	0.81 (0.04)	(0.72, 0.89)			W12–W36; *p* = .002

		FCT (n = 22)		Control (n = 19)				
Variable	Interval	*M* (*SD*)	95% CI	*M* (*SD*)	95% CI	Effect tested	$p^{\ddagger}$	Contrasts[§]
fast-speed (m/s)	W0	1.11 (0.06)	(1.00, 1.22)	1.13 (0.06)	(1.01, 1.26)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	W12	1.26 (0.06)	(1.17, 1.38)	1.07 (0.06)	(0.95, 1.20)			W0–W36; *p* < .001
	W36	1.23 (0.06)	(1.11, 1.34)	1.08 (0.07)	(0.95, 1.21)			W12–W36; *p* = .064
Modified timed up-and-go assessment questionnaire (ADL)	W0	9.32 (0.40)	(8.51, 10.13)	8.63 (0.44)	(7.76, 9.50)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	W12	11.82 (0.40)	(11.01, 12.63)	8.37 (0.44)	(7.50, 9.24)			W0–W36; *p* = .009
	W36	10.28 (0.42)	(9.43, 11.13)	8.37 (0.55)	(7.28, 9.47)			W12–W36; *p* < .001
total time (s)	W0	38.04 (1.32)	(32.38, 37.71)	39.34 (1.42)	(38.47, 44.21)	Group × Time	<.001	W0–W12; *p* < .001
	W12	35.04 (1.32)	(32.38, 37.71)	41.34 (1.42)	(38.47, 44.21)			W0–W36; *p* = .01
	W36	37.59 (1.32)	(34.83, 40.17)	41.95 (1.44)	(38.05, 43.86)			W12–W36; *p* < .001
stand-up (s)	W0	2.59 (0.17)	(2.26, 2.92)	2.91 (0.18)	(2.56, 3.27)	Group × Time	.001	W0–W12; *p* = .001
	W12	2.02 (0.17)	(1.69, 2.35)	3.10 (0.18)	(2.83, 3.54)			W0–W36; *p* = 1.0
	W36	2.55 (0.18)	(2.20, 2.91)	3.44 (0.25)	(2.95, 3.93)			W12–W36; *p* = .005

(continued)

■ Exercise Intervention Study – Resistance exercise training

Journal of Aging and Physical Activity, 2010, 18, 401-424
© 2010 Human Kinetics, Inc.

Secondary Outcome result – total duration

Variable	Interval	FCT (n = 22) M (SD)	95% CI	Control (n = 19) M (SD)	95% CI	Effect tested	$p^{\dagger}$	Contrasts[a]
Stair-kick time (s)	W0	3.00 (0.28)	(2.43, 3.57)	3.73 (0.31)	(3.12, 4.34)	Group × Time	.589	W0–W12; $p = .899$
	W12	2.80 (0.28)	(2.23, 3.37)	3.02 (0.31)	(2.21, 4.43)			W0–W36; $p = 1.0$
	W36	2.97 (0.30)	(2.38, 3.57)	3.86 (0.39)	(3.10, 4.62)			W12–W36; $p = 1.0$
Kick-8 m (s)	W0	14.76 (0.88)	(13.15, 16.37)	14.22 (0.86)	(12.48, 15.95)	Group × Time	<.001	W0–W12; $p < .001$
	W12	12.27 (0.88)	(10.66, 13.88)	14.75 (0.86)	(13.01, 16.48)			W0–W36; $p = .077$
	W36	13.90 (0.81)	(12.26, 15.54)	14.66 (0.95)	(12.76, 16.57)			W12–W36; $p < .001$
total time kick (s)	W0	24.29 (0.83)	(22.61, 25.95)	25.44 (0.80)	(23.84, 27.24)	Group × Time	<.001	W0–W12; $p = .001$
	W12	22.77 (0.83)	(21.10, 24.44)	26.59 (0.80)	(24.79, 28.39)			W0–W36; $p = .130$
	W36	23.40 (0.85)	(21.70, 25.11)	26.27 (1.01)	(24.26, 28.28)			W12–W36; $p = .424$

Variable	Interval	FCT (n = 22) M (SD)	95% CI	Control (n = 19) M (SD)	95% CI	Effect tested	$p^{\dagger}$	Contrasts[a]
Isometric dynamometry adjusted for body mass								
LKEXMVC (Nm/kg)	W0	0.77 (0.06)	(0.65, 0.88)	0.75 (0.06)	(0.63, 0.88)			W0–W12; $p < .001$
	W12	0.92 (0.06)	(0.80, 1.03)	0.73 (0.06)	(0.58, 0.85)	Group × Time	<.001	W0–W36; $p = .46$
	W36	0.82 (0.06)	(0.70, 0.94)	0.61 (0.07)	(0.47, 0.76)			W12–W36; $p = .051$

Note. CI = confidence interval; W0 = baseline; W12 = Week 12; W36 = Week 36; AU = arbitrary units; LKEXMVC = left knee-extensor maximal voluntary contraction. Means and standard deviations are reported for each secondary outcome measure at baseline and at Week 12 and Week 36 until completion of the study. Means were generated using participants with data for at least two time points for the outcome of interest. p values are based on linear mixed modeling.

[a] p values are interpreted from the results of comparisons between specific time points. When the p value interpreted is from the group-by-time interaction effect, the change between two time points for the two groups is compared. [†]Bonferroni post hoc tests were used with significant interactions ($p < .05$).

