근감소증을 가진 고령자의 근육량, 근력 및 신체 수행력에 저항 운동의 효과: 체계적 고찰과 메타분석

김경민¹ PhD, 강현주² PhD

¹University of Miami Kinesiology and Sport Sciences, ²순천향대학교 스포츠의학과

Effects of Resistance Exercise on Muscle Mass, Strength, and Physical Performances in Elderly with Diagnosed Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis

Kyung Min Kim¹ PhD, Hyun Joo Kang² PhD

¹Department of Kinesiology and Sport Sciences, University of Miami, Coral Gables, FL, USA; ²Department of Sports Medicine, Soonchunhyang University, Asan, Korea

PURPOSE: Sarcopenia, also known as the age-related loss of muscle mass and muscle fitness, and physical performance, has been related to many adverse health outcomes. Resistance exercise may have an important role in effecting strategy for sarcopenia in aging populations. The purpose of this study is to systematically assess the effects resistance exercise interventions on muscle mass, muscle strength, and physical performance in elderly diagnosed with sarcopenia.

METHODS: A comprehensive search on electronic databases, including PubMed, EMBASE, CINAHLPlus, SPORTDiscus, KERIS, KISS, and NAL were conducted. Eligible studies were divided into exercise and randomized controlled trials in elderly with sarcopenia. Searches retrieved 1,067 titles. Eighty full texts were evaluated, and seven studies were used for final systematic reviews. CMA (Comprehensive Meta-Analysis) ver 3.0 was used for meta-analysis.

RESULTS: Meta-analysis showed that lower muscle mass ($ES=0.579$, 95% CI: 0.266-0.892, $p=.000$), appendicular muscle mass ($ES=0.341$, 95% CI: 0.006-0.676, $p=.046$), right hand grip strength ($ES=0.739$, 95% CI: 0.216-1.262, $p=.006$), left hand grip strength ($ES=0.692$, 95% CI: 0.167-1.217, $p=.010$), knee extension strength ($ES=1.448$, 95% CI: 0.273-2.624, $p=.016$), and timed up and go ($ES=1.471$, 95% CI: 0.492-2.450, $p=.003$) significantly improved in response to resistance exercise programs.

CONCLUSIONS: Sarcopenia is increasing with the growing elderly population; thus prevention and effective interventions are very important. The data suggest that resistance exercise may be actual in enhancing not only appendicular muscle mass, but also knee extension strength and timed up and go in elderly diagnosed with sarcopenia. Further follow-up studies on larger populations and a variety of approaches are required to reconfirm these results.

Key words: Sarcopenia, Resistance exercise, Meta-analysis, Elderly

서론

2, 30대 건강한 성인의 최고치에 도달한 근육량은 이후부터 매년 약 1%씩 감소하기 시작하여 50대가 되면서 사지 근육량을 중심으로 더욱

가속화된다[1]. 전세계적으로 고령 인구는 급증하고 있는 추세이며 노화로 인한 근력 및 근기능 감소가 신체적 수행력을 저하시키고 이로 인한 통증과 질병 발생이 우려되고 있다[1]. 1989년에 Rosenberg [2]는 노화로 인한 근육량의 감소와 더불어 근력과 근기능이 퇴화되는 것을

Corresponding author: Hyun Joo Kang Tel +82-10-7920-1280 Fax +82-41-530-1297 E-mail violethjk@hanmail.net

Keywords 근감소증, 저항성 운동, 메타분석, 노인

Received 19 Dec 2019 Revised 28 Apr 2020 Accepted 29 Apr 2020

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

근감소증(sarcopenia)이라고 명명하였다. 최근 더욱 주목받고 있는 노인성 증후군인 근감소증은 낙상 위험, 기능상 문제, 삶의 질 저하, 사망률 증가 등 건강상의 다양한 부작용을 초래할 수 있다[2].

신체활동이나 운동은 고령자에게 신체구성과 근기능을 향상시킬 수 있는 효과성이 높은 개선택이라 할 수 있으며, 근감소증이 있는 노인도 근육량과 근력 증가, 독립생활 개선 및 낙상 감소 등 긍정적인 결과를 가져오게 된다[3,5]. 여러 선행연구에서 저항운동은 근육량과 근력을 증진시키는 가장 효과적인 중재요법임을 증명해오고 있으며[6-9], 유산소운동보다 독립적인 일상생활을 장기간 유지하는데 보다 적절한 방법으로 제시하고 있다[10,11]. 하지만 대부분의 저항운동에 대한 선행연구들은 운동량이나 형태에 따른 골격근 크기와 근력 변화에 대한 효과를 검증한 것이며[12-14], 근감소증 노인을 대상으로 근육량이나 근기능 변화를 살펴본 실험연구나 문헌고찰이나 메타분석 연구는 찾아보기가 어렵다.

근감소증 고령자의 저항운동 유용성을 총체적으로 검증한 연구가 부족하다는 것은 운동과학자나 현장 운동전문가에게 과학적인 근거 기반하에 역할을 수행하는데 큰 제한점이 될 것이다. 시대적인 분위기상 고령 인구가 급격히 증가하고 있고 노화로 유발되는 근감소증에 저항운동이 근육량 및 신체적인 기능에 중요한 역할을 한다는 것을 인지해야 한다. 현시점에 있어 신뢰할 만하고 타당한 선행연구들을 선별하여 체계적 고찰과 메타분석을 통해 저항운동의 효과를 검증해가고 합의를 도출해내는 것은 매우 중요한 과제라고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 근감소증으로 판정된 고령자를 대상으로 진행한 저항운동 연구를 체계적으로 고찰하고 메타분석을 통해 근육량과 근력 및 기능적 신체 수행에 효과적인 운동방법을 검증하여 향후 근감소증에 대한 연구 방향이나 운동프로그램을 구성하는데 의미 있는 자료를 제공하고자 한다.

연구 방법

본 연구의 체계적 고찰연구와 메타분석을 위하여 권고하는 'Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)' [15] 방법을 이용하였다.

1. 문헌 검색

국내의 신뢰할만한 전자 정보서비스인 PubMed, EMBASE, CINAHLPlus, SPORTDiscus, 한국교육학술정보원(KERIS), 한국학술정보(KISS), 국회도서관(NAL)을 통해 문헌을 검색하였다. 출판 시작년도에 제한을 두지 않았으며 2019년 5월 31일까지 수행된 연구로 기간을 정하고 의학주제용어(Medical Subjects Headings, MeSH)를 지원하는 PubMed, EMBASE와 MeSH를 지원하지 않는 CINAHLPlus, SPORT-

Discus로 나누어 검색하였다. 영어 검색어로는 ('sarcopenia' or 'muscle atrophy' or 'muscle weakness' or 'muscle loss' or 'sarcopenic') and ('resistance training' or 'resistance exercise' or 'strength training' or 'weight training' or 'weight-bearing exercise') and ('aged' or 'elderly' or 'older' or 'aging' or 'old' or 'senior' or 'geriatric'), Filters: Randomized Controlled Trial; Humans로 하였다. 한글 검색어로는 ('근감소증' 또는 '근위축' 또는 '근약화' 또는 '근소실')과 ('저항훈련' 또는 '저항운동' 또는 '근력운동' 또는 '웨이트트레이닝' 또는 '체중부하운동')과 ('노인' 또는 '노화')로 검색하였다.

