

## 12주간의 비타민D 섭취와 순환운동이 비타민D 결핍 제2형 당뇨병 노인 여성의 골격근량에 미치는 영향

옥진아 · 김형준 · 강창균 · 이만균 · 박현\* (경희대학교)

이 연구에서는 12주간의 비타민D 섭취와 순환운동이 비타민D 결핍 제2형 당뇨병 노인 여성의 골격근량에 미치는 영향을 구명하고자 하였다. 아울러 이 변인들과 밀접한 관계가 있는 신체구성, 인슐린 저항성 및 비타민D에 대한 영향도 함께 구명하고자 하였다. 연구 대상으로 비타민D 결핍 제2형 당뇨병 노인 여성 48명을 통제집단, 비타민D 섭취집단, 순환운동집단, 복합처치집단으로 무선할당하였다. 비타민D는 12주간 매일 하루 1,200 IU 섭취하였으며, 순환운동프로그램은 주 3회 실시하였다. 사전검사와 사후검사에서 신체구성을 측정하였고, 혈액을 통해 25(OH)D, 공복혈당, 그리고 인슐린 농도를 분석하였다. 12주간의 비타민D 섭취와 순환운동 트레이닝 후 순환운동집단과 복합처치집단의 체지방량이 유의하게 감소하였고, 비타민D 섭취집단, 순환운동집단, 복합처치집단의 25(OH)D 수준이 유의하게 증가하였다. 또한 공복혈당, 인슐린, 그리고 HOMA-IR의 경우 모든 집단에서 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 체지방량은 복합처치집단에서만 유의하게 증가하였다. 이상의 결과를 종합해보면, 12주간의 비타민D 섭취와 순환운동은 체지방량의 증가에 있어 단 일처치보다 복합처치 시 긍정적인 영향을 주는 것으로 결론지을 수 있다.

주요어: 제2형 당뇨병, 비타민D 결핍, 근감소증

### 서론

제2형 당뇨병은 전 세계적으로 나타나는 만성 질환 중 하나로 인슐린 저항성과 췌장 베타세포의 기능 장애로 인해 발생한다(Colberg et al., 2010). 우리나라 당뇨병의 유병률은 30세 이상 45세 미만의 경우 3.5%, 46세 이상 65세 미만의 경우 약 12%, 65세 이상의 경우 약 23%로 연령이 증가함에 따라 유병률도 증가하여 노화와 큰 관련성을 갖고 있는 것으로 나타났다(대한당뇨학회, 2012). 유전적 요인과 더불어 불규칙한 생활습관, 노화에 따른 탄수화물 대사의 변화, 체지방 증가가 노인의 제2형 당뇨병의 발병률을 높이는데 작용한다고 보고되고 있다(Meneilly & Tessier, 2001). 또한 당뇨병은 그 자체로의 문제점도 크지만, 이로 인해 발생하는 심혈관계 질환 및 대사질환과 같은 2차 질병으로 인

해 더 큰 문제를 야기한다(Scragg et al., 2004). 노인의 경우, 여기에 더해 신체장애, 낙상, 그리고 근감소증(sarcopenia)이 발생할 위험이 크다고 보고되었다(Kim et al., 2012).

한편, 비타민D 결핍은 제2형 당뇨병과 근감소증의 발병 및 진행과 높은 상관관계를 갖는다고 보고되고 있다(George et al., 2012; Palomer et al., 2008). 뿐만 아니라 비타민D 결핍은 암, 자가 면역, 심혈관계 질환이나 대사 증후군과 같은 만성질환이나 골다공증에 부정적인 영향을 미친다고 보고되고 있어 충분한 비타민D 수준을 유지하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다(Holick, 2007; Lee et al., 2008; Wang et al., 2008). Mattila et al.(2007)과 Hurskainen et al.(2012)은 낮은 혈청 25(OH)D 수준은 제2형 당뇨병의 발병 및 인슐린 저항성과 관계가 있다고 보고하였고, 70세 이상의 노인들을 대상으로 한 연구에서 충분한 비타민D 수준이 제2형 당뇨 발병을 방지하는 역할을 한다고 보고하였다(Dalgård et al., 2011). 또한 von Hurst et al.(2010)의 연구에서 제2형 당뇨병 여성에

논문 투고일: 2013. 12. 09.

논문 수정일: 2014. 04. 03.

계재 확정일: 2014. 04. 22.

\* 저자 연락처: 박현(hpark@khu.ac.kr).

게 6개월간 하루 4,000 IU의 비타민D를 보충한 결과 인슐린 민감성이 향상되었다고 보고했으며, Borissova et al.(2003)은 한 달간 1,332 IU의 비타민D를 보충한 결과 인슐린 저항성이 21.4% 개선되었다고 보고하였다.

인체 내 비타민D 수준에 대한 기준치는 학자마다 다른 수준으로 정의되고 있지만, 혈청 25(OH)D의 농도가 인체 내 비타민D의 수준을 반영하기 때문에 임상적으로 비타민D 수준을 판단할 때 혈청 25(OH)D를 측정한다(Holick & Garabedian, 2003). 개인의 연령, 성별 등에 따라 섭취해야 하는 비타민D 수준은 다른데, 대체로 하루 400~800 IU가 권장되며, 당뇨병 환자의 경우 하루 800~1,000 IU가 권장되고 있다(Bischoff-Ferrari et al., 2006). Bischoff-Ferrari et al.(2006)은 25(OH)D의 농도가 <10 ng/ml일 때 결핍(deficiency), 10~30 ng/ml일 때 부족(insufficiency), >30 ng/ml일 때 충족(sufficiency)이라 정의하였고, 우리나라의 경우, Lim et al.(2012)은 <15 ng/ml일 때 결핍, 15~29.9 ng/ml일 때 부족, ≥30 ng/ml일 때 충족이라 정의하였다.

한편, 인슐린은 근육 내에서 단백질 합성을 자극하는 것으로 알려져 있는데, 제2형 당뇨병 환자의 경우 인슐린 저항성으로 인해 간포도당 생성과 근육 및 지방 조직에 당을 저장하는데 있어 장애가 발생할 뿐만 아니라, 근단백질 합성에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Bassil & Gougeon, 2013). 특히, 제2형 당뇨병 노인 여성은 근육량과 근력이 감소하는 근감소증의 위험성이 큰 것으로 나타났다(Volpi et al., 2004). 근감소증의 확실한 병태 생리는 밝혀져 있지 않지만 신경계 및 호르몬의 변화, 염증반응의 증가, 근섬유의 변화, 부족한 신체활동, 영양 불균형 등 여러 요인이 함께 작용하는 것으로 알려져 있으며, 이는 정상적인 일상생활을 영위하는데 부정적인 영향을 미치고, 사망과도 관련이 있는 것으로 나타났다(Doherty, 2003; 홍삼모와 최용환, 2012). Baumgartner et al.(1998)은 팔과 다리에서 뼈와 지방을 제외한 값을 사지 근육량(apeudicular skeletal muscle mass, ASM)이라 정의하고, 이를 m 단위의 신장의 제곱(ASM/height<sup>2</sup>)으로 나눈 상대적 사지 근육량(skeletal muscle mass: SMI)을 근감소증의 진단 기준으로 처음으로 제시하였다.

Kim et al.(2010)의 연구에 의하면, 제2형 당뇨병

을 앓고 있는 60세 이상의 노인이 동일 연령대의 정상인에 비해 근감소증과의 연관성이 더 큰 것으로 나타났고, Park et al.(2009)의 연구에서도 여성 당뇨병 환자가 정상인에 비해 근육량 손실 위험이 유의하게 큰 것으로 보고되었다. 또한, 여러 선행연구를 통해 혈중 비타민D 수준과 근감소증 간에 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 아직 그 명확한 기전이 밝혀지지 않았지만, 비타민D가 근세포 내 VDR과 결합해 근단백질 합성을 촉진하고, 세포막에서의 칼슘 이동을 자극하며, 또한 1,25(OH)D는 골격근의 인슐린 저항성을 개선시켜 인슐린 신호전달을 향상시킴으로써 근육에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Zhou, et al., 2008; Ziambaras & Dagogo-Jack, 1997).