Exercise Intervention Study related to cognitive impairment

■ Exercise Intervention Study – Combined exercise (aerobic and resistance)

AGE (2014) 36:801–811
DOI 10.1007/s11357-013-9599-7

Positive effects of resistance training in frail elderly patients with dementia after long-term physical restraint

- OBJECTIVES:

① To investigate the effects of 8 weeks of multicomponent exercise intervention on muscle strength and functional outcomes in frail patients with dementia

② To evaluate the physical outcomes of these participants after 24 weeks of detraining

EXERCISE PROGRAM
the 1st part of the trial (1-4 wk)
gait, balance, cognitive exercise
the 2nd part of the trial (5-8 wk)
resistance training + 1st trial
Follow-up period (12-24 wk)
training cessation

PARTICIPANTS
≥ age 75 years,
diagnosis of dementia,
physical restraint,
fulfillment of Fried's criteria frailty

■ Exercise Intervention Study – Combine exercise (aerobic and resistance)

(E.L Cadore et al., 2014)

TUG test – result

Table 1 Functional and strength outcomes pre- and post-intervention and follow-up period (mean±SD)

	Exercise intervention group (n=18) and follow-up group (n=11)				
	Intervention period (n=18)			Follow-up period (n=11)	
	Pre-	Post-4 weeks of intervention	Post-8 weeks of intervention	12 weeks of detraining	24 weeks of detraining
Gait velocity (ms^{-1})	0.36±0.18	0.32±0.21	0.42±0.21	0.38±0.20*†	0.25±0.17*†$
TUG (s)	43.4±16.3	49.4±55.7	31.2±10.0*†	55.4±32.0*†	62.7±38.5*
Number of rises from a chair in 30 s	2.3±3.5	1.4±3.4	2.7±4.0	2.2±2.8	1.8±2.2
Balance	0.30±0.5	0.82±0.8*	0.80±0.7*	0.90±0.8	0.70±0.8
Gait velocity arithmetic task (ms^{-1})	0.27±0.21	0.28±0.24	0.29±0.17	0.18±0.14*†	0.17±0.12*†
Gait velocity verbal task (ms^{-1})	0.27±0.17	0.24±0.19	0.27±0.17	0.21±0.16*†	0.19±0.14*†
Incidence of falls	1.1±1.4	–	0.16±0.5*	0.30±0.60†	–
Barthes index	35.0±18.1	29.6±18.1	30.3±17.7	23.3±16.3*†	18.3±14.1*†
MMSE	15.1±6.3	15.6±6.7	15.9±7.1	12.6±4.2†	10.6±5.1*†$
Hand grip (kg)	11.9±4.6	12.9±5.8	13.8±5.2*	10.7±4.8*†	9.4±4.2*†$
Knee extension strength (kg)	14.3±5.9	15.7±5.5	17.2±4.5*	11.1±3.7*†	8.5±2.6*†$
Hip flexion strength (kg)	13.9±4.7	12.5±5.1	16.7±4.5*	11.0±2.9*†	9.0±2.0*†$
Leg press 1RM (kg)	33.5±13.4	31.4±15.6	43.9±16.4*	37.0±15.7	32.5±12.0†

*P < 0.05, significant difference from pre-training values; †P < 0.05, significant difference from post-8 weeks of training; $P < 0.05, significant difference from post-12 weeks of detraining

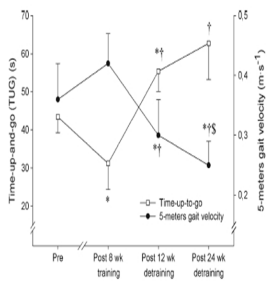


Figure. *Time-up-and-go (TUG) (s) and gait velocity tests (metresper second) (mean±SD) pre-, post-8 weeks of training, post- 12 weeks of detraining, and 24 weeks of detraining. Significant differences from pre-training values *(P<0.05) and significant difference from 8 weeks of training, †P<0.05

■ Exercise Intervention Study – Combine exercise (aerobic and resistance)

(E.L Cadore et al., 2014)

Table 1 Functional and strength outcomes pre- and post-intervention and follow-up period (mean±SD)

	Exercise intervention group (n=18) and follow-up group (n=11)				
	Intervention period (n=18)			Follow-up period (n=11)	
	Pre-	Post-4 weeks of intervention	Post-8 weeks of intervention	12 weeks of detraining	24 weeks of detraining
Gait velocity (ms^{-1})	0.36±0.18	0.32±0.21	0.42±0.21	0.38±0.20*†	0.25±0.17*†$
TUG (s)	43.4±16.3	49.4±55.7	31.2±10.0*†	55.4±32.0*†	62.7±38.5*
Number of rises from a chair in 30 s	2.3±3.5	1.4±3.4	2.7±4.0	2.2±2.8	1.8±2.2
Balance	0.30±0.5	0.82±0.8*	0.80±0.7*	0.90±0.8	0.70±0.8
Gait velocity arithmetic task (ms^{-1})	0.27±0.21	0.28±0.24	0.29±0.17	0.18±0.14*†	0.17±0.12*†
Gait velocity verbal task (ms^{-1})	0.27±0.17	0.24±0.19	0.27±0.17	0.21±0.16*†	0.19±0.14*†
Incidence of falls	1.1±1.4	–	0.16±0.5*	0.30±0.60†	–
Barthes index	35.0±18.1	29.6±18.1	30.3±17.7	23.3±16.3*†	18.3±14.1*†
MMSE	15.1±6.3	15.6±6.7	15.9±7.1	12.6±4.2†	10.6±5.1*†$
Hand grip (kg)	11.9±4.6	12.9±5.8	13.8±5.2*	10.7±4.8*†	9.4±4.2*†$
Knee extension strength (kg)	14.3±5.9	15.7±5.5	17.2±4.5*	11.1±3.7*†	8.5±2.6*†$
Hip flexion strength (kg)	13.9±4.7	12.5±5.1	16.7±4.5*	11.0±2.9*†	9.0±2.0*†$
Leg press 1RM (kg)	33.5±13.4	31.4±15.6	43.9±16.4*	37.0±15.7	32.5±12.0†