2. 문헌 선별 기준

체계적 고찰을 위한 문헌 선정 기준은 1) 영어와 한국어로 출판된 언어, 2) 노화(aged, aging), 고령자, 노인(elderly, old, older, senior, geriatric), 3) 운동 실험 전과 후로 진행한 비교연구, 4) 무작위통제연구(Randomized Controlled Trials, RCTs)로 한정되었다. 제외기준은 1) 고찰연구, 2) 질병이 있는 환자나 근감소증 기준에 해당되지 않는 대상자, 3) 저항운동을 실시하지 않은 운동중재로 정하였다.

3. 문헌 수집 및 선정

각 전자 정보서비스에서 검색된 연구들은 EndNote (Thomson Reuters, New York) 문헌 관리 프로그램을 이용하여 수집하였고 수집된 논문 가운데 중복 논문은 제거하였다. 문헌 선정을 위한 검색부터 선별 진행은 PRISMA에서 제시한 체크리스트에 따라서 연구자가 검토 과정을 통해 진행하였다. 체계적 고찰과 메타분석을 위한 연구의 선별 과정에 대해서는 Fig. 1에서 자세하게 제시하였다.

4. 메타분석 자료수집

메타분석은 선행연구들을 체계적인 방법을 이용하여 분석함으로써 처치 프로그램의 유용성과 합의를 도출하고 나아가 일반화된 검증 결과를 제시하는 과학적인 방법으로 본 연구에서는 근감소증 고령자의 저항운동 프로그램에 대한 효과를 검증하기 위하여 메타분석을 하였다. 메타분석을 위한 구체적인 선정기준은 근감소증 고령자를 대상으로 대조군이 있는 실험방법으로 설계한 연구이며, 서술 통계치와 추론 통계치가 사용 가능한 연구로 선정하였다.

준거분석틀에 따라 종속변인, 연구자, 출간년도, 표본크기, 실험집단과 통제집단의 사후결과의 평균과 표준 편차를 자료 코딩하였으며 이를 근거로 하여 전체 평균 효과크기와 종속변인별, 중재변인별 효과크기를 산출하였다.

5. 자료처리방법

본 연구에서는 Comprehensive Meta-Analysis (CMA Version 3.0) 프

Fig. 1. PRISMA diagram.

로그그램을 이용하여 수집된 연구의 통합적 효과크기를 분석하였고 Cohen's d의 가이드라인에 따라서 효과크기를 구별하였다. 효과크기는 실험집단과 통제집단 간의 평균 차이를 통제집단의 표준편차로 나눈 값이며, 적은 사례수의 효과크기가 과대추정되는 편향을 교정하기 위해 Hedges'g로 교정한 값을 사용하였다. 95% 신뢰수준(Confidence Intervals, CI)을 계산하였고, 각 효과크기의 가중치(weight)는 분산의 역수(inverse of variance)를 이용하였다. Cohen's d의 가이드라인에 따르면 효과크기 값은 0.5 미만인 경우는 작은 효과, 0.5 이상 0.8 미만의 경우 중간 효과, 0.8 이상일 경우는 큰 효과 크기로 해석하였다. 메타분석에서 얻어진 효과크기는 숲 그림(forest plot)으로 제시하였다. 각 연구 간의 이질성 검정을 위해서 카이제곱 검정법(Q statistic)과 Higgin's I^2 통계량을 사용하였다. 카이제곱 검정법에서 통계적 유의수준이 $p > .1$ 이면 각 연구간의 이질성이 없다고 판단하고 고정효과모형(fixed-effect model)을 사용하였다. 통계적 유의수준이 5% 미만인 그 이외의 집단은 확률효과모형(random effect model)을 사용하였다. 출판편의의 비틀림(publication bias) 검증을 위한 깔때기 그림(funnel plot) 사용은 선정기준에 따라 최종 선정된 연구가 10편 이하의 하부영역으로 나뉘어 논문 수가 적어 객관적으로 판단할 수 없었다. 각 통계량에 있어 신뢰구간은 95%를 기준으로 하였고 통계적 유의수준은 5%로 정하였다.

체계적 고찰에 대한 분석 결과

근감소증으로 진단된 고령자의 저항운동에 대한 체계적 고찰을 위하여 국내 및 국외 전자 정보 서비스를 이용하였고 총 1,067편의 문헌이 검색되었다. EndNote (Thomson Reuters, New York) 문헌 관리 프로그램에서 756편의 중복 논문을 제거하였다. 문헌 제목과 초록을 검토하여 제외기준에 해당되는 문헌을 제외하고 311편을 선별하였으며 전문을 통해 연구자의 검토과정을 거치고 PRISMA에서 제시한 체크리스트에 따라서 9편을 선정하였다. 최종 9편 가운데 2편은 동일 연구자가 동일한 연구에서 추출한 다른 변인을 다른 학술지에 발표한 자료이다. 연구 대상자 정보, 운동프로그램 참여자 정보, 통제집단에 대한 정보, 결과측정에 대해서는 Table 1에 제시하였으며, 저항운동에 사용한 장비, 운동프로그램, 개별운동 혹은 집단운동, 감독자 유무, 점진적 부하증가에 대한 자세한 정보는 Table 2에 제시하였다. 출판 시기에 따라 순서대로 알파벳을 부여하였다.

연구 A [16]는 Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS) [24] 기준에 따라 근감소증으로 진단된 여성 노인 144명을 선정하여 네 집단으로 나누고 운동집단은 12주간 운동프로그램에 참여하였다. 일주일에 2일 1시간 동안 운동자각도(Ratings of Perceived Exertion)의 12-14 강도로 상지 근체력 강화는 저항밴드를 이용하였고 하지 근체력 강화는 발목에 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 kg 중량을 늘려가면서 1, 2세트로 점진적 저항운동을 실시하였다. 운동프로그램 후 통제집단과 비교하였을 때 하