운동은 노인의 근육량 저하와 근기능 감소를 예방하고 개선시키기 위한 직접적인 방법으로, 근육 내 단백질 대사는 신체활동에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 특히, 저항성 운동은 근단백질 합성을 이끄는 강력한 자극으로 작용하여 근육량과 근력을 증가시킴으로써 기능을 개선시키는 역할을 한다고 보고되고 있다(Koopman & van Loon, 2009). 70세 이상의 노인들을 대상으로 한 다수의 연구(Singh et al., 1999; Yarasheski et al., 1999)에서 저항성 운동을 적용한 결과 근 단백질 합성과 근육량 및 근력이 증가되었다고 보고하였다. 또한 유산소운동과 관련하여, Fujita et al.(2007)의 연구에서 중강도의 일회성 유산소 운동을 통해 근단백질에 작용하는 인슐린 저항성을 극복하였고, 인슐린을 통한 근단백질 합성의 생리적 반응을 회복시켰다고 보고하였다. 이는 중강도의 유산소 운동이 노인들의 근감소증에 중요한 역할을 할 수 있음을 시사하고 있다.

비타민D와 운동을 함께 적용하였을 때 그 효과에 대한 연구로, Verschueren et al.(2011)은 70세 이상 노인들에게 6개월간 880 IU의 비타민D와 저항성 운동 종류인 바이브레이션 운동을 함께 적용한 결과 비타민D만 보충한 그룹에 비해 운동과 비타민D를 함께 적용한 그룹에서 근감소 비율이 낮아졌다고 보고하였고, 김인경(2012)의 연구에서 70세 이상 여성 노인들에게 12주간 매일 1,000 IU의 비타민D를 매일 섭취하게 하고 주 2회 운동을 함께 적용한 결과, 근육량과 신체기능이 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 이는 비타민D와 운동을 함께 적용하였을 때 근육량 유지 및 근손실 방지에 긍정적인 역할을 하고 있음을 시사하고 있으나, 비타민D

와 운동을 함께 적용하였을 때 근육량과 근기능의 향상에 대한 효과를 보고한 연구는 매우 부족하다.

이상에서 기술한 바와 같이, 제2형 당뇨병 여성 노인은 건강한 여성 노인과 비교하여 인슐린 저항성으로 인한 여러 문제를 보이고, 이로 인해 근육량 및 근기능에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 비타민 D의 결핍과 운동의 부재 역시 이를 악화시키는 것으로 나타났다. 따라서 장기간의 비타민D 섭취와 운동 트레이닝의 적용이 인슐린 저항성과 골격근 대사에 효과적일 것으로 예측된다.

이에 이 연구에서는 12주간의 비타민D 섭취와 순환 운동이 비타민D 결핍 제2형 당뇨병 노인 여성의 골격근에 미치는 영향을 구명하고자 한다. 아울러 이 변인들과 밀접한 관계가 있는 신체구성, 인슐린 저항성 및 비타민 D 관련변인에 대한 영향도 함께 구명하고자 한다.

## 연구방법

### 연구 대상자

이 연구의 대상자는 S시와 Y시에 거주하는 65세 이상의 노인 여성으로 연구 대상자로 포함시킨 기준은 혈청 25(OH)D 수준이 15 ng/ml 미만으로 비타민D 결핍 증상을 보이는 자와 제2형 당뇨병을 진단 받은 지 6개월 이상 경과한 자, 공복 혈당이 126 mg/dl 이상인 자 60명으로 선정하였다. 이들을 통제집단, 비타민D 섭취집단, 순환운동집단, 복합처치집단으로 각 15명씩 무선할

표 1. 연구대상자의 신체적 특성 Mean±SD

	C (n=10)	VD (n=11)	E (n=12)	VDE (n=15)	P
Age (yrs)	70.6±5.34	73.3±6.83	68.6±4.44	69.5±3.25	.141
Height (cm)	156.4±5.37	154.1±2.61	152.9±4.66	153.1±2.57	.143
Weight (kg)	57.7±7.47	57.1±5.05	59.6±7.97	59.6±7.97	.810
Percent body fat(%)	33.0±5.08	33.3±4.98	34.8±3.40	34.0±3.72	.777
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.6±2.73	24.1±2.42	25.5±2.90	25.0±2.27	.288

C:Control, VD:Vitamin D, E:Exercise, VDE:Vitamin D+Exercise.  
BMI:Body Mass Index.

당하였으나, 연구 과정에서 12명이 개인 사정으로 탈락하여 최종 48명의 결과를 분석하였다(표 1).

### 측정항목 및 방법

#### 1) 체격 및 신체구성

신장은 신장계(삼화, 한국)를 이용하여 양말을 벗고 대상자의 발뒤꿈치와 엉덩이, 어깨가 신장계에 닿게 하여 턱 끝을 당겨 시선이 똑바르게 전방을 향하도록 한 후 측정하였고, 체중은 체중계(CAS-150kg, DW-150, 한국)를 이용하여 간편한 복장으로 신발을 벗고 체중계에 올라서도록 하였다. 신체구성은 Dual X-ray Absorptiometry (DXA, QDR-4500W, 미국)를 이용하여 체지방률과 체지방량을 측정하였다.

#### 2) 채혈 및 분석

모든 대상자가 실험당일 12시간 이상 공복 상태로 오전 8시 경에 검사실에 도착하여 30분간 안정을 취하도록 한 후 상완 주정맥(antecubital vein)에서 항응고 처리된 주사기를 이용하여 20 ml의 정맥혈을 채혈하였다. 혈액을 각각의 분석항목에 따라 항응고 처리 및 처리되지 않은 튜브에 넣어 원심분리기를 이용하여 3,000 rpm으로 10분간 원심분리한 후, 혈장(plasma)과 혈청(serum)을 뽑아 보관 튜브에 넣어 분석 시까지 -70°C의 냉장고에서 보관하였다. 구체적인 분석 방법은 다음과 같다.

#### (1) 혈청 25(OH)D

25-OH vitamin D3 kit(Liaison, 미국)로 화학발광면역법(Chemiluminescent immunoassay, CLIA)을 이용하여 분석하였다.

#### (2) 공복 혈당, 인슐린 및 인슐린저항성 지표

혈당농도는 자동분석기(Olympus AU 2700, Olympus, 일본)를 이용하여 hexokinase 방법으로 분석하였다. 인슐린은 면역분석장비(Elecsys, Roche, 스위스)로 전기화학적 발광면역 분석법(electrochemiluminescence immunoassay, ECLIA)을 통해 분석하였다.

인슐린 저항성을 평가하기 위해 지표로 HOMA-IR(homeostasis model for insulin resistance)을 산출하였다. 공식은 다음과 같다(Matthews et al., 1985).

$$\text{HOMA-IR} = \frac{\text{인슐린}(\mu\text{U}/\text{ml}) \times \text{공복혈당}(\text{mmol}/\ell)}{22.5}$$

### 비타민D 및 위약 섭취

비타민D 섭취집단과 복합처치집단과의 대상자들은 12주의 연구 기간 동안 매일 비타민D(비타민하우스, 한국)를 섭취하였으며, 섭취량은 선행연구에서 당뇨병 환자를 대상으로 권장되고 있는 섭취량과 상한한계 섭취량을 고려하여 1일 1,200 IU로 설정하였으며(Bischoff-Ferrari et al., 2006), 아침, 점심, 저녁 식사 후 400 IU 함량의 tablet 하나씩 나누어 섭취하도록 하였다. 또한 통제집단과 순환운동집단은 위약효과를 방지하기 위하여, 비타민D tablet과 외관상 차이가 나타나지 않도록 cellulose로 만들어진 tablet을 제공하였다.