*P < 0.05, significant difference from pre-training values; †P < 0.05, significant difference from post-8 weeks of training; $P < 0.05, significant difference from post-12 weeks of detraining

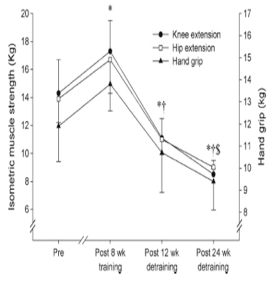


Figure. Knee extension, hand grip and hip flexion isometric strength (Kgf) (mean±SD) pre-, post-8 weeks of training, post-12 weeks of detraining and 24 weeks of detraining. Significant differences from pre-training values *P<0.05; significant difference from 8 weeks of training, †P<0.05 and significant difference from 12 weeks of detraining $P<0.05

■ Exercise Intervention Study - Aerobic / endurance exercise training

Langlois, F., Vu, T.T.M., Chassé, K., Dupuis, G., Kergoat, M.J., & Bherer, L., (2012). Benefits of physical exercise training on cognition and quality of life in frail older adults. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 68*(3), 400-404. doi:10.1093/geronb/gbs069. Advance Access publication August 28, 2012

Benefits of Physical Exercise Training on Cognition and Quality of Life in Frail Older Adults

PARTICIPANTS
≥ aged 65 years (n=83) in Montreal, Canada

EXERCISE PROGRAM
3 times a week, 12-week (1-h session)
aerobic workout

Main variables
Physical capacity
Cognitive performance
Quality of life

■ Exercise Intervention Study - Aerobic / endurance exercise training

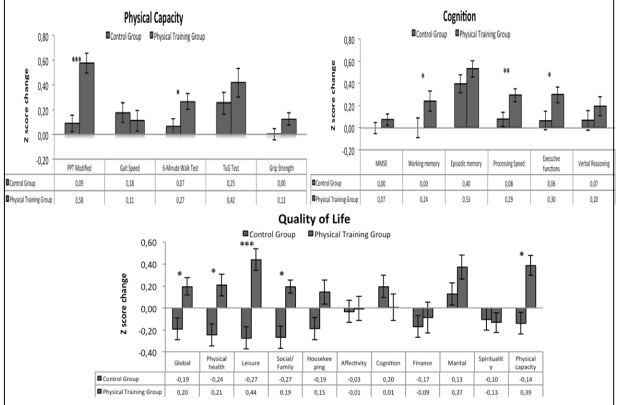


Figure. *Z* score change in the training and control groups for each measure of the three dimensions: physical capacity (top panel), cognition (middle panel), and quality of life (lower panel). *$p \leq .05$. **$p \leq .01$. ***$p \leq .001$.

Our lab's Exercise Intervention Study related to frailty

■ Our Lab's study related to frailty ① (HAHA study)

Effects of the elastic band training program on body composition, physical function and muscle quality in community-dwelling elderly women: a randomized controlled trial

- OBJECTIVES: To determine the effect of elastic band training of 18 weeks on **body composition, physical function and muscle quality** in community-dwelling elderly women
- SETTING: HAHA II (Healthy Aging and Happy Aging)
- DESIGN: A randomized controlled trial
- PARTICIPANTS: age ≥ 70 years community-dwelling sedentary women
- EXERCISE PROGRAM
  - **F(frequency)**: 2 times per week for 18-week (36 sessions)
  - **I(intensity)**: 10-20 reps/2-3 sets
  - **T(time)**: 60 min (5 min - warm up/cool down, 50 min - exercise)
  - **T(type)**: Elastic band training
- VARIABLES: body composition, muscle strength and quality, physical function (SPPB, sit & reach, and stair climbing time)

■ Our Lab's study related to frailty ①

Change in body composition measured by DXA after exercise intervention

Relative skeletal muscle mass = Appendicular skeletal muscle mass (ASM) (Sum of the masses arm and leg lean soft tissues from DXA)

$$\text{Muscle mass} = \frac{\text{ASM}}{\text{Height}^2\ (m^2)}$$

Table. Change in body composition after 18 weeks of elastic band training in elderly women

	Control group (CON, n = 19)		Exercise group (EX, n = 19)		Group × Time
	PRE	POST	PRE	POST	
Variable	Mean ± S.E.M.				*P*-value
Muscle mass, ASM/Height^2(m^2)	6.31 ± 0.12	6.29 ± 0.16	6.68 ± 0.23	6.78 ± 0.24	0.348
Fat free mass, kg	37.26 ± 0.63	37.65 ± 0.76	39.97 ± 1.54	40.57 ± 1.54	0.600
Total lean body mass, kg	35.41 ± 0.60	35.78 ± 0.72	38.03 ± 1.47	38.63 ± 1.47	0.595
Total fat mass, kg	18.90 ± 1.02	18.48 ± 1.02	17.18 ± 1.28	16.65 ± 1.29*	0.768

Group-by-time effect and *p* values were calculated by two-way ANOVA with repeated measurements.
*Significantly different within group (Pre vs. Post) and *p* values were calculated by paired *t*-test. Statistical significance was set at p<0.05.