Table 1. Study characteristics

[ref.no] Author (year)	Study subjects (Gender, N)	Exercise or study group (Age, N)	Control (other) group intervention	Sarcopenia diagnostics	Outcome measures
A [16] Kim et al., (2012)	Female, 144	79.0±2.9, 39	Health education once per month	ASMM (kg/m ²) by BIA, cutoff 6.42 kg/m ² for females adopted from Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS) or BMI < 22.0 kg/m ² , and knee extension strength < 1.01 Nm/kg or walking speed < 1.22 m/s	Body composition (muscle mass, ASMM) Muscle strength (knee extension) Physical performance (walking speed)
B [17] Kim et al., (2013)	Female, 128	79.6±4.2, 32	Health education once per month	ASMM (kg/m ²) by BIA, cutoff 6.42 kg/m ² for females adopted from Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS) or BMI < 22.0 kg/m ² , and knee extension strength < 1.01 Nm/kg or walking speed < 1.22 m/s	Body composition (muscle mass, ASMM) Muscle strength (grip strength, knee extension) Physical performance (walking speed, TUG)
C [18] Bellomo et al., (2013)	Male, 40	70.9±5.2, 10	Bulletins with general information about the protocol study and test	MMI (kg/m ²) by DXA, < 2SD of a young reference population adopted from Centers for Disease Control and Prevention (CDCP)	Muscle strength (maximal force contraction of the lower limbs) Physical performance (gait analysis)
D [19] Zdzienlik et al., (2015)	Male, 53	72.1±5.53, 27	Collagen peptide supplementation	Handgrip strength < 32 kg, and SMM (kg/m ²) by DXA, class I < 1-2SD of the sex-specific mean for young adults, or class II < 2SD adopted from European Working Group on Sarcopenia in older people (EWGSP)	Body composition (FFM, FM, BM) Muscle strength (knee extension power)
E-1 [20] Maltais et al., (2016)	Male, 26	64.0±4.5, 10	Protein-rich supplement	SMM (kg/m ²) by DXA, class I and II of < 1SD, respectively, < 2SD of the sex-specific mean for young adults, adopted from National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III) cutoff AMMI < 10.75 kg/m ² or MMI < 18.04 kg/m ² for males	Body composition (muscle mass, AMMI, MMI) Muscle strength (lat pull-down, bench press, chair stand) Physical performance (walking speed, TUG, PASE)
E-2 [21] Maltais et al., (2016)	Male, 26	64.0±4.5, 10	Rice milk or dairy shake	ALMI (kg/m ²) by DXA, cutoff < 10.75 kg/m ² for males adopted from National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III)	Body composition (ALMI, FM, LM) Physical performance (PASE)
F-1 [22] Jung et al., (2017)	Female, 24	74.4±1.1, 12	Normal lifestyle without participating any exercise	ASMI (kg/m ²) by DXA, < 2SD of the sex-specific mean for young adults, cutoff < 5.4 kg/m ² for females adopted from Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS)	Muscle strength (grip strength, chair stand, isokinetic function) Physical performance (TUG)
F-2 [23] Jung et al., (2017)	Female, 24	74.4±1.1, 12	Normal lifestyle without participating any exercise	ASMI (kg/m ²) by DXA, < 2SD of the sex-specific mean for young adults, cutoff < 5.4 kg/m ² for females adopted from Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS)	Body composition (FFM, FM)
G [24] Chen et al., (2019)	Female, 33	66.7±5.3, 17	Daily lifestyles without participating any exercise	ASMI (kg/m ²) by BIA, cutoff < 5.7 kg/m ² and grip strength < 18 kg for females adopted from Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS)	Body composition (SMM, ASM) Muscle strength (grip strength, BS)

ASMM, appendicular skeletal muscle mass; BIA, bioimpedance analysis; BMI, body mass index; DXA, dual-energy x-ray absorptiometry; MMI, muscle mass index; SMM, skeletal muscle mass; FFM, fat free mass; FM, fat mass; BM, bone mass; AMMI, appendicular muscle mass index; ALMI, appendicular lean mass index; TUG, timed up and go; PASE, physical activity scale; TUG, timed up & go; LM, lean mass; MM, muscle mass; ALST, appendicular lean soft tissue; TSM, total body skeletal muscle mass; ASM, appendicular skeletal muscle mass; BS, back strength.

지 근육량($p < .05$)과 보행속도($p < .01$)에서 유의하게 향상되는 결과를 나타내었다.

연구 B [17]는 연구 A의 공동연구자가 참여하여 유사한 방법으로 실시하였으며, AWGS [25] 기준에 해당하는 평균 79세 이상의 여성 노인 128명을 선정하여 실시하였다. 운동 집단은 일주일에 2일 1시간 동안

RPE의 12-14에 해당하는 강도로 상지 근체력 운동은 더블-암 풀다운과 바이셉스컬을 수행하였고 하지 근체력 운동은 레그익스텐션과 힙 플렉션으로 수행하였다. 12주 운동프로그램 결과 보행속도($p < .05$), 최대 보행속도($p < .00$) 및 TUG ($p < .00$)에서 유의한 향상을 보였다.

연구 C [18]는 Centers for Disease Control and Prevention (CDCP)

Table 2. Summary of Exercise intervention

Author (year)	Type of exercise equipment	Individually or a group	Resistance training program	Resistance training type	Supervised or unsupervised	Outcomes
A [16] Kim et al., (2012)	Ankle-weights for lower body and resistance bands for upper body	Group sessions	2 sessions per week over 60 min for 12 weeks, 1-2 sets 8-10 repetitions at 12-14 on RPE Gait and balance training	Resistance bands for upper body strengthening and ankle weights (0.5, 0.75, 1.0, and 1.5 kg) for the lower body	Supervised	Leg muscle mass (kg) $p < .05$ Walking speed (m/s) $p < .02$
B [17] Kim et al., (2013)	Ankle-weights with chair seated for lower body and resistance bands for upper body	Group sessions	2 sessions per week over 60 min for 12 weeks, 1-2 sets 8-10 repetitions at 12-14 on RPE Gait and balance training	Double-arm pull downs and biceps curls for upper body Leg extension and hip flexion for the lower body	Supervised	Walking speed (m/s) $p < .001$ Maximum walking speed (m/s) $p < .001$
C [18] Bellomo et al., (2013)	Isoinertial exercise for lower body	Group sessions	1-4 weeks, 3 sets of 12 repetitions at 60-70% of the FMT; 5-8 weeks, 3 sets of 10 repetitions at 75-80% of the FMT; 9-12 weeks, 3 sets of 6-8 repetition at 80-85% of the FMT 2 sessions per week for 12 weeks	Leg press and leg extension	Not reported	Maximal force contraction of the lower limbs: leg extension 90° isometric test (right limb $p < .01$, bilateral $p < .01$) Gait analysis: length of the half-step (cm) $p < .05$, width of the step (cm) $p < .05$
D [19] Zdzieblik et al., (2015)	Fitness devices	Not reported	1-4 weeks: 15 repetitions 5-9 weeks: 10 repetitions 10-12 weeks: 8 repetitions 3 sessions per week over 60 min for 12 weeks Intensity was based on the number of the actual performance	Pull down, leg press, bench press, back press etc	Supervised	Fat-free mass (kg) $p < .001$ Fat mass (kg) $p < .001$ Bone mass (kg) $p < .001$ Knee extension power (Nm) $p < .05$
E-1 [20] Maltais et al., (2016)	Free weight and resistance equipment	Not reported	3 sets of 6-8 repetitions at 80-85% 1RM 1-hour session on 3 nonconsecutive days per week for 16 weeks	Shoulder press, sit-ups, biceps curls, leg press, rowing extension, bench press, leg extension, and leg curls	Not reported	Muscle mass (kg) $p < .05$ AMMI (kgAFFM/m ²) $p < .05$ MMI (kgFFM/m ²) $p < .05$ Lat pull-down (kg) $p < .05$
E-2 [21] Maltais et al., (2016)	Free weight and resistance equipment	Not reported	3 sets of 8 repetitions at 80% 1RM 1-hour session on 3 nonconsecutive days per week for 16 weeks	Shoulder press, sit ups, biceps curls, leg press, bench press, leg extension, leg curls, and rowing extensions	Not reported	ALMI (kg/m ²) $p < .05$ Lean mass (kg) $p < .05$
F-1 [22] Jung et al., (2017)	Free weight	Group sessions	2-4 sets for 1-hour of circuit exercise program for 3 sessions per week for 12 weeks 1 set per 10 min with 5 min break-time at 60-80% HRR	Squat, shoulder press, twist dash, lunge, jumping jack, kick back, kneeling push-up, crunch, hip bridge, and bird dog	Supervised	LHG (kg) $p < .05$ Isokinetic function: 90°/sec in the peak torque (%BW) $p < .05$ and in the average power (%BW) $p < .05$ 180°/sec, peak torque (%BW) $p < .05$ and total workload (%BW) $p < .05$ TUG (s) $p < .05$
F-2 [23] Jung et al., (2017)	Free weight	Group sessions	2-4 sets for 1-hour of circuit exercise program for 3 sessions per week for 12 weeks 1 set per 10 min with 5 min break-time at 60-80% HRR	Squat, shoulder press, twist dash, lunge, jumping jack, kick back, kneeling push-up, crunch, hip bridge, and bird dog	Supervised	Lean body mass (kg) $p < .05$ Fat free mass (kg) $p < .001$
G [24] Chen et al., (2019)	Kettlebell	Group sessions	2-3 sets of 8-12 repetitions at 60-70% of 1RM 1-hour session on twice a week for 8 weeks Basic (single-movement training) to advanced (comprehensive movement training) levels for progressive resistance training	Kettlebell swing, kettlebell deadlift, kettlebell goblet squat, squat lunge, kettlebell row, single arm kettlebell row, biceps curl, triceps extension, two-arm kettlebell military press, Turkish get up, and comprehensive dynamic workout	Supervised	ASM (kg) $p < .05$ Sarcopenia index $p < .05$ LHG (kg) $p < .05$ RHG (kg) $p < .05$ BS (kg) $p < .05$