### 운동 프로그램

이 연구에서 순환운동집단과 복합처치집단에서 실시한 운동 트레이닝은 순환운동으로, 12주간 실시하였으며, 운동빈도는 1~6주에는 주 3회, 7~12주에는 주 4회 실시하였다. 운동시간은 1~6주에는 45분, 7~12주에는 60분으로 운동시간을 점증적으로 증가시켰다. 운동강도는 선행연구에 따라 HRR의 60%~80%로 하였으며(정성립, 2009), 사전에 pilot test를 통하여 검증하였다. 1세트의 시간은 총 10분으로, 10가지의 운동 동작을 유산소 운동과 저항성 운동으로 구성하였으며, 각각의 동작을 1분씩 실시하였다. 세트 간 휴식시간은 5분으로 하였다. 운동 중에도 HRR의 60~80%의 강도를 유지하도록 하였으며, 4주에 한번씩 Polar Heart Rate

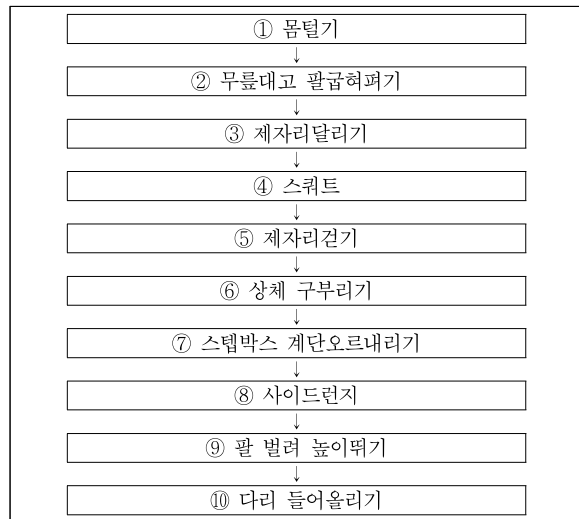


그림 1. 순환운동 프로그램

Analyzer(Polar Electro OY, 핀란드)를 사용하여 목표심박수를 확인하였다.

### 식이섭취 및 일조시간 활동량 조사

12주의 처치기간 중 이 연구의 종속변인에 영향을 미칠 수 있는 섭취하는 음식 중에 함유된 비타민D 양과 일조량을 조사하였다.

#### 1) 식이섭취 조사

연구에 참가하는 모든 대상자들에게 4주에 한 주씩, 일주일 중 3일 동안 섭취한 음식을 기록하도록 하였고, 이를 컴퓨터 영양평가 프로그램(Computer Aided Nutritional analysis Program, Can-Pro, version 4.0, 한국)을 통하여 섭취하는 비타민D 양을 분석하였다(표 2).

표 2. 처치기간 중 음식섭취를 통한 비타민D 섭취량 (μg)

	4 주	8 주	12 주		p
C	2.96±1.75	3.12±2.30	3.88±4.29	T	.393
VD	2.87±2.79	3.42±3.92	3.64±3.72	G	.998
E	4.58±3.59	3.22±2.60	2.37±1.98	T×G	.355
VDE	5.16±8.33	2.78±2.59	1.68±2.03		
p	.624	.935	.237		

#### 2) 일조시간 활동량

선행연구(유민주와 오수일, 2011)를 참고하여 하루 중 오전 8시부터 오후 6시까지 자외선에 노출되는 시간을 조사하였으며, 4주에 한 주씩, 일주일 중 4일 동안 활동 장소와 시간, 활동내용을 기록하게 하여 분석하였다(표 3).

표 3. 처치기간 중 일조시간 활동량 (min)

	4 주	8 주	12 주		p
C	164±104	172±116	162±80	T	.202
VD	241±100	233±73	222±53	G	.229
E	227±106	202±91	204±75	T×G	.888
VDE	262±130	244±131	248±142		
p	.210	.376	.214		

Mean±SD, \* p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001 vs pre-test.  
C:Control, VD:Vitamin D, E:Exercise, VDE:Vitamin D+Exercise.  
T: 시기, G: 집단, T×G: 상호작용.

### 자료 처리 및 통계

이 연구에서 얻은 결과는 SPSS Statistics 21을 이

용하여 분석하였다. 모든 데이터는 평균(mean)과 표준편차(standard deviation:SD)로 제시하였다. 처치에 따라 변화한 각 집단의 차이는 반복 이원변량분석(two-way ANOVA with repeated measures)을 이용하여 분석하였다. 이원변량분석 결과, 집단과 시기의 상호작용이 유의한 경우 각 집단 내 처치전과 처치후의 차이는 대응 표본 t-검정(paired t-test)을, 각 처치에 따른 집단 간 차이는 일원변량 분석(one-way ANOVA)을 실시하여 검증하였다. 일원변량분석의 사후검증을 위하여 Tukey 검사를 실시하였다. 모든 통계분석의 유의수준은 .05로 하였다.

## 연구결과

### 신체구성의 변화

체중, 체지방률 모두 시기의 주효과가 나타났다. 체중의 경우 비타민D 섭취집단, 순환운동집단, 복합처치집단에서 유의하게 감소하였고, 체지방률은 순환운동집단과 복합처치집단에서 유의하게 감소하였다(표 4).

표 4. 처치 전후 신체구성의 변화

		Mean±SD			
		Pre	Post	p	
Body weight (kg)	C	57.7±7.47	57.4±8.22	T	.000
	VD	57.1±5.05	56.5±5.49 *	G	.880
	E	59.6±7.97	58.4±8.21 *	T×G	.224
	VDE	58.6±5.23	57.4±5.12 ***		
Percent body fat (%)	C	33.0±5.08	32.1±5.94	T	.000
	VD	33.3±4.98	32.8±5.18	G	.826
	E	34.8±3.40	33.8±4.40 *	T×G	.476
	VDE	34.0±3.72	32.6±3.77 **		

\* p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001 vs pre-test.

C:Control, VD:Vitamin D, E:Exercise, VDE:Vitamin D+Exercise. T: 시기, G: 집단, T×G: 상호작용.

### 25(OH)D의 변화

비타민D의 생리적 활성형태인 혈청 25(OH)D의 경우 12주간의 비타민D 섭취와 순환운동 전·후 집단 간 유의한 상호작용효과가 나타났으며, 시기의 주효과와 집단의 주효과가 나타났다. 비타민D 섭취집단, 순환운동집단, 복합처치집단에서 유의하게 증가하였고 비타민D 섭취집단과 복합처치집단이 통제집단과 순환운동집단보다 유의하게 높게 나타났다(표 5), (그림 2).

표 5. 처치 전후 25(OH)D의 변화

		Mean±SD			
		Pre	Post	p	
25(OH)D (ng/ml)	C	12.6±11.41	12.0±4.57	T	.000
	VD	10.4±5.97	27.3±8.56 <sup>#</sup> ***	G	.010
	E	13.1±5.40	16.4±7.36 *	T×G	.000
	VDE	11.9±6.42	27.5±6.33 <sup>#</sup> ***		

\* p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001 vs pre-test.

C:Control, VD:Vitamin D, E:Exercise, VDE:Vitamin D+Exercise. T: 시기, G: 집단, T×G: 상호작용.

<sup>#</sup>p<.05 vs C.