Change in Physical Function after exercise intervention

Table. Change in physical function after 18 weeks of elastic band training in elderly women

	Control group (CON, n = 19)		Exercise group (EX, n = 19)		Group × Time
	PRE	POST	PRE	POST	
Variable	Mean ± S.E.M.				*P*-value
SPPB score, score	10.16 ± 0.35	9.68 ± 0.41	9.37 ± 0.47	10.42 ± 0.41***	0.002##
Stair climbing, sec	5.42 ± 0.14	5.24 ± 0.11*	6.18 ± 0.56	5.92 ± 0.50*	0.535
Sit and reach, cm	10.12 ± 1.15	8.85 ± 1.15**	9.01 ± 2.17	8.12 ± 2.01	0.560

*Significantly different within group (Pre vs. Post) and *p* values were calculated by paired *t*-test.
#Significantly different interaction (group × time) and *p* values were calculated by two-way ANOVA with repeated measurements.
Statistical significance was set at p<0.05.

■ Our Lab's study related to frailty ①

Change in lean body mass after exercise intervention

Table. Changes in lean body mass and muscle strength after 18 weeks of elastic band training in elderly women

	Control group (CON, n = 19)		Exercise group (EX, n = 19)		Group × Time
	PRE	POST	PRE	POST	
Variable	Mean ± S.E.M.				*P*-value
Arm lean mass, kg	1.83 ± 0.68	1.79 ± 0.71*	1.99 ± 0.11	2.03 ± 0.98	0.017#
Grip strength, kg	20.75 ± 1.02	20.25 ± 1.01	22.97 ± 1.21	21.73 ± 1.37**	0.630
Leg lean mass, kg	5.32 ± 0.11	5.35 ± 0.15	5.81 ± 0.25	5.90 ± 0.27	0.670
Leg extensor torque at 60 deg/sec, Nm	62.16 ± 4.82	53.42 ± 3.40*	66.00 ± 4.83	72.63 ± 5.11*	0.001##
Leg flexor torque at 60 deg/sec, Nm	37.58 ± 14.32	33.84 ± 12.40	43.05 ± 12.11	50.58 ± 12.44*	0.007##
Leg extensor torque at 120 deg/sec, Nm	46.42 ± 15.08	42.68 ± 14.92	47.53 ± 14.87	52.0 ± 17.34*	0.007##
Leg flexor torque at 120 deg/sec, Nm	34.67 ± 12.15	31.78 ± 12.38	34.32 ± 11.56	42.95 ± 9.87**	0.002##

*Significantly different within group (Pre vs. Post) and *p* values were calculated by pared *t* test.
#Significantly different interaction (group × time) and *p* values were calculated by two-way ANOVA with repeated measurements.
Statistical significance was set at p<0.05.

■ Our Lab's study related to frailty ①

- Muscle quality is more useful for estimating functional status (Metter et al., 1999)
- Decreased muscle quality is associated with decreased functional capacity and possibly with reductions in neuromuscular function in older adults (Carmeli et al. 2000)

▪ Muscle quality = $\frac{\text{Muscle strength}}{\text{Unit of muscle mass}}$

A Lower extremity muscle quality = $\frac{\text{Isokinetic Nm torque}}{\text{Leg lean mass (kg) by DXA}}$

B, C Upper extremity muscle quality = $\frac{\text{Grip strength (kg)}}{\text{Arm lean mass (kg) by DXA}}$

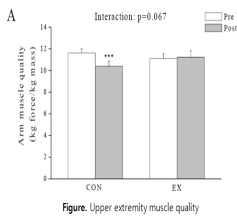


Figure. Upper extremity muscle quality

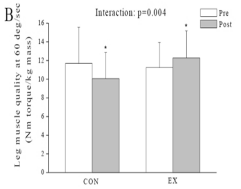


Figure. Lower extremity muscle quality at 60 deg/sec

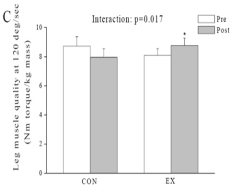


Figure. Lower extremity muscle quality at 120 deg/sec

■ Our Lab's study related to frailty ①

Association of muscle quality with SPPB score

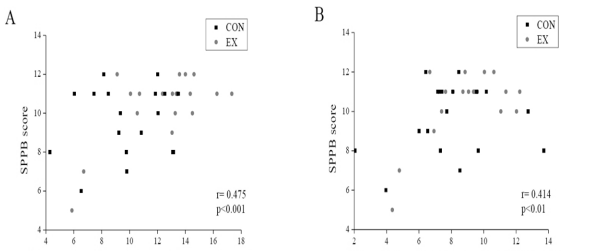


Figure. Correlation analysis between SPPB score and leg muscle quality at 60 deg/sec

Figure. Correlation analysis between SPPB score and leg muscle quality at 120 deg/sec

▪ Conclusion

- This exercise intervention might be an effective method to promote muscle strength and quality and prevent muscle atrophy in elderly women

■ Our Lab's study related to frailty ②

Korean J Health Promot (2014) – Article in press

Original Article

Effects of 12 Weeks High-speed Elastic Band Training on Cognitive Function, Physical Performance and Muscle Strength in Older Women with Mild Cognitive Impairment (MCI): A Randomized Controlled Trial