RPE, ratings of perceived exertion; TUG, timed up & go; RM, repetition maximum; ASM, appendicular skeletal muscle mass; Sarcopenia index, ASM/m²; LHG, left handgrip; RHG, right handgrip; BS, back strength.

[26]의 기준으로 선정된 40명 가운데 10명의 남성 노인을 대상으로 저항운동이 근력과 균형감각에 미치는 영향을 살펴보았다. 등관성(isoinertial) 근력운동으로 레그프레스와 레그익스텐션을 일주일에 2회 12주 동안 수행하였다. 4주 차까지는 FMT (maximum theoretical force)의 60-70%로 동작 당 12회씩 반복하여 3세트를 실시하고 5-8주 차에는 FMT의 75-80%로 동작 당 10회를 반복하여 3세트를 진행하였고 마지막 9-12주 차에는 FMT의 80-85%로 6-8회 반복하여 3세트를 실시하였다. 운동프로그램 후 등척성 최대근력검사에서 양측 90° 레그익스텐션이 45.1%가 유의하게 향상되는 결과를 보였다($p < .01$). 보행 분석에서도 보행 길이 65% ($p < .05$)와 보행 폭 65% ($p < .05$)이 각각 유의하게 증가하는 결과를 나타냈다.

연구 D [19]는 European Working Group on Sarcopenia in older People (EWGSP)[27] 기준에 해당하는 근감소증 남성 노인 27명을 선정하여 저항운동 후 근육량과 근기능에 미치는 효과성을 검증하였다. 저항운동 집단은 12주 동안 일주일에 세 번 1시간씩 웨이트 장비를 이용하여 풀다운, 레그프레스, 벤치프레스, 백프레스 등을 수행가능한 개별화된 강도로 실시하였다. 1-4주는 15회, 5-9주는 10회, 10-12주는 8회 반복으로 강도가 높아질수록 반복 수는 낮아졌다. 12주 프로그램 후 제지방률($p < .00$), 체지방률($p < .00$), 골밀도($p < .00$)가 유의하게 향상되었으며, 근력을 측정하는 무릎신전 파워($p < .05$)와 한발서기를 통한 지각운동조절($p < .00$) 능력이 유의하게 향상되는 결과를 보였다.

연구 E-1 [20]과 E-2 [21]는 National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) III [28]에 따른 기준에 따라 근감소증으로 진단된 평균 64세 남성 노인 가운데 10명을 대상으로 16주 동안 운동프로그램을 실시하였다. 저항운동을 통해 근감소증 노인의 근육량과 신체적 및 기능적 효과를 살펴보기 위하여 진행하였다. 운동프로그램은 일주일에 3회 비연속적으로 1시간 동안 프리웨이트에 해당되는 숄더프레스, 싯업, 바이셉스컬과 저항머신을 이용하여 레그프레스, 로잉익스텐션, 벤치프레스, 레그익스텐션, 레그컬을 1RM의 80-85%에 해당되는 강도로 6-8회 반복하였다. 실험 중재프로그램 후 총 근육량($p < .05$), 사지근육량 지수($p < .05$), 근육량지수($p < .05$)와 근력에 해당하는 펌프다운($p < .05$)에서 유의하게 향상되는 결과를 나타내었다.

연구 F-1 [22], 연구 F-2 [23]는 국내 연구로 AWGS [25] 기준에 해당되는 여성 노인 24명 가운데 실험집단 12명을 대상으로 12주간 서킷 운동프로그램을 실시하여 근감소증에 대한 효과를 검증하였다. 일주일에 3일 1시간 동안 HRR의 60-80% 강도로 2-4세트 서킷운동을 실시하였으며, 서킷 프로그램은 스쿼트, 숄더프레스, 트위스트데쉬, 런지, 점핑잭, 킥백, 닐링푸쉬업, 크런치, 힙브릿지, 벌드독으로 구성된 10가지 동작을 1세트에 10분 운동과 5분 휴식으로 수행하였다. 12주 프로그램 종료 후 제지방률($p < .05$), 왼쪽 악력($p < .05$), 상완굴신력($p < .01$), TUG ($p < .05$)에서 유의한 향상을 가져왔다. 등속성 근기능에서도 무

릎신전과 무릎굴곡의 체중당 최대힘효율($p < .05$)과 체중당 평균파워($p < .05$)에서 유의하게 증가하는 결과를 보였다.