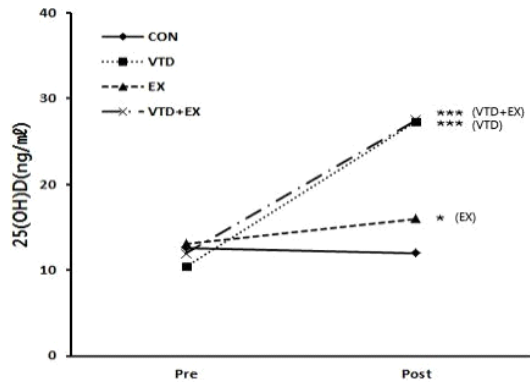


그림 2. 처치에 따른 25(OH)D의 변화

### 공복혈당 및 인슐린의 변화

공복혈당, 인슐린 및 인슐린저항성 모두 집단의 주효과와 시기의 주효과, 집단과 시기의 상호작용이 유의하게 나타나지 않았으나, 복합처치집단에서 감소되는 경향을 보였다(표 6).

표 6. 처치 전후 공복혈당 및 인슐린의 변화

		Mean±SD			
		Pre	Post	p	
Fasting glucose (mg/dL)	C	128.4±31.27	135.4±44.26	T	.390
	VD	145.1±32.65	143.8±39.20	G	.187
	E	125.2±14.83	120.6±20.81	T×G	.246
	VDE	132.7±20.78	118.5±19.89		
Insulin (μIU/ml)	C	4.29±2.91	5.63±2.91	T	.542
	VD	5.40±3.92	4.97±3.00	G	.885
	E	5.30±3.05	4.85±2.54	T×G	.297
	VDE	5.48±4.24	3.52±2.14		
HOMA-IR	C	1.38±0.94	1.90±1.43	T	.544
	VD	1.83±1.23	1.71±1.14	G	.763
	E	1.61±0.88	1.49±0.84	T×G	.150
	VDE	1.80±1.41	1.03±0.66		

\* p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001 vs pre-test.

C:Control, VD:Vitamin D, E:Exercise, VDE:Vitamin D+Exercise. T: 시기, G: 집단, T×G: 상호작용.

## 제지방량의 변화

팔 제지방량과 다리 제지방량을 더한 사지 제지방량(ASM)과 사지 제지방량을 키의 제곱으로 나눈 상대 사지제지방량(SMI)의 경우 12주간의 비타민D 섭취와 순환운동 전·후 집단 간 유의한 상호작용효과는 나타나지 않았으나, 시기의 주효과가 나타났다. 두 변인 모두 복합 처치집단에서만 유의하게 증가하였다(표 7).

표 7. 처치 전후 제지방량 지표의 변화

		Mean±SD			
		Pre	Post	P	
ASM (kg)	C	13.88±1.31	14.15±1.57		
	VD	13.71±1.33	13.82±1.58	T	.014
	E	14.12±1.70	14.19±1.96	G	.882
				T×G	.353
	VDE	14.04±1.63	14.49±1.69	**	
SMI (kg/m <sup>2</sup> )	C	5.67±0.40	5.78±0.50		
	VD	5.77±0.54	5.82±0.64	T	.021
	E	6.03±0.63	6.05±0.64	G	.336
				T×G	.329
	VDE	5.98±0.58	6.17±0.60	**	

\* p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001 vs pre-test.

C:Control, VD:Vitamin D, E:Exercise, VDE: Vitamin D+Exercise.  
T: 시기, G: 집단, T×G: 상호작용.

## 논 의

제2형 당뇨병은 인슐린 저항성이 대표적인 특징이다. 특히, 노화가 진행될수록 베타 세포기능의 감소로 인해 인슐린 민감성이 감소하고, 지방세포의 축적 및 신체활동 부족이 인슐린 저항성을 증가시키는 요인이 된다(Krentz et al., 2013).

다수의 선행연구에서 인슐린 저항성과 체내 비타민D 수준 간에 부적 상관관계가 있다고 보고하여, 비타민D 수준을 통해 당뇨병을 예측하고 또한 당뇨병의 개선방안으로서의 비타민D의 가능성을 제시하였다. 인슐린 분비는 칼슘 의존적 과정으로 비타민D가 칼슘의 대사과정에 관여하는 것으로 알려져 있으며, 비타민D의 호르몬 활성 형태인 1,25(OH)D는 인슐린 수용체(insulin receptor) 발현 및 포도당 수송에도 관여하여 인슐린 분비와 민감성에 긍정적인 역할을 하는 것으로 나타났다(최영미 등, 2009). 또한 비타민D 결핍은 심혈관계 질

환, 압, 골다공증, 당뇨, 골격근계 질환 등 건강과 직접적으로 관련이 있어 이를 예방하기 위한 연구와 노력에 대한 필요성이 강조된다. 노인의 경우 피부의 비타민D 합성능력이 떨어질 뿐만 아니라 야외 활동량이 적기 때문에 비타민D 결핍일 확률이 높은 것으로 알려져 있다(Holick, 2007). 이 연구의 대상자들 역시 처치 전 비타민D의 생리적 활성 형태인 혈중 25(OH)D 농도가 평균 12.0 ng/ml로 네 집단 모두 결핍(15 ng/ml 미만)에 해당하여 비타민D의 보충이 필요한 상태를 알 수 있었다. 여러 선행연구들을 통해 일정 기간 비타민D를 보충했을 때 혈중 25(OH)D 수준이 적정 수준으로 증가하는 것을 확인할 수 있었는데(Borissova et al., 2003; Von Hurst et al., 2010), 이 연구에서 12주간 하루 1,200 IU씩 비타민D 섭취집단과 복합처치집단에 비타민D를 섭취하게 한 결과 비타민D 섭취집단과 복합처치집단에서 유의하게 증가하여 선행연구와 일치하는 결과를 보였다. 또한 비타민D를 섭취하지 않은 순환운동집단에서도 유의하게 증가하였는데, 이는 계절의 변화와 처치 기간 동안의 활동량 증가가 영향을 미쳤을 것이라 판단된다. 한국인을 대상으로 조사한 Choi et al.(2011)의 연구에 의하면 여름과 가을에 비해 봄과 겨울에 25(OH)D 수준이 낮은 것으로 나타났는데, Holick(2007)은 이 시기에 일조량이 적기 때문에 피부가 햇빛에 노출되어도 의미가 없다고 보고하였다. 이 연구가 3월부터 6월까지 진행된 것을 고려했을 때, 계절의 변화가 순환운동집단에 영향을 미쳤을 것이라 사료된다. 또한 일조시간 활동량을 분석한 결과 순환운동집단과 통제집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 순환운동집단과 통제집단의 평균 일조시간활동량이 약 45분이라는 시간의 차이가 있는 것으로 나타났다. Holick(2007)의 연구에서 5~30분 햇빛에 노출되면 혈중 비타민D 수준이 증가하는 것으로 보고하였는데, 이를 미루어 봤을 때 순환운동집단과 통제집단의 일조시간활동량의 차이가 혈중 비타민D 농도를 유의하게 변화시키기에 충분한 시간이라 사료된다.

이 연구의 비타민D 섭취집단의 경우 공복혈당, 인슐린, HOMA-IR이 감소하는 양상을 보였으나 통계적으로 유의한 변화는 나타나지 않았다. Pittas et al.(2007)은 불충분한 비타민D 수준이 베타세포의 세포 내의 칼슘 풀(pool)의 균형을 변화시켜 인슐린 분비에 영향을 미치지 못한다고 보고하였는데, 이 연구에서는

비타민D 처치 후 혈중 25(OH)D 수준이 증가했으나 정상범위에 도달하지 못하여 인슐린 저항성에 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다. 따라서 당뇨병의 개선을 위한 비타민D 처치 시 체내 비타민D 수준을 충분한 상태로 증가시키기 위해 그 기간을 늘려 적용하는 것이 더 효과적일 것이라 사료되며, 이외 당뇨 유병기간, 비타민D의 형태 등 비타민D 처치 시 당뇨관련 요인에 영향을 주는 것으로 알려진 변인들을 고려하여 적용시켜야 할 것으로 사료된다(Patel & Liao, 2010).