- OBJECTIVES: To investigate how high-speed elastic band training, applied using a high-speed power training protocol, affects cognitive function, physical performance and muscle strength of female elderly individuals with MCI

- DESIGN: A randomized controlled trial

- PARTICIPANTS: aged 65 years and older individuals with MCI from Y senior college in Seoul, South Korea

- EXERCISE PROGRAM (Adjusted ACSM 'FITT' principle)

F(frequency): 2 times per week for 12-week (Main exercise)

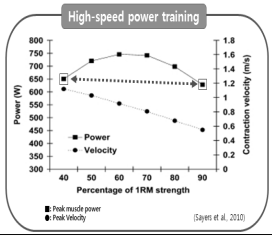
Ex-Group: 3 times per week → Home-based exercise

Con-Group: 1 time per week → Stretching

I(intensity): Band color - Green, 12-15 reps/3 sets, RPE 12-13

T(time): 60 min (10 min - warm up/cool down, 40 min - exercise)

T(type): High-speed elastic band training



■ Our Lab's study related to frailty ②

High-speed band exercise effect with MCI. Korean J Health Promot (2014) – Article in press

Cognitive function after intervention

Table. Effects of high-speed elastic band training on cognitive function

	Variables	Control group (n=7)		Exercise group (n=14)		*P*
		Before	After	Before	After	
DST-F: digit span test forward	DST-F	4.71±0.49	3.00±0.58[b]	4.86±0.95	7.00±0.88[c]	<0.001[e]
DST-B: digit span test backward	DST-B	2.00±1.00	1.43±0.54	2.43±0.85	3.79±0.43[c]	0.023[e]
ST A: stroop test A	ST A	11.43±4.72	10.14±3.76	12.21±6.99	13.57±6.17	NS
ST B: stroop test B	ST B	6.43±2.82	6.86±2.19	7.21±3.07	10.71±3.22[d]	0.031[e]

Abbreviations: DST, digit span test; F, forward; B, backward; ST, stroop test; NS, not significant.
[a]Values are presented as mean±SD.
[b]Calculated by Wilcoxon signed rank test, *P*=0.014, compared with Before Control group.
[c]Calculated by Wilcoxon signed rank test, *P*=0.001, compared with Before Exercise group.
[d]Calculated by Wilcoxon signed rank test, *P*=0.007, compared with Before Exercise group.
[e]Main effect calculated by Mann-Whitney U test.

Physical performance after intervention

Table. Effects of high-speed elastic band training on physical performance test

Variables	Control group (n=7)		Exercise group (n=14)		*P*
	Before	After	Before	After	
SPPB (score)	7.14±1.77	7.57±0.98	8.14±2.48	10.79±1.59[b]	0.010[d]
TUG (sec)	11.48±1.02	10.59±1.03	10.51±1.86	9.14±1.42[c]	NS

Abbreviations: SPPB, short physical performance battery; TUG, Timed Up and Go; NS, not significant.
[a]Values are presented as mean±SD.
[b]Calculated by Wilcoxon signed rank test, *P*=0.002, compared with Before Exercise group.
[c]Calculated by Wilcoxon signed rank test, *P*=0.004, compared with Before Exercise group.
[d]Main effect calculated by Mann-Whitney U test.

■ Our Lab's study related to frailty ②

High-speed band exercise effect with MCI. Korean J Health Promot (2014) – Article in press

Muscle strength after intervention

Table. Effects of high-speed elastic band training on muscle strength

Variables			Control group (n=7)		Exercise group (n=14)		*P*
			Before	After	Before	After	
60°/sec (Nm)	Knee extensor	Peak TQ (R)/BW	105.71±20.92	116.86±31.74	77.57±29.03	115.43±31.92[c]	0.004[e]
	Knee flexor	Peak TQ (R)/BW	74.86±17.44	58.14±18.00[b]	66.21±20.77	67.43±17.82	0.001[e]
180°/sec (Nm)	Knee extensor	Peak TQ (R)/BW	29.43±7.98	33.29±9.80[b]	28.71±12.63	39.29±11.45[c]	0.020[e]
	Knee flexor	Peak TQ (R)/BW	54.43±9.26	37.71±9.93[b]	44.14±14.49	36.02±15.11[d]	NS
Grip strength			17.69±1.91	18.99±1.81	19.26±3.57	24.01±4.14[c]	0.025[e]

Abbreviations: R, right; BW, body weight; TQ, torque; NS, not significant.
[a]Values are presented as mean±SD.
[b]Calculated by Wilcoxon signed rank test, *P*=0.018, compared with Before Control group.
[c]Calculated by Wilcoxon signed rank test, *P*=0.021, compared with Before Exercise group.
[d]Calculated by Wilcoxon signed rank test, *P*=0.041, compared with Before Exercise group.
[e]Main effect calculated by Mann-Whitney U test.