연구 G [24]는 AWGS [25] 기준에 해당되는 근감소증 여성 노인 33명을 선정하여 운동집단과 통제집단을 무작위로 정하여 운동집단을 케틀벨 운동을 실시하였다. 8주 동안 일주일에 두 번 케틀벨을 이용하여 케틀벨 스윙, 케틀벨 데드리프트, 케틀벨 고블릿 스쿼트, 스쿼트 런지, 케틀벨 로우, 싱글암 케틀벨 로우, 바이셉스 컬, 트라이셉스 익스텐션, 투.암 케틀벨 밀리터리 프레스, 터키쉬 갓업, 종합 동적운동 11가지 동작을 실시하였다. 1RM의 60-70%에 해당하는 강도를 2주 간격으로 점진적인 증가와 동작 당 8-12회 반복으로 3세트씩 1시간 동안 실시하도록 구성하였다. 8주 운동프로그램으로 사지근육량 지수($p < .00$)와 근감소증 지수($p < .00$), 오른쪽 악력($p < .01$), 왼쪽 악력($p < .004$) 및 배근력($p < .00$)에서 유의하게 향상되는 결과를 보였다. 특히, 근감소증 지수, 악력, 배근력은 통제집단에 비하여 상당히 향상되는 변화를 가져왔다.

메타분석 결과

1. 근육량의 변화

1) 총 근육량

근감소증 고령자를 대상으로 저항운동 후 총 근육량에 미치는 영향을 실험한 총 4편의 개별연구를 분석하였다. 4편의 연구를 통합하면, 저항운동을 실시한 대상자는 98명이고 실시하지 않은 대상자는 95명이다. 메타분석 결과에 따르면, 저항운동은 근감소증 고령자의 근육량을 유의미하게 증가시키지 못했고 효과크기는 작게 나타났다(Hedges' $g = 0.27$, 95% CI: -0.01-0.55, $p = .06$; Fig. 2A). 각 연구 간의 효과크기에서 통계적으로 유의미한 이질성이 발견되지 않았다($Q(3) = 1.39$, $p = .71$, $I^2 = 0\%$).

2) 사지 근육량

근감소증 고령자를 대상으로 저항운동 후 사지 근육량에 미치는 영향을 실험한 총 4편의 개별연구를 분석하였다. 4편의 연구를 통합하면, 저항운동을 실시한 대상자는 98명이고 실시하지 않은 대상자는 71명이다. 저항운동은 근감소증 고령자의 사지 근육량을 유의미하게 증가시켰고 효과크기는 중간크기로 나타났다(Hedges' $g = 0.58$, 95% CI: 0.27-0.90, $p = .00$; Fig. 2B). 각 연구 간의 효과크기에서 통계적으로 유의미한 이질성이 발견되지 않았다($Q(3) = 1.86$, $p = .60$, $I^2 = 0\%$).

3) 하지 근육량

근감소증 고령자를 대상으로 실시한 저항운동 후 하지 근육량에 미치는 영향을 실험한 총 2편의 개별연구를 분석하였다. 2편의 연구를 통합하면, 저항운동을 실시한 대상자는 69명이며 실시하지 않은 대상

Fig. 2. Forest plot illustrating standardized mean difference (Hedges' g) for the comparison of (A) total muscle mass, (B) appendicular muscle mass, (C) leg muscle mass, (D) right hand grip, (E) left hand grip, (F) knee extension, (G) walking speed, (H) maximal walking speed, (I) timed up & go between group with and without resistance training intervention and their 95% confidence intervals.

자는 67명이다. 저항운동은 근감소증 고령자의 하지 근육량을 유의미하게 증가시켰고 효과크기는 작게 나타났다(Hedges' $g=0.34$, 95% CI: 0.00-0.68, $p=.05$; Fig. 2C). 각 연구 간의 효과크기에서 통계적으로 유의미한 이질성이 발견되지 않았다($Q(1)=0.47$, $p=.49$, $I^2=0\%$).

2. 근력의 변화

1) 우측 악력

근감소증 고령자를 대상으로 실시한 저항운동 후 우측 악력에 미치는 영향을 실험한 총 2편의 개별연구를 분석하였다. 2편의 연구를 통합하면, 저항운동을 실시한 대상자는 29명이고 실시하지 않은 대상자는 28명이다. 저항운동은 근감소증 고령자의 우측 악력을 유의미하게 증가시켰고 효과크기는 중간크기로 나타났다(Hedges' $g=0.74$, 95% CI: 0.22-1.26, $p=.00$; Fig. 2D). 각 연구 간의 효과크기에서 통계적으로 유의

미한 이질성이 발견되지 않았다($Q(1)=0.29$, $p=.59$, $I^2=0\%$).

2) 좌측 악력

근감소증 고령자를 대상으로 실시한 저항운동 후 좌측 악력에 미치는 영향을 실험한 총 2편의 개별연구를 분석하였다. 2편의 연구를 통합하면, 저항운동을 실시한 대상자는 29명이고 실시하지 않은 대상자는 28명이다. 저항운동은 근감소증 고령자의 좌측 악력을 유의미하게 증가시켰고 효과크기는 중간크기로 나타났다(Hedges' $g=0.07$, 95% CI: 0.17-1.22, $p=.01$; Fig. 2E). 각 연구 간의 효과크기에서 통계적으로 유의미한 이질성이 발견되지 않았다($Q(1)=2.03$, $p=.15$, $I^2=51\%$).

3) 하지 신전 근력

근감소증 고령자를 대상으로 실시한 저항운동 후 하지 신전 근력에

미치는 영향을 실험한 총 3편의 개별연구를 분석하였다. 3편의 연구를 통합하면, 저항운동을 실시한 대상자는 62명이고 실시하지 않은 대상자는 61명이다. 저항운동은 근감소증 고령자의 하지 신전 근력을 유의미하게 증가시켰고 효과크기는 크게 나타났다(Hedges' $g=0.35$, 95% CI: 0.27-2.62, $p=.01$; Fig. 2F). 각 연구 간의 효과크기에서 통계적으로 유의미한 이질성이 발견되었다($Q(2)=13.01$, $p=.00$, $I^2=85\%$).

3. 신체 수행력의 변화

1) 보행 속도

근감소증 고령자를 대상으로 실시한 저항운동 후 보행 속도에 미치는 영향을 실험한 총 3편의 개별연구를 분석하였다. 3편의 연구를 통합하면, 저항운동을 실시한 대상자는 81명이고 실시하지 않은 대상자는 79명이다. 저항운동은 근감소증 고령자의 보행 속도를 유의미하게 증가시키지 못했고 효과크기는 작게 나타났다(Hedges' $g=0.35$, 95% CI: -0.62-1.31, $p=.48$; Fig. 2G). 각 연구 간의 효과크기에서 통계적으로 유의미한 이질성이 발견되었다($Q(2)=16.71$, $p=.00$, $I^2=88\%$).

2) 최대 보행 속도

근감소증 고령자를 대상으로 실시한 저항운동 후 최대 보행 속도에 미치는 영향을 실험한 총 3편의 개별연구를 분석하였다. 3편의 연구를 통합하면, 저항운동을 실시한 대상자는 81명이고 실시하지 않은 대상자는 79명이다. 저항운동은 근감소증 고령자의 최대 보행 속도를 유의미하게 증가시키지 못했고 효과크기는 중간으로 나타났다(Hedges' $g=0.56$, 95% CI: -0.62-1.74, $p=.35$; Fig. 2H). 각 연구 간의 효과크기에서 통계적으로 유의미한 이질성이 발견되었다($Q(2)=16.60$, $p=.00$, $I^2=94\%$).