당뇨병 환자에게 있어 운동 트레이닝은 유리지방산 산화와 당수송체의 발현을 증가시켜 혈당을 조절하고, 인슐린의 활동성에도 영향을 미쳐 인슐린 저항성을 개선시킨다(Christ-Roberts et al., 2004; Duncan et al., 2003; Goodpaster et al., 2003; Kelley & Kelley, 2007). 이 연구결과, 운동 트레이닝을 실시한 순환운동집단에서 공복혈당, 인슐린, HOMA-IR이 감소하는 양상이 나타났지만 유의한 변화는 나타나지 않았다. 여러 선행 연구에서 제2형 당뇨병 환자를 대상으로 실시한 운동기간을 살펴보면, 최소 16주 이상 운동 트레이닝을 실시했을 때 당뇨관련 변인이 개선되는 것으로 나타났다(Cuff et al., 2003; Davidson et al., 2009; Marcus et al., 2008; Sigal et al., 2007). 이에 비해 12주라는 이 연구의 트레이닝 기간이 다소 짧아 유의한 변화가 나타나지 않았을 것이라 판단된다. 복합처치집단에서 역시 유의한 변화는 나타나지 않았으나, 다른 집단보다 감소하는 경향이 뚜렷이 나타났다. Snowling & Hopkins(2006)의 메타분석에서 당뇨병 환자들의 경우 운동만 실시하는 것보다 식이조절이나 약물 치료 등 다른 방법과 병행하며 트레이닝을 실시하는 것이 더욱 효과적이라 보고되었으며, Pan et al. (1997) 또한 6년간의 추적연구를 통해 식이조절과 운동트레이닝을 병행했을 때 인슐린 저항성의 개선과 당뇨병 발생률이 유의하게 감소되었다고 보고하고 있어, 두 방법을 복합처치 하는 것이 보다 긍정적인 효과를 나타내는 것으로 판단된다. 따라서 비타민D와 운동의 복합처치를 통해 처치 기간 및 방법에 따라 효과가 미비하거나 나타나지 않는 단일 처치의 한계점을 보완할 수 있을 것으로 기대된다.

제2형 당뇨병 환자의 약 80%가 비만 및 과체중으로 알려져 있으며, 공통 병인으로 인슐린 저항성이 나타난다(Baker et al., 2009). 또한, 노화가 진행될수록 체

지방량은 증가되고, 근육량은 감소되는데 이는 인슐린 저항성을 악화시키는 요인이 되며 제2형 당뇨병에 걸릴 확률이 더욱 높아지는 것으로 보고되었다(Rejeski et al., 2012). 이 연구의 대상자들은 제2형 당뇨병을 앓고 있는 65세 이상 노인 여성으로, 처치 전 BMI가  $24.6 \text{ kg/m}^2$ 로 과체중에 해당되어 체중의 감소가 필요한 것으로 나타났다.

운동은 제2형 당뇨병 환자에게 있어 체지방 감소를 통한 인슐린 저항성을 향상시키는 효과적인 방법으로, 당뇨와 같은 대사질환뿐만 아니라 심혈관질환의 예방 및 개선에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Colberg et al., 2010; Ibañez et al., 2005). 2010년 미국당뇨협회와 미국스포츠의학회에서 발표한 운동 지침에서 제2형 당뇨병 환자의 경우 최소 주 3회, 주당 150분 이상 중·고강도의 유산소운동과 최소 주 2~3회 중·고강도의 저항성운동을 함께 실시할 것을 권장해 유산소운동과 저항성운동의 모두 실시하는 것이 당뇨의 개선에 있어 중요하다고 보고하였다(Colberg et al., 2010).

또한 비타민D가 인슐린 저항성을 갖고 있는 과체중 및 비만 환자의 당대사에 중요한 역할을 한다고 보고되고 있는데(Choi et al., 2011), Need et al.(2005)의 연구에서 혈중 25(OH)D농도가 낮을수록 노인 여성의 당뇨 발병률이 증가하는 것으로 나타났고, 체중과 BMI와도 부적 상관관계가 있다고 보고되었으며, Zhou et al.(2008)의 연구에서도 자유지방산으로 유도된 인슐린 저항성을 지닌 근육세포에 1,25(OH)D를 처치한 결과, 인슐린 민감성이 증가되었다고 보고하여 비타민D가 과도한 지방으로 인해 유발된 인슐린 저항성을 개선하는데 긍정적인 역할을 하는 것으로 나타났다.

이 연구에서 12주간 제2형 당뇨병 노인 여성을 대상으로 순환운동을 실시한 결과, 순환운동집단과 복합처치집단 모두 체중과 체지방률이 유의하게 감소하였다. 오수일 등(2013)의 연구에서 당뇨 여성을 대상으로 10주간 복합운동 프로그램을 실시한 결과 체중, BMI, 체지방률이 유의하게 감소하였다고 보고하였고, 김상훈(2009)의 연구에서도 노인 비만여성을 대상으로 12주간 순환운동을 실시하여 체중과 BMI가 유의하게 감소하였다고 보고하여 이 연구결과와 일치하였다. 그러나 비타민D 섭취집단에서는 체중의 유의한 감소만을 보였을 뿐 체지방률의 변화를 보이지 않아 비타민D 단일처치를 통한 체

지방 감소의 효과가 나타나지 않았다. 복합처치집단에서는 체중과 체지방률 모두 유의하게 감소하였는데, 순환운동집단 보다 더 큰 변화를 나타냈다. 비타민D를 단일 처치한 집단에서는 체지방의 유의한 변화가 나타나지 않았으나, 복합처치 시 순환운동만 처치한 집단보다 더 큰 변화를 보여 비타민D가 체지방 감소에 일부 역할을 했다는 것 가능성을 제시할 수 있었으며, 이 가능성을 뒷받침할 수 있는 추후 연구가 필요하다고 사료된다.

근감소증은 노화에 따른 근육량과 근력의 감소를 의미하며, 주로 65세 이상의 노인들에게서 공통적으로 나타나는 것으로 알려져 있다(Iannuzzi et al., 2002). 당뇨병 환자의 경우 근육량 감소가 더욱 가속화되는 것으로 알려져 있는데, 당뇨병 환자의 특징으로 꼽히는 인슐린 저항성과 고혈당 증상이 그 원인으로 작용한다. 인슐린은 근육에서 단백질 합성을 자극하는 인자로 작용하나, 당뇨병 환자의 경우 근육의 인슐린 저항성으로 인해 단백질 합성에 제한을 받는다(Bassil & Gougeon, 2013). 또한 고혈당으로 인한 혈액의 유리지방산 증가와 염증반응은 근세포 내 미토콘드리아 기능을 손상시키는 것으로 보고되고 있다(Landi et al., 2013). 여러 선행연구를 통해 제2형 당뇨병은 근감소증의 독립적인 위험인자로서 같은 연령대의 정상인에 비해 근감소증이 발생할 확률이 높은 것으로 나타나 제2형 당뇨병과 근감소증 간에 관련성이 매우 높은 것으로 나타났다(Kim et al., 2010; Park et al., 2009). 비타민D 결핍 역시 근감소증과 높은 상관관계를 갖는다고 보고되었다. 이 연구의 대상자인 비타민D 결핍인 제2형 당뇨병 노인 여성의 경우, 처치 전 상대 사지제지방량은  $5.86 \text{ kg/m}^2$ 로 나타났다. Lee et al.(2013)이 우리나라 65세 이상 건강한 여성 노인을 대상으로 실시한 연구에 의하면, 상대 제지방량이  $6.4 \text{ kg/m}^2$ 라고 보고한바 이를 감안할 때, 이 연구 대상자들의 상대 제지방량 수치는 낮다고 판단된다. 또한 Newman et al.(2003)과 Delmonico et al.(2007)이 제시한 노인 집단의 하위 20% 이하를 기준으로 한 임계치(cutoff)가  $5.67 \text{ kg/m}^2$ 이라 보고하였는데, 이 연구 대상자들이 이보다는 약간 높은 수치를 보여 근감소증 위험성이 높은 것으로 나타났다.