유전체와 운동

변재종 우송대학교

Ⅰ. 운동과학과 건강에 관련된 유전학의 역할

운동생리학자들은 여러 가지 운동자극에 대한 생리학적 반응이나 적응에 대해 많은 연구를 해오고 있으며, 이러한 실험의 결과는 평균으로 보고되고 있다. 그러나 평균으로 보고되는 연구결과들은 각 개인의 운동 반응과 적응 수준의 다양성을 설명하지 못하는 한계를 가지고 있다. 예를 들어 1999년에 실시된 Bouchard 등의 HERITAGE Family Study에 의하면 운동 훈련에 따른 최대 산소섭취량의 변화에 많은 개인차가 나타난다는 것을 보고하고 있다. 특히 주목할 만한 점은, 어떤 개인은 20주간의 운동프로그램 참가에도 불구하고 최대 산소섭취량의 변화가 없거나 아주 낮게 증가했으나 연구 결과는 20주간의 운동 후 평균 분당 400ml의 최대산소섭취량이 증가하였다고 보고하여 모든 사람이 운동 후 최대섭취량이 증가할 것으로 기대할 수 있는 오류를 범할 수도 있다는 점이다. 또한 Bouchard와 Rankinen(2001)의 연구에 의하면 유산소 운동에 의해 나타나는 개인별 혈압, 심박수, 그리고 고밀도 지단백(HDL-C) 콜레스테롤의 변화가 상당히 차이가 있다는 사실이다.

결론적으로, 운동자극에 의한 신체의 반응이나 적응에서 나타나는 다양함에도 그 결과를 평균치로 나타내는 것은 비논리적이라 할 수 있다. 이러한 개인차를 설명하기 위해 우리가 고려할 수 있는 중요한 요인은 3가지라 할 수 있는데 그것은 실험적 오류, 환경적 요소, 그리고 유전 요인이다. 이 중 실험적 오류나 환경적 요소는 과학기술이나 실험기술의 발달, 그리고 실험 설계나 통계 분석을 통해 많은 부분은 보정할 수 있으므로 운동의 결과로 나타나는 집단내에서의 개인차는 개개인이 소유한 유일한 유전 요인으로 설명될 수 있을 것이다. 이 점이 향후 운동과학 및 건강에 기여할 것으로 기대되는 유전학의 역할이라 생각된다.

Ⅱ. 운동 유전체학 (Kinesiogenomics)

운동 유전체학은 운동과 신체활동 처방과 관련된 유전학을 의미한다. 이 연구분야는 인간의 움직임을 연구한다는 의미를 가진 '운동학'이라는 원어에서 유래하였다. 운동훈련에 대한 다양한 표현형의 반응성이 운동 반응에

대한 유전적요인의 중요성을 뒷받침하고 있으며 이러한 유전적 요인들에 대한 확인이 운동유전체학의 영역이다. 즉 특별한 유전자 형질을 가진 개인들은 특이한 표현형에 대한 특별한 운동 중재에 매우 민감하고 아마도 어떤 표현형에서는 무반응하리라 예상된다. 예를 들어, 어떤 사람은 유산소 운동을 통한 훈련 후에 최대산소섭취량은 현저히 증가하는 반면 혈압의 조절에는 거의 반응을 보이지 않을 수 있다. 만약 이 사람이 고혈압 치료를 위해 병원에 갔다면, 유전적인 검사를 통해 혈압 표현형에 대한 운동 훈련이 거의 효과가 없음을 알게 됨으로써 처방되는 치료의 방법이 바뀌게 될 것이다. 즉, 운동 트레이닝을 통한 반응을 예측할 수 있는 유전적 요인을 안다는 것은 의학적 치료를 더욱 더 효율적으로 하는데 매우 유용할 것이다.

운동 처방에서 예상되는 유전학의 적용은 전형적으로 질환 위험인자를 개선하고 스포츠 수행 능력을 향상시키기 위한 최적의 운동 중재 수단을 찾는 것에 초점을 맞추게 될 것이다.

Ⅲ. 운동과 관련된 유전체에 관한 최근 연구 동향

1. 최근의 연구 성과에 대한 요약

운동유전체학 분야의 발전은 다른 유전체학의 발전과 마찬가지로 인간 게놈 염기서열이 일반화되기 시작한 시점인 약 2000년 이후에 가속화되었다. 예를 들어 2000년까지 지구성 운동수행력과 유전학 검사에 대한 논문이 20편 출간되었으며 근력 혹은 무산소성 파워 형질과 유전학에 대한 논문이 2편, 운동 훈련에 따른 혈중지질과 염증지표에 반응에 관련한 유적학 관련 논문이 8편 출간되었다. 하지만 이후 2005년 말까지 출간된 문헌들은 매우 광범위해졌으며 논문의 수도 각각의 다양한 영역에서 53편 23편 32편으로 각각 나타났으며 이러한 논문의 수는 지속적로 증가하고 있다. 이러한 연구의 지속적인 증가 속에 가시적인 연구결과를 보이는 연구의 분야는 다음의 네 가지 분야이다.

첫 번째 예는 속근 섬유에서 나타나는 형태인 ACTN3로 알려진 골격근의 유전자에서의 무의미 돌연변이(nonsense)에 관한 연구이다. 무의미 돌연변이는 ACTN3 단백질을 완전히 파괴하는 한편 돌연변이에 대한 동형접합형(homozygous)의 남녀에게서는 분명히 근육질환은 아니다. 연구자들은 이러한 돌연변이가 비질환성 근육 표현형에 영향을 미치는지에 관해 연구를 해왔다.

두 번째 예는 알츠하이머 질환에 관련된 부분이다. 알츠하이머 질환의 발병과 진행은 ApoE 유전자의 유전 변이와 관련이 있다. 연구자들은 신체 활동과 ApoE 표현형 간의 상호 작용에 관한 연구에 목적을 두고 있다.