3) Timed up & go

근감소증 고령자를 대상으로 실시한 저항운동 후 Timed up & go (TUG)에 미치는 영향을 실험한 총 2편의 개별연구를 분석하였다. 2편의 연구를 통합하면, 저항운동을 실시한 대상자는 42명이고 실시하지 않은 대상자는 40명이다. 저항운동은 근감소증 고령자의 Timed up & go를 유의미하게 증가시켰고 효과크기는 크게 나타났다(Hedges' $g=1.47$, 95% CI: 0.49-2.45, $p=.00$; Fig. 2I). 각 연구 간의 효과크기에서 통계적으로 유의미한 이질성이 발견되지 않았다($Q(1)=3.20$, $p=.07$, $I^2=69\%$).

논 의

본 연구는 근감소증으로 진단받은 고령자를 대상으로 저항운동의 효과를 살펴보기 위하여 선별기준에 따라 선정된 논문에 대하여 체계적으로 고찰한 후 효과크기를 통합하여 제시함으로써 통찰력 있는 지식제공을 위해 메타분석을 하였다.

1. 근육량의 변화

노화로 인해 발생하는 근육량 감소는 건강상 다양한 원인으로 작용할 수 있으므로 신체구성의 개선을 위해 안전하고 올바른 저항운동 프로그램이 필요하다. 본 연구에서 저항운동이 사지 근육량에 미치는 영향을 실험한 4편의 개별연구를 통합한 메타분석 결과 사지 근육량이 유의하게 증가되었고 효과크기는 중간크기로 나타났다. 메타분석한 연구를 살펴보면 저항운동은 모두 1시간 프로그램과 저항운동 권고사항인 일주일에 2, 3회 빈도로 실시하였다. 이를 뒷받침하는 Schoenfeld et al. [29]도 저항운동의 빈도를 늘릴 때 근성장과 근육량에서 더욱 긍정적인 결과를 보인다고 하였다. Borde et al. [30]의 메타분석에서도 건강한 노인을 대상으로 시행한 9편의 문헌 가운데 8편이 3회의 운동빈도에서 효과가 나타났음을 입증한 연구들과 유사한 결과로 운동빈도가 근육량을 포함한 신체구성에 중요한 요소라는 사실은 인지해야 할 것이다. 한편, 훈련 빈도가 증가할수록 긍정적인 변화를 보이거나 유의한 변화를 나타내지는 않는다고 제시한 보고도 있어[31], 운동프로그램에 다른 요소들도 신중하게 고려할 필요가 있다. 기간을 살펴보면 8주 정도의 상대적으로 짧은 기간의 저항운동에서도 근육량에 효과적인 변화를 보였고, 특히 연구 G의 경우 8주 처치 후 운동을 중단하고 4주 후에 재측정했을 때도 통제집단보다 상당수준으로 유지하고 있는 경향을 보였을 때 운동을 일시적으로 중단하여도 그 효과는 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 연구 E-1, 2에서 운동빈도나 기간 외에도 8가지 정도의 대근육군을 사용하는 동작을 1시간 동안 3세트 이상 수행하여 근육량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 1RM의 70-79%로 2-3세트와 7-9회 반복했을 경우 메타분석에서 가장 큰 효과성이 검증되었던 연구[30]와 유사하다고 볼 수 있다. 운동 노화와 신체활동 감소로 근육량과 근력의 손실을 가져오는 근감소증은 건강상의 위험을 증가시키므로 근육량의 변화를 관찰하는 것이 매우 중요하며 효과를 높이기 위해서는 적절한 시간과 빈도와 함께 높은 강도의 운동이 요구된다. 또한 근감소증 진단기준인 사지 근육량의 중간 이상의 효과크기가 나타난 연구들은 감독하에 저항운동을 진행한 것으로 프로그램의 구성요소인 운동시간, 빈도, 기간, 강도도 중요하지만 전문가의 지도 하에 실시하는 것이 중요하다는 것을 확인할 수 있었다. 근감소증으로 진단받은 고령층을 대상으로 적합한 프로그램 구성요소와 더불어 여러가지 측면에서 고려되어야 할 것이다. 또한 근육량이 근감소증의 진단기준에 필수 요소이지만 단순히 근육량을 증가시키기 위한 중재방법보다는 독립적인 일상생활능력, 삶의 질 향상, 낙상예방, 장기적으로 사망률에 대한 연관성도 살펴볼 필요도 있을 것이다.

2. 근력의 변화

근력은 운동기능뿐만 아니라 일상생활을 원활하게 수행하는데 반드시 요구되는 건강체력으로, 골다공증, 근감소증, 당뇨병 환자의 당

내성, 요통 등과 관련된 근건 보존, 삶의 질과 자기효능감, 제지방과 안정시 대사율을 유지, 증진시키는데 중요한 역할을 한다[32].

근감소증 고령자를 대상으로 실시한 저항운동 후 악력에 미치는 영향을 실험한 개별연구를 메타분석한 결과 양측 악력이 유의하게 증가되었고 중간크기의 효과크기를 보였다. 하지 신전 근력의 경우에도 유의하게 증가되었고 효과크기는 크게 나타났다. 근력을 평가하는 악력은 인지능력, 가동성, 기능적 능력과 더불어 사망률까지 예측할 수 있는 의미있는 지표이다[33]. 악력이 향상되었다는 것은 단순히 근력의 측면에서만 보는 것이 아니라 정신과 심리적인 요소가 포함되는 인지능력의 긍정적인 변화와 가동성 및 독립적인 일상생활을 개선시킬 수 있다는 것이다. 저항운동은 단순히 근력을 향상시키는데 그치는 것이 아니라 심리적, 사회적, 의학적인 면에서도 중요한 역할을 한다는 것을 선행연구를 통해 확인할 수가 있다.

또한 근감소증의 대표적인 증상인 하지의 근육량과 근력의 저하는 운동 능력과 신체 기능의 감소를 가져와 낙상을 유발할 수 있는 위험요인이다[23]. Borde et al. [30]은 70-79%의 운동강도로 실시할 때 근력증진에 가장 효과적이었다는 메타분석 결과와 유사하게 본 연구에서 분석한 연구에서도 근력에 의미있는 효과를 보인 연구들은 고강도 수준이었다. 평균 70-79세에 해당되는 고령층이며 건강한 노인이 아니더라도 높은 강도의 저항운동을 통해 근력에 긍정적인 효과를 확인할 수 있었다. 특히, 연구 C는 두 개의 동작과 단순한 형태로 구성하였으며 장기간 실시한 프로그램은 아니었으나 최대능력의 60%인 중강도에서 시작하여 85%까지 강도를 높인 것이 좋은 효과에 상당한 영향을 미친 것으로 보인다. 향후 근감소증 노인을 대상으로 근력 증진을 위한 프로그램을 구성할 때 선행된 운동강도는 참고가 될 수 있을 것이다. 운동 세트 수를 살펴보았을 때 주로 3세트로 근력 향상에 긍정적인 결과를 가져온 선행연구들[34-36]과 유사한 프로그램으로 실시하였다. 특히 효과크기가 매우 컸던 연구 F-I에서는 평균 74세에 해당되는 여성노인을 대상으로 서킷운동을 여유심박수의 60-80% 고강도로 1시간동안 2-4 세트 실시한 것으로 노인을 대상으로 근감소증을 향상시키기 위한 저항운동을 진행할 때 운동형태나 강도 등 구성 요소에서 좀더 적극적으로 실시할 수 있는 프로그램 설계가 필요할 것으로 판단된다.