비타민D는 선행연구를 통해 근감소증의 예방 및 개선에 긍정적인 효과를 나타내는 것으로 보고되었다. 그러나 이 연구에서 12주간 비타민D를 처치한 결과, 비타민D 섭취집단에서 25(OH)D 수준이 유의하게 증가했음

에도 불구하고 상대 사지제지방량에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이 결과는 비타민D의 근단백질 합성을 통한 근육량의 증가로 나타나기까지의 기간이 충분하지 않았고, 또한 비타민D 섭취집단의 25(OH)D 수준이 크게 증가하였으나 적정수준( $>30 \text{ ng/ml}$ )에 도달하지 못해 제지방량의 증가가 나타나지 않은 것으로 사료되며, 추후 연구에서는 비타민D 섭취 기간을 늘려 충분한 상태로 증가시킨 후 근육량의 변화를 분석하는 연구가 필요하다고 사료된다.

운동은 근감소증을 개선시키기 위한 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다. 그동안 여러 선행연구들을 통해 저항성 운동이 노인의 근육량 및 근기능 개선에 있어 가장 효과적인 방법 중 하나인 것으로 보고되었고, 유산소 운동 역시 단백질 합성을 자극하여 간접적으로 노화로 인한 근육량 및 근기능의 개선에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(소위영 등, 2009; 박상갑 등, 2010). 이 연구에서는 유산소운동과 저항성운동을 결합한 형태의 순환운동을 실시하여 일정 시간동안 여러 유형의 운동을 반복 실시함으로써 단기간에 다양한 체력요인을 발달시키고자 하였다. 그러나 12주간 순환운동 트레이닝을 실시 후 순환운동집단에서 사지제지방량 및 상대 제지방량이 유의한 변화는 나타나지 않았다. 이는 운동 프로그램의 대상자가 당뇨병 환자임을 고려하여 실시한 운동 프로그램이 제지방량을 증가시키기에는 강도 및 운동유형의 적절한 배치가 이루어지지 않았다고 판단되며, 또한 12주라는 운동기간이 인슐린 저항성을 갖고 있는 당뇨병 노인 여성의 근육량 개선을 가져오기에는 비교적 짧은 기간이라 사료된다. 반면, 복합처치 집단에서 사지제지방량 및 근육량지수가 유의하게 증가하였다. Mason et al.(2013)의 연구에서 중년 및 노인 여성을 대상으로 식이중재와 운동을 병행했을 때, 단일처치한 집단들에 비해 사지 근육량의 감소가 완만하게 진행되며 대사적 기능이 향상되었다고 보고하였고, Kim et al.(2010)의 연구에서 12주 동안 75세 이상 근감소증 노인 여성을 대상으로 운동과 아미노산을 처치한 결과 근육량 및 근력, 보행속도가 단일처치한 집단보다 유의하게 증가한 것으로 나타났다. 또한, 이 연구에서 실시한 것과 같이 비타민D와 운동을 복합처치한 연구도 이루어졌는데, 김인경(2012)의 연구에서 70세 이상 노인 여성들에게 12주간 1,000 IU의 비타민D와 운동을 함께 처치한 결과 근육량과 신체기능이 유의하게 증가하였다



고 보고하여 이 연구의 결과를 뒷받침하였다. 이를 통해 복합처치는 단일 처치 시 나타나는 제한점들을 상호보완적인 역할을 한다는 것을 알 수 있으며, 이 연구 결과로 노인 여성들의 근육량을 증가시키는데 있어 운동과 더불어 비타민D를 함께 적용하는 것이 도움이 될 수 있는 방법임을 확인할 수 있었다.

## 결론

12주간의 비타민D 섭취와 순환운동 프로그램은 신체 구성, 혈중 비타민D 수준, 그리고 제지방량에 있어 단일 처치보다 복합처치 시 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 연구에서 비타민D와 순환운동 프로그램의 단일처치 시 신체구성, 인슐린 저항성 지표 및 골격근관련 변인에 영향을 미치는 지에 대한 최종 결론에 도달하기까지는 비타민D의 복용기간, 순환운동 프로그램의 트레이닝 기간 및 강도를 적절히 고려하여 실시해야 할 것이다.

## 참고문헌

- 권영섭, 소호성(2007). Brief review of muscle hypertrophy mechanism. *스포츠건강의학 학술지*, 9(2), 13-20.
- 김상훈(2009). 12 주간의 순환운동이 노인비만여성의 비만, 체력 및 대사증후군 지표에 미치는 영향. *한국노년학회지*, 29(3), 823-835.
- 김인경. (2012). 비타민D 섭취와 운동프로그램 적용이 여성 노인의 생리적 지표, 근육량 및 신체 기능에 미치는 영향. 박사학위논문. 이화여자대학교.
- 대한당뇨학회(2012). *Diabetes fact sheet in Korea 2012*.
- 대한비만학회(2010). *Fact sheet*.
- 박상갑, 김은희, 권유찬, 박진기, 강세영, 장재희(2010). 복합운동프로그램이 sarcopenia 여성노인을 위한 건강체력과 항노화호르몬 및 근감소증예방에 미치는 영향. *한국사회체육학회지*, 40(1), 435-442.
- 소위영, 송미순, 조비룡, 박연환, 김연수, 임재영, 김선호, 송욱. (2009). 미용 텀벨 운동이 노인의 근감소증 예방을 위한 신체조성, 체력 및 혈중지질에 미치는 영향. *한국노년학회지*, 29(3), 837-850.
- 오수일, 황예선, 유민주. (2013). 복합운동프로그램이 중년 여성의 신체구성, 건강관련체력 및 대사증후군 위험인자에 미치는 영향. *운동학 학술지*, 15(3), 91-100.
- 유민주, 오수일. (2011). 단거리 육상선수과 일반여대생의 신체구성, 골밀도와 골밀도 관련 요인 분석. *한국여성체육학회지*, 25(3), 121-134.
- 정성림. (2009). 순환운동과 유산소운동이 비만 중년여성의 대사성증후군 위험인자 및 동맥경화 지수 변화에 미치는 영향. *한국체육과학회지*, 18(1), 1019-1030.
- 최영미, 이준호, 한지숙(2009). 당뇨병환자에서 칼슘과 비타민D 섭취가 인슐린 저항성에 미치는 영향. *Diabetes & Metabolism Journal*, 33(4), 324-334.
- 홍삼모, 최용환. (2012). Sarcopenia의 최신지견. *대한내과학회지*, 83(4), 444-454.
- Baker, S., Jerums, G., & Proietto, J. (2009). Effects and clinical potential of very-low-calorie diets (VLCDs) in type 2 diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 85(3), 235-242.
- Bassil, M. S., & Gougeon, R. (2013). Muscle protein anabolism in type 2 diabetes. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 16(1), 83-88.
- Baumgartner, R. N., Koehler, K. M., Gallagher, D., Romero, L., Heymsfield, S. B., Ross, R. R., & Lindeman, R. D. (1998). Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *American Journal of Epidemiology*, 147(8), 755-763.
- Bischoff-Ferrari, H. A., Giovannucci, E., Willett, W. C., Dietrich, T., & Dawson-Hughes, B. (2006). Estimation of optimal serum concentrations of 25-hydroxy vitamin D for multiple health outcomes. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 84(1), 18-28.
- Borissova, A. M., Tankova, T., Kirilov, G., Dakovska, L., & Kovacheva, R. (2003). The effect of vitamin D3 on insulin secretion and peripheral insulin sensitivity in type 2 diabetic patients. *International Journal of Clinical Practice*, 57(4), 258-261.
- Choi, H. S., Oh, H. J., Choi, H., Choi, W. H., Kim, J. G., Kim, K. M., Kim, K. J., Rhee, Yumie., & Lim, S. K. (2011). Vitamin D insufficiency in Korea—a greater threat to younger generation: the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) 2008. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 96(3), 643-651.
- Christ-Roberts, C. Y., Pratipanawatr, T., Pratipanawatr, W., Berria, R., Belfort, R., Kashyap, S., & Mandarino, L. J. (2004). Exercise training increases glycogen synthase activity and GLUT4 expression but not insulin signaling in overweight nondiabetic and type 2 diabetic subjects. *Metabolism*, 53(9), 1233-1242.