세 번째 예는 세계적인 선수들의 운동수행력에 관련한 부분이다. 우수한 선수들을 만드는 요인은 무엇인가? 유전적인 소인, 탁월한 동기유발, 적정한 훈련 방법 혹은 이 모든 것이 해당되는가? 이러한 의문은 연구자들이 운동수행력에 기여하는 특이한 유전적인 인자들을 밝혀내도록 하는데 많은 동기를 제공하였다. 운동유전체 관련 연구자들은 ACE 유전자의 염기서열의 변이와 다양한 유형의 운동과 스포츠 수행력에 관한 목표로 많은 연구를 수행하였다.

마지막으로 Myostatin 유전자에 관한 연구 및 골격근 표현형 특히 근육량의 변화에 대해서 많은 연구를 하였다.

2. ACTN3과 운동수행력

유전학에 관련한 몇몇 연구의 경우 새롭게 확인된 유전자 다형성을 통해 우성형질(dominant trait) 열성형질(recessive trait) 혹은 반성소질(sex linked trait)과 같은 여러 가지 유전학적인 형질 유전자 혹은 다형질에 영향을 미칠 수 있다는 가설을 내릴 수 있으며 이를 통해 유전자과 관련된 연구 설계에 기초가 될 수 있는 정보를 제공해 주리라고 본다.

ACTN3은 많은 조직에서 중요하게 작용하는 alpha-actinin 단백질 족의 하나이다. 이러한 것 중의 흥미로운 2가지 단백질은 ACTN2 및 ACTN3로서 이들 둘은 골격근 세포에서 주로 발현된다. 골격근은 많은 근육 세포로 이루어져 있으며 이러한 근육 세포는 여러 가지 대사성 및 수축성의 형질에 따라서 Type I 과 Type II로 분류된다. Type I 섬유는 유산소성 대사가 지배적이며 Type II보다는 수축력이 낮다. Type II 섬유는 높은 수축력을 가지고 있으며 무산소성 대사의 형질을 많이 가지고 있다. ACTN2는 골격근의 모든 섬유에서 발현이 되지만 ACTN3는 오로지 Type II에서만 볼 수 있다. 1999년에 North와 공동연구자들은 R577X (arginine이 codon 577번에서 codon이 종결이 되어 치환이 일어나는 것)로 알려져 있는 ACTN3 유전자에서 무의미 다형성을 동정(identification)했다. X/X유전자형의 운반체는 근육 섬유내에서 ACTN3 단백질의 완전한 결손을 보인다. 1990년대 중반에 많은 근육 질환의 연구를 통하여 ACTN3단백질이 완전히 결손된 것을 동절할 수 있었으며 이러한 결손은 근육 질환의 발질환과 관련이 깊다. 특히 어떤 유형의 근육 위축증과 관련이 깊으며, 그러므로 R577X돌연변이는 근육질환을 이해하는 데 유용하고, 돌연변이는 무의미 대립유전자임을 직관할 수 있다.

ACTN3 유전자의 R577X 유전자 다형성은 X/X 유전자형 운반체에서 α-actinin 3단백질의 완전한 결핍을 보인다. 비록 이러한 사람들은 분명히 근육 질환을 가지지는 낳지만 이러한 Type II 근육 섬유 단백질의 완전한 결핍은 이러한 사람들의 근육 운동수행력에 영향을 미치거나 혹은 다른 근육 관련 표현형에 영향을 미칠 수 있다.

3. APOE와 인지능력

현재 전세계적으로 2천만 명의 환자가 있을 것으로 추정되는 알츠하이머 질환은 가장 흔한 퇴행성 뇌질환으로 자리 잡고 있으며 노인성 치매 증의 하나인 이 질환은 일반적으로 60대에 발병하여 처음에는 가벼운 건망증으로 시작하여 일시나 장소를 알 수 없게 되거나 배회, 정신적인 혼란 그리고 최종적으로 인격의 붕괴에 이른다. 80세 이상의 약 절반 정도가 이러한 질환에 노출되어 있는 환자일 것으로 추정되는 등 고령화가 가장 중요한 발병 요인으로 알려져 있다. 효과적인 치료제는 아직 없으나 신경전달을 원활하게 해주는 약물이 일부 환자에게 뚜렷한 효과가 있기 때문에 조기 진단이 필요하다.

ApoE ε4 대립유전자는 알츠하이머 질환 발병의 유력한 예측인자이다. 특히 동형접합 운반체에서 더욱 그러하다. 현재 연구자들은 이러한 유전자와 관련 있는 수정인자를 집중적으로 연구하고 있다. 특히 신체활동이 인지적 기능 저하의 위험과 관련이 높은 ε4 대립유전자에 대한 개선이 가능한지에 대한 연구에 더욱 심혈을 기울이고 있다.

4. ACE와 운동 수행력

엔지오텐신 전환효소(angiotensin-converting enzyme, ACE)유전자는 두 가지의 대립유전자(allele)로 부호화

(encoding)가 일어나며, 유전자 후반부의 287개의 염기쌍(base pair)의 삽입(insertion; I allele)과 결손(deletion; D allele)에 의해 표현된다. 삽입 대립인자의 동형접합체(homozygous)인 II형, 이형접합체인(heterozygous)인 ID형, 결손 대립인자의 동형접합체인 DD형의 세 가지 유전자 다형성(polymorphism)으로 나타난다(Montgo mery 등, 1998; Jones 등, 2002). 특히 선행 연구에 따르면, I대립 유전자는 지구력 운동선수들에게서 현저히 높은 수준으로 나타났으며(Montgommery 등, 1998), 폭발적인 힘을 발현하는 우수 선수들의 경기 종목에서는 D대립 유전자가 높은 것으로 보고되고 있다. 질환적 측면의 연구들에서는 혈장 앤지오텐시노겐(angio tensinogen)의 농도와 레닌(renin)의 혈장 활성, ACE 혈장 활성 및 BMI 간에 관련이 있으며(cooper 등, 1997), 비만과의 관련도 높은 것으로 보고되고 있다.