노화가 근섬유 단백질 소실, 근섬유 위축, 호르몬 작용 감소 등을 가속화시켜 근력과 근기능에 문제를 유발시키지만[37], 좌식생활로 인해 근육을 사용하지 않으면 근력이 약해지고 근기능 저하가 질병을 동반하기 때문에 운동이라는 물리적인 방법으로 해결하려는 시도가 반드시 병행되어야 한다.

다만, 연구에서 통계적으로 효과크기의 이질성을 보인 하지 신전 근력의 경우에는 인종별 진단기준, 대상자 특성, 운동기간, 성별 등과 같은 연구 특성을 통제하지 못했다는 제한점으로 출판 편의의 가능성을 배제할 수 없으므로 결과 해석에 좀더 신중을 기해야 할 것으로 여겨

진다. 하지만 근감소증 노인에 저항운동의 중요성을 인식하고 적용하는 것은 시대적으로 의미있는 시도이며 근력향상과 근기능 증진으로 낙상과 독립적인 일상생활에 가장 효과적이고 효율적인 운동프로그램을 지속적으로 탐색할 필요가 있다.

3. 신체 수행력의 변화

근력이 약해진 노인은 근골격계와 고유수용감각이 저하되고 평형 감각이 떨어져 일상생활에 제한을 가져오므로[38], 근기능과 신체 수행력을 높이기 위한 중재가 매우 중요하다. 주로 보행능력, 균형감각, 민첩성을 통해 신체 수행력을 검증하며, 본 연구에서도 근감소증 고령자의 저항운동을 통해 신체수행력에 미치는 영향을 메타분석하여 효과성을 살펴보았다.

신체수행력을 위해 측정된 보행 속도와 최대 보행 속도에서 분석한 논문 간에 이질성이 나타나 확률효과모형(random effect model)을 사용하였다. 메타분석에서 나타나는 연구 간의 이질성에 대한 제한점과 가능한 오류를 줄이기 위해서 관련된 많은 연구들이 축적되어야 할 뿐만 아니라 양질의 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 하지만 연구대상자의 평균 연령이 74세에서 79세인 후기 고령층임에도 저항운동이 최대 보행 속도에서는 효과크기가 중간으로 나타났으며 TUG에서는 유의하게 증가했고 효과크기는 크게 나타났다. Inoue et al. [39]의 근육량 증가가 최대 보행 속도에 개선을 가져온 것처럼 특히 노인에게 있어 보행 길이나 시간이 지연되면 낙상의 위험이 증가하고 사망률을 높이지므로 매우 의미있는 결과라 볼 수 있다. 노인의 근력강화를 위해 ACSM에서 제시하는 저항 운동프로그램은 1주일에 2일 초심자의 경우 1RM의 40-50%인 저강도와 숙련자의 경우 1RM의 60-70%인 중강도로 대근육군 8-10 종류의 운동을 각각 8-12회 반복하여 1-3세트 실시를 권고하고 있다[32]. 일반적인 권고사항을 바탕으로 하여 근감소증 노인의 근육량과 근기능 향상을 위해서 높은 강도와 세트 수에 초점을 두고 전문지도자의 감독 하에 프로그램을 진행하는 것이 중요할 것으로 보인다.

주목할 점은 Jung [22]이 실시한 고강도 서킷운동으로 파워와 속도를 높이는데 효과적인 결과를 보인 것처럼, 고찰한 연구들은 주로 고강도 운동으로 실시하였다. 노인의 주요 사망원인 낙상예방이나 계단 오르기 등의 일상생활을 원활하게 수행하기 위해서는 순간적인 상황에 대처하거나 빠르게 움직일 수 있는 능력이 필요할 것이다. 속도를 높여 민첩성과 파워를 향상시킬 수 있는 저항운동을 적용한다면 근육의 빠른 수축과 신경근이 자극되면서 신체 수행력은 더욱 강화되고 반복적인 고강도 훈련에 적응하여 부상 위험을 낮추는 데도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다. 근감소증 고령층에 전통적인 저항운동을 바탕으로 동적 평형성과 민첩성 증진을 위한 운동프로그램으로 구성되어야 할 것이다.

현재까지 근감소증에 해당되는 노인을 대상으로 한 운동연구를 수행하는데 여러 제한점이 존재하여 많은 연구들이 진행되지는 않았다. 즉, 근감소증의 진단기준에 대한 확립은 10년이 채 되지 않았으며, 진단기준도 비만을 선별하는 신체질량지수가 동서양이 다른 것처럼 근감소증의 기준도 동서양이 별도로 확립되어 있다. 현재까지 연구자와 인종에 따라 매우 다양한 진단기준을 제시하고 있으며 향후에는 진단기준이 명확하게 확립되고 운동과 더불어 영양, 심리, 약물 등 다학제적인 접근으로 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

또한 진단기준인 근육량, 근력, 신체수행력이 모두 포함되는 근감소증 고령자가 아직까지 많지 않으므로 적은 수의 대상자를 선별하여 연구를 진행하는데 어려움이 있다. 하지만 급격하게 증가하는 노인인구에 대비하여 노인의 일상적인 독립생활과 삶의 질을 증진시켜 나아가 의료비 절감에 일조할 수 있는 최적화된 운동방법을 제시하려는 노력이 필요하다. 일반적인 저항운동 프로그램이 아닌 근감소증 예방이나 개선을 위한 저항운동의 효과성 검증을 위하여 더욱 활발한 연구가 진행되고 축적되어야 할 것이다.

결론

본 연구는 근감소증 노인의 저항운동 효과성에 대한 연구를 체계적으로 고찰하고 메타분석을 통해 운동방법에 대하여 효과성을 검증하고자 하였다. 저항운동은 대근군 위주의 동작으로 일주일에 2-3회의 빈도로 고강도로 실시했을 경우에 효과가 극대화되는 결과를 보였다. 현재까지 근감소증 노인을 위한 운동프로그램에 대한 권고사항이 명확하지 않으나 현재 체계적으로 고찰한 문헌을 종합했을 때, 저항운동은 하지 근육량, 하지 신전 근력, 최대 보행시간과 TUG에 긍정적인 효과가 있음을 확인하였으며 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 여겨진다. 노인 인구의 급격한 증가와 근감소증은 건강상에 문제가 되고 있으므로 운동전문가의 지도하에 안전하고 구조화된 프로그램이 지속적으로 발전되어야 할 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 2019학년도 순천향대학교 교수 연구년제에 의하여 연구하였음.

CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: KM Kim; Funding acquisition: HJ Kang; Writing - original draft: KM Kim; Writing - review & editing: KM Kim, HJ Kang.

ORCID

Kyung Min Kim <https://orcid.org/0000-0003-3382-0841>

Hyun Joo Kang <https://orcid.org/0000-0001-9810-4040>

REFERENCES

1. Doherty TJ. Invited Review: aging and sarcopenia. *J Appl Physiol* 95(4):1717-1727, 2003
2. Roubenoff R, Hughes VA. Sarcopenia: current concepts. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2000;55(12):M716-24.
3. Montero-Fernandez N, Serra-Rexach JA. Role of exercise on sarcopenia in the elderly. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2013;49:131-43.
4. Rosenberg IH. Epidemiologic and methodologic problems in determining nutritional-status of older persons. *Proceedings of a conference. Am J Clin Nutr*. 1989;50(5):1231-3.
5. Phu S, Boersma D, Duque G. Exercise and sarcopenia. *Journal of Clin Densitom*. 2015;18(4):488-92.
6. Suetta C, Andersen JL, Dalgas U, Berget J, Koskinen S, et al. Resistance training induces qualitative changes in muscle morphology, muscle architecture, and muscle function in elderly postoperative patients. *J Appl Physiol*. 2008;105(1):180-6.
7. Mayer F, Scharhag-Rosenberger F, Carlssohn A, Cassel M, Muller S, et al. The intensity and effects of strength training in the elderly. *Dtsch Arztebl Int*. 2011;108(21):359-64.
8. Breen L, Phillips SM. Interactions between exercise and nutrition to prevent muscle waste during ageing. *Br J Clin Pharmacol*. 2013;75(3):708-15.
9. Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, Kjaer M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(1):49-64.
10. Forbes SC, Little JP, Candow DG. Exercise and nutritional interventions for improving aging muscle health. *Endocrine* 2012;42(1):29-38.
11. Hollmann W, Strüder HK, Tagarakis CV, King G. Physical activity and the elderly. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2007;14(6):730-9.

12. Latham NK, Bennett DA, Stretton CM, Anderson CS. Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2004;59(1):48-61.
13. Liu CJ, Latham NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009;8(3):CD002759.
14. Steib S, Schoene D, Pfeifer K. Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(5):902-14.
15. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, et al. The PRISMA statement for reporting systematic review and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Med*. 2009;6(7):e1000100.
16. Kim HK, Suzuki T, Saito K, Yoshida H, Kobayashi H, et al. Effects of exercise and amino acid supplementation on body composition and physical function in community-dwelling elderly Japanese sarcopenic women: a randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc*. 2012;60(3):16-23.
17. Kim HJ, Suzuki T, Saito K, Yoshida H, Kojima N, et al. Effects of exercise and tea catechins on muscle mass, strength and walking ability in community-dwelling elderly Japanese sarcopenic women: a randomized controlled trial. *Geriatr Gerontol Int*. 2013;13(2):458-65.
18. Bellomo RG, Iodice I, Maffullp N, Maghradze T, Coco V, et al. Muscle strength and balance training in sarcopenic elderly: a pilot study with randomized controlled trial. *Eur J Inflamm*. 2013;1:193-201.
19. Zdzienlik D, Oesser S, Baumstark MW, Gollhofer A, König D. Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: a randomised controlled trial. *Br J Nutr*. 2015;114(8):1237-45.
20. Maltais ML, Ladouceur JP, Dionne IJ. The effect of resistance training and different sources of postexercise protein supplementation on muscle mass and physical. *J Strength Cond Res*. 2016;30(6):1680-7.
21. Maltais ML, Perreault K, Courchesne-Loyer A, Lagacé JC, Barsalani R, et al. Effect of resistance training and various sources of protein supplementation on body fat mass and metabolic profile in sarcopenic overweight older adult men: a pilot study. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2016;26(1):71-7.
22. Jung WS, Lee MG. Effects of a 12-week circuit training on daily living fitness, isokinetic function, and biochemical property of muscle in sarcopenia elderly women. *Korean J Phy Edu*. 2017;56(5):679-91.
23. Jung WS, Lee MG. Effects of 12 weeks of circuit training on body composition and surrogate indices of major lifestyle disease in sarcopenia elderly women. *Kor J Sports Sci*. 2017;26(6):1113-24.
24. Chen HT, Wu HJ, Chen YJ, Ho SY, Chung YC. Effects of 8-week kettlebell training on body composition, muscle strength, pulmonary function, and chronic low-grade inflammation in elderly women with sarcopenia. *Exp Gerontol*. 2018;112:112-8.
25. Chen LK, Liu LK, Woo J, Assantachai P, Auyeung TW, et al. Sarcopenia in Asia: consensus report of the Asian working group for sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc*. 2014;15(2):95-101.
26. Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, Romero L, Heymsfield SB, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol*. 1998;147(8):755-63.
27. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*. 2010;39(4):412-23.
28. Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc*. 2002;50(5):889-96.
29. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Effects of resistance training frequency on measures of muscle hypertrophy: systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2016;46(11):1689-97.
30. Borde R, Hortobagyi T, Granacher U. Dose-response relationships of resistance training in healthy old adults: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2015;45(12):1693-720.
31. McLester JR, Bishop P, Williams ME. Comparison of 1 day and 3 day per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *J Strength Cond Res*. 2000;14(3):273-81.
32. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 10th ed., Wolters Kluwer; 2018.
33. Rijk JM, Roos PR, Deckx L, van den Akker M, Buntinx F. Prognostic value of handgrip strength in people aged 60 years and older: a systematic review and meta-analysis. *Geriatr Gerontol Int*. 2016;16(1):5-20.
34. Peterson MD, Rhea MR, Sen A, Gordon PM. Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2010;9(3):226-37.
35. Radaelli R, Wilhelm EN, Botton CE, Rech A, Bottaro M, et al. Effects of single vs. multiple-set short-term strength training in elderly women. *Age(Dordr)*. 2014;36(6):9720.
36. Fleck SJ, Kraemer WJ. Designing resistance training programs. 3rd ed,

- Champaign: Human Kinetics; 2003.
37. Pillard F, Laoudj-Chenivresse D, Carnac G, Mercier J, Rami J, et al. Physical activity and sarcopenia. *Clin Geriatr Med*. 2011;27(3):449-70.
38. Yang J, Lee WH, Kang KS, Kim HS. The effect of the fall prevention exercise program focused on strengthening of the lower extremity muscles on the change of physical function and muscle architecture of the elderly. *J Korea Aca-Industrial Cooperation Soc*. 2015;16(3):1904-19.
39. Inoue W, Ikezoe T, Tsuboyama T, Sato I, Malinowska KB, et al. Are there different factors affecting walking speed and gait cycle variability between men and women in community-dwelling older adults? *Aging Clin Exp Res*. 2016;29(2):215-21.