- Colberg, S. R., Sigal, R. J., Fernhall, B., Regensteiner, J. G., Blissmer, B. J., Rubin, R. R., Chasan-Taber, L., Albright, A. L., & Braun, B. (2010). Exercise and Type 2 Diabetes The American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement executive summary. *Diabetes Care*, 33(12), 2692-2696.
- Cuff, D. J., Meneilly, G. S., Martin, A., Ignaszewski, A., Tildesley, H. D., & Frohlich, J. J. (2003). Effective exercise modality to reduce insulin resistance in women with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 26(11), 2977-2982.
- Dalgård, C., Petersen, M. S., Weihe, P., & Grandjean, P. (2011). Vitamin D status in relation to glucose metabolism and type 2 diabetes in septuagenarians. *Diabetes Care*, 34(6), 1284-1288.
- Davidson, L. E., Hudson, R., Kilpatrick, K., Kuk, J. L., McMillan, K., Janiszewski, P. M., Lee, S., Lam, M., & Ross, R. (2009). Effects of exercise modality on insulin resistance and functional limitation in older adults: a randomized controlled trial. *Archives of Internal Medicine*, 169(2), 122-131.
- Delmonico, M. J., Harris, T. B., Lee, J. S., Visser, M., Nevitt, M., Kritchevsky, S. B., Tykavsky, F. A., & Newman, A. B. (2007). Alternative definitions of sarcopenia, lower extremity performance, and functional impairment with aging in older men and women. *Journal of the American Geriatrics Society*, 55(5), 769-774.
- Doherty, T. J. (2003). Invited review: aging and sarcopenia. *Journal of Applied Physiology*, 95(4), 1717-1727.
- Duncan, G. E., Perri, M. G., Theriaque, D. W., Hutson, A. D., Eckel, R. H., & Stacpoole, P. W. (2003). Exercise training, without weight loss, increases insulin sensitivity and post heparin plasma lipase activity in previously sedentary adults. *Diabetes Care*, 26(3), 557-562.
- Fujita, S., Rasmussen, B. B., Cadenas, J. G., Drummond, M. J., Glynn, E. L., Sattler, F. R., & Volpi, E. (2007). Aerobic exercise overcomes the age-related insulin resistance of muscle protein metabolism by improving endothelial function and Akt/mammalian target of rapamycin signaling. *Diabetes*, 56(6), 1615-1622.
- George, P. S., Pearson, E. R., & Witham, M. D. (2012). Effect of vitamin D supplementation on glycemic control and insulin resistance. *Diabetic Medicine*, 29(8), 142-150.
- Goodpaster, B. H., Katsiaras, A., & Kelley, D. E. (2003). Enhanced fat oxidation through physical activity is associated with improvements in insulin sensitivity in obesity. *Diabetes*, 52(9), 2191-2197.
- Holick, M. F., & Garabedian, M. (2003). Vitamin D: photobiology, metabolism, mechanism of action, and clinical applications. In: Favus M, ed. Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism. *American Society for Bone and Mineral Research*, 5, 129-137.
- Holick, M. F. (2007). Vitamin D deficiency. *New England Journal of Medicine*, 357(3), 266-281.
- Hurskainen, A. R., Virtanen, J. K., Tuomainen, T. P., Nurmi, T., & Voutilainen, S. (2012). Association of serum 25 hydroxy vitamin D with type 2 diabetes and markers of insulin resistance in a general older population in Finland. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 28(5), 418-423.
- Iannuzzi-Sucich, M., Prestwood, K. M., & Kenny, A. M. (2002). Prevalence of sarcopenia and predictors of skeletal muscle mass in healthy, older men and women. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(12), 772-777.
- Ibañez, J., Izquierdo, M., Argüelles, I., Forga, L., Larión, J. L., García-Unciti, M., Idoate, F., & Gorostiaga, E. M. (2005). Twice-weekly progressive resistance training decreases abdominal fat and improves insulin sensitivity in older men with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 28(3), 662-667.
- Kelley, G. A., & Kelley, K. S. (2007). Effects of aerobic exercise on lipids and lipoproteins in adults with type 2 diabetes: a meta-analysis of randomized-controlled trials. *Public Health*, 121(9), 643-655.
- Kim, K. S., Kim, S. K., Sung, K. M., Cho, Y. W., & Park, S. W. (2012). Management of type 2 diabetes mellitus in older adults. *Diabetes & Metabolism Journal*, 36(5), 336-344.
- Kim, T. N., Park, M. S., Yang, S. J., Yoo, H. J., Kang, H. J., Song, W., Seo, J. A., Kim, S. G., Kim, N. H., Baik, S. H., Choi, D. S., & Choi, K. M. (2010). Prevalence and determinant factors of sarcopenia in patients with type 2 diabetes: the Korean Sarcopenic Obesity Study (KSOS). *Diabetes Care*, 33(7), 1497-1499.
- Koopman, R., & van Loon, L. J. (2009). Aging, exercise, and muscle protein metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 106(6), 2040-2048.
- Krentz, A. J., Viljoen, A., & Sinclair, A. (2013). Insulin resistance: a risk marker for disease and disability in the older person. *Diabetic Medicine*, 30(5), 535-548.
- Landi, F., Onder, G., & Bernabei, R. (2013). Sarcopenia and