레닌−안지오텐신계에서 ACE의 중요성은 ACE가 많은 심혈관의 종지점(endpoints)에 관한 연구에서 후보유전자가 되었다는 점이며, 조직−특이적인 레닌-안지오텐신계에 대한 조직 성장 표현형을 언급하는 것은 아니다. ACE는 운동 수행력 표현형에 관해서 가장 완벽하게 연구된 유전자 중의 하나이다.

5. Myostatin과 근량

Myostatin은 동물 모형에서 확인되었으며, 골격근 성장에서 부적 조절인자로서 중요하게 작용하는 것으로 밝혀졌다. 연구자들은 성장 조절인자의 그러한 중요성에서 이러한 유전적인 변이가 인간을 대상으로 한 근육의 정상적인 성장이나 다양한 운동 자극에 대한 반응으로의 변화임을 추론할 수 있었다.

Ⅳ. 운동수행력과 건강 관련 체력 표현형 인간 유전자 지도

많은 연구자들의 노력에 의해서 운동수행력과 건강 관련 체력 분야에서 현재의 연구 결과를 살펴보면 많은 연구자들이 형질에 대한 유전 연구의 정확한 고찰을 위한 프로젝트를 진행 중에 있다. 분명히 그러한 과제를 쉽지 않다. 다시 말해서 운동수행력과 건강 관력 체력의 광범위한 영역에서 다양한 표현형을 논하기는 부적절하다. 왜나 하면 많은 유형의 운동을 여러 다양한 형질과 조합한다는 것은 쉬운 일이 아니기 때문이다. 그럼에도 불구하고 이 분야의 대가인 부샤드(bouchard) 박사는 2000년 말까지 나온 모든 논문을 광범위한 고찰을 통해 제시하고 있다. 게다가 부샤드 박사와 공동 연구자들은 증보 및 모든 새로운 논문들을 고찰하여 정기적으로 출간해 오고 있다. 이러한 결과로 운동수행과 건강 관련 체력 표현형 인간 유전자 지도라는 제목으로 2001년도에 *Medicine and Science in Sports and Exercise*라는 저널에 처음으로 출간하였으며 매년 거의 새로운 자료들을 고찰하여 수정 증보하고 있다. 그의 문헌 고찰을 통해 운동수행력과 건강 관련 체력 형질에 긍정적인 관련이 있는 모든 유전자의 지도 및 유전자 영역을 알 수 있다. 이러한 유전자 지도는 매년 새롭게 증보되고 있다. 따라서 고찰을 통한 표가 점차 광범위해지고 있으며 다양한 표현형에 대한 양성적 유전자 관련 혹은 연관분석 결과를 통하여 이러한 연구들의 목록을 싣고 있다. 음성적 관력 보고를 하고 있는 연구들은 출판 후 그 해의 논문에서 재검토가 이루어졌지만 이러한 유전자들은 유전자 지도에서 배제시켰으며 논문들은 출간된 그 해 이외에는 고찰에서 제외시켰다. 본 고찰의 첫째 목표는 2000년 말까지 이 분야에서 연구된 유전학 연구의 역사를 제시하고자 하는데 있다. 이외에도 유전자 지도는 운동수행과 건강 관련 체력 분야에서 매우 광범위한 표현형의 가장 최근의

연구를 요약하여 제시하고자 한다. 논의에 유효한 가장 최근 유전자 지도(Rankinen Bray 등 2006)를 통해서 170 유전자 및 유전자 영역이 형질과 양성적 관련이 있는 것으로 밝혀지고 있다. 2001년 첫 유전자 지도에서 보고된 29 유전자 및 유전자 영역에서 괄목한 만한 발전을 보였다. 이후에 고찰을 통하여 더욱 많은 성장이 기대된다.

참고문헌

1. 이삼준, 김상호, 원란, 박진홍, 이영일, Annold Seo, 라성민, 최형규 . 운동 유전학, 대한미디어. 서울. 2008.
2. Bouchard, C., P. An, T. Rice, J.S. Skinner, J.H. Wilmore, J. Gagnon, L. Perusse, A.S. Leon, D.C. Rao. Familial aggregation of VO2 max response to exercise training: Results from the HERITAGE Family Study. *J. Appl. Physiol.* 87:1003-1008, 1999.
3. Bouchard, C., T. Rankinen. Individual differences in response to regular physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc*. 33: S446-S451, 2001.
4. Jones A, Montgomery HE, Woods DR. Human performance: a role for the ACE genotype? *Exerc Sport Sci Rev*. 30(4) : 184-190. 2002.
5. Montgomery HE, Marshall R, Hemingway M, Holliman DE, Jubb M, World M, Thomas EL, Brynes AE, Saeed N, Barnard M, Bell JD, Prasad K, Rayson M, Talmud PJ, Humphries SE. Human gene for physical performance. *Nature*. 393(6682):221-222. 1998.
6. Wolfarth, B., M.S. Bray, J.M. Hagberg, L. Perusse, R. Rauramaa, M.A. Rivera, S.M. Roth, T. Rankinen, and C. Bouchard. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: The 2004 update. *Med. Sci. Sports Exerc*. 37:881-903, 2005.