- Diabetes: Two Sides of the Same Coin. *Journal of the American Medical Directors Association*, 14(8), 540-541.
- Lee, J. H., O'Keefe, J. H., Bell, D., Hensrud, D. D., & Holick, M. F. (2008). Vitamin D Deficiency; An Important, Common, and Easily Treatable Cardiovascular Risk Factor?. *Journal of the American College of Cardiology*, 52(24), 1949-1956.
- Lee, S. G., Lee, Y. H., Kim, K. J., Lee, W., Kwon, O. H., & Kim, J. H. (2013). Additive association of vitamin D insufficiency and sarcopenia with low femoral bone mineral density in non-institutionalized elderly population: the Korea National Health and Nutrition Examination Surveys 2009-2010. *Osteoporosis International*, 1-11.
- Lim, S., Shin, H., Kim, M. J., Ahn, H. Y., Kang, S. M., Yoon, J. W., Choi, S. H., Kim, K. W., Song, J. H., Choi, S. I., Chun, E. J., Shin, C. S., Park, K. S., & Jang, H. C. (2012). Vitamin D inadequacy is associated with significant coronary artery stenosis in a community-based elderly cohort: the Korean Longitudinal Study on Health and Aging. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 97(1), 169-178.
- Malabanan, A., Veronikis, I. E., & Holick, M. F. (1998). Redefining vitamin D insufficiency. *The Lancet*, 351(9105), 805-806.
- Marcus, R. L., Smith, S., Morrell, G., Addison, O., Dibble, L. E., Wahoff-Stice, D., & LaStayo, P. C. (2008). Comparison of combined aerobic and high-force eccentric resistance exercise with aerobic exercise only for people with type 2 diabetes mellitus. *Physical Therapy*, 88(11), 1345-1354.
- Mason, C., Xiao, L., Imayama, I., Duggan, C. R., Foster-Schubert, K. E., Kong, A., Campbell, K. L., Wang, C. Y., Villasenor, A., Neuhouser, M. L., Alfano, C. M., Blackburn, G. L., & McTiernan, A. (2012). Influence of diet, exercise, and serum vitamin D on sarcopenia in postmenopausal women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(4), 607-614.
- Mattila, C., Knekt, P., Männistö, S., Rissanen, H., Laaksonen, M. A., Montonen, J., & Reunanen, A. (2007). Serum 25-hydroxy vitamin D concentration and subsequent risk of type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 30(10), 2569-2570.
- Meneilly, G. S., & Tessier, D. (2001). Diabetes in elderly adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(1), 5-13.
- Need, A. G., O'Loughlin, P. D., Horowitz, M., & Nordin, B. E. (2005). Relationship between fasting serum glucose, age, body mass index and serum 25 hydroxy vitamin D in postmenopausal women. *Clinical Endocrinology*, 62(6), 738-741.
- Newman, A. B., Kupelian, V., Visser, M., Simonsick, E., Goodpaster, B., Nevitt, M., Kritchevsky, S. B., Tylavsky, F. A., Rubin, S. M., & Harris, T. B. (2003). Sarcopenia: alternative definitions and associations with lower extremity function. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(11), 1602-1609.
- Pan, X. R., Li, G. W., Hu, Y. H., Wang, J. X., Yang, W. Y., An, Z. X., Hu, Z. X., Lin, J., Xiao, J. Z., Cao, H. B., Liu, P. A., Jiang, X. G., Jiang, Y. Y., Wang, J. P., Zheng, H., Zhang, H., Bennett, P. H., & Howard, B. V. (1997). Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance: the Da Qing IGT and Diabetes Study. *Diabetes Care*, 20(4), 537-544.
- Park, S. W., Goodpaster, B. H., Lee, J. S., Kuller, L. H., Boudreau, R., de Rekeneire, N., Harris, T. B., Kritchevsky, S., Tylavsky, F. A., Nevitt, M., & Newman, A. B. (2009). Excessive loss of skeletal muscle mass in older adults with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 32(11), 1993-1997.
- Patel, P., Poretsky, L., & Liao, E. (2010). Lack of effect of subtherapeutic vitamin D treatment on glycemic and lipid parameters in Type 2 diabetes: A pilot prospective randomized trial. *Journal of Diabetes*, 2(1), 36-40.
- Pittas, A. G., Lau, J., Hu, F. B., & Dawson-Hughes, B. (2007). The role of vitamin D and calcium in type 2 diabetes. A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 92(6), 2017-2029.
- Rejeski, W. J., Ip, E. H., Bertoni, A. G., Bray, G. A., Evans, G., Gregg, E. W., & Zhang, Q. (2012). Lifestyle change and mobility in obese adults with type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine*, 366(13), 1209-1217.
- Scragg, R., Sowers, M., & Bell, C. (2004). Serum 25-hydroxy vitamin D, diabetes, and ethnicity in the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Diabetes Care*, 27(12), 2813-2818.
- Sigal, R. J., Kenny, G. P., Boulé, N. G., Wells, G. A., Prud'homme, D., Fortier, M., Reid, R. D., Tulloch, H., Coyle, D., Phillips, P., Jennings, A., & Jaffey, J. (2007). Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes; A randomized trial. *Annals of Internal Medicine*, 147(6), 357-369.
- Singh, M. A. F., Ding, W., Manfredi, T. J., Solares, G. S., O'Neill, E. F., Clements, K. M., Ryan, N. D., Kehayias, J. J., Fielding, R. A., & Evans, W. J. (1999). Insulin-like growth factor I in skeletal muscle after weight-lifting

- exercise in frail elders. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 277(1), 135-143.
- Snowling, N. J., & Hopkins, W. G. (2006). Effects of Different Modes of Exercise Training on Glucose Control and Risk Factors for Complications in Type 2 Diabetic Patients A meta-analysis. *Diabetes Care*, 29(11), 2518-2527.
- Verschueren, S. M., Bogaerts, A., Delecluse, C., Claessens, A. L., Haentjens, P., Vanderschueren, D., & Boonen, S. (2011). The effects of whole body vibration training and vitamin D supplementation on muscle strength, muscle mass, and bone density in institutionalized elderly women: A 6 month randomized, controlled trial. *Journal of Bone and Mineral Research*, 26(1), 42-49.
- Volpi, E., Nazemi, R., & Fujita, S. (2004). Muscle tissue changes with aging. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 7(4), 405-410.
- Von Hurst, P. R., Stonehouse, W., & Coad, J. (2010). Vitamin D supplementation reduces insulin resistance in South Asian women living in New Zealand who are insulin resistant and vitamin D deficient - a randomized, placebo-controlled trial. *British Journal of Nutrition*, 103(4), 549.
- Wang, T. J., Pencina, M. J., Booth, S. L., Jacques, P. F., Ingelsson, E., Lanier, K., Benjamin, E. J., D'Agostino, R. B., Wolf, M., & Vasani, R. S. (2008). Vitamin D deficiency and risk of cardiovascular disease. *Circulation*, 117(4), 503-511.
- Yarasheski, K. E., Pak-Loduca, J., Hasten, D. L., Obert, K. A., Brown, M. B., & Sinacore, D. R. (1999). Resistance exercise training increases mixed muscle protein synthesis rate in frail women and men  $\geq 76$  yr old. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 277(1), 118-125.
- Zhou, Q. G., Hou, F. F., Guo, Z. J., Liang, M., Wang, G. B., & Zhang, X. (2008). 1,25-Dihydroxy vitamin D improved the free fatty acid induced insulin resistance in cultured C2C12 cells. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 24(6), 459-464.
- Ziambaras, K., & Dagogo-Jack, S. (1997). Reversible muscle weakness in patients with vitamin D deficiency. *Western Journal of Medicine*, 167(6), 435-439.

## The Effects of 12-Weeks of Vitamin D Supplementation and Circuit Training on Skeletal Muscle Mass in Elderly Women with Type-2 Diabetes Mellitus and Vitamin D Deficiency

Gina Ok, Hyung-Jun Kim, Chang-Kyun Kang, Man-Gyoon Lee, & Hyon Park

*Kyung Hee University*

The objective of this study was to investigate the effects of 12-weeks of vitamin D supplementation and circuit training on skeletal muscle mass in elderly women with type 2 diabetes mellitus and vitamin D deficiency. Forty eight elderly women with type-2 diabetes mellitus and vitamin D deficiency were randomly assigned to control(n=10), vitamin D supplement(n=11), exercise(n=12), and vitamin D supplement+exercise(n=15) groups. Dependent variables were measured before and after the 12-week interventions. Major outcomes included body composition, fasting glucose, insulin, and 25(OH)D concentration. ASM(apependicular skeletal muscle mass), SMI(skeletal muscle mass), and HOMA-IR (homeostasis model for insulin resistance) were calculated. Women assigned to the vitamin D supplement consumed 1,200 IU of vitamin D orally per week for 12 weeks. Women assigned to the exercise intervention performed a circuit training at an intensity of 60%~80% of  $HR_{max}$  with a frequency of 3 days per week for 12 weeks. Compared to control group, all groups had significant loss of body weight and increases in serum 25(OH)D after the 12-week intervention. ASM and SMI increased significantly in only vitamin D+exercise group. Regardless of treatments, no significant group differences were found in changed scores of fasting glucose, insulin, and HOMA-IR. In conclusion, vitamin D + exercise would improve the loss of ASM and SMI compared with vitamin D or exercise alone.

**Key Words:** Type 2 Diabetes Mellitus, Vitamin D Deficiency, Sarcopenia 