

SARCOPENIA

근육감소증

유청단백의 이점

집필

케리 파커(Kerri Parker) 영양학자

편집

더글라스 B. 디 리엔조(Douglas B. Di Rienzo) 박사



급속 고령화 사회의 이슈, 근육감소증

Sarcopenia in Rapidly Aging Societies

세계보건기구(WHO) 고령화 생활과(Department of Ageing and Life Course)의 발표에 의하면 60세 이상의 세계 성인 인구가 1980년 이후 두 배로 증가했으며, 2050년에는 20억으로 늘어나고 그 중 4억이 80세 이상이 될 것이라고 한다(WHO, 2012). 특히 한국은 65세 이상 고령인구 비율이 1980년 3.8%에 불과했으나 2050년에는 38.2%가 될 전망이어서 인구 고령화가 더욱 심각하다. 이렇듯 고령화 인구 비율의 급속한 증가가 사회적으로도 이슈가 되고 있는 가운데, 세계적인 고령인구의 증가는 의학의 발달과 영양 상태의 호전 등 건강을 뒷받침해주

는 다양한 지표가 된다. 하지만 수치적인 수명이 늘어나는 것보다는 질적인 수명을 연장시키는 것이 더 큰 의미가 있기 때문에 노인 집단의 특수한 건강과 영양 공급 등에 대한 관심과 노력이 더욱 필요하다.

근육감소증(Sarcopenia)이란, 노화가 진행되면서 골격근량이 줄어들고, 기능이 떨어지면서 가끔 체지방 증가를 동반하는 현상을 말한다. 그 원인은 부족한 신체 활동, 단백질 동화 호르몬의 변화, 만성질환, 염주, 인슐린 저항, 영양 불균형 등 다양하다(Fielding 외, 2011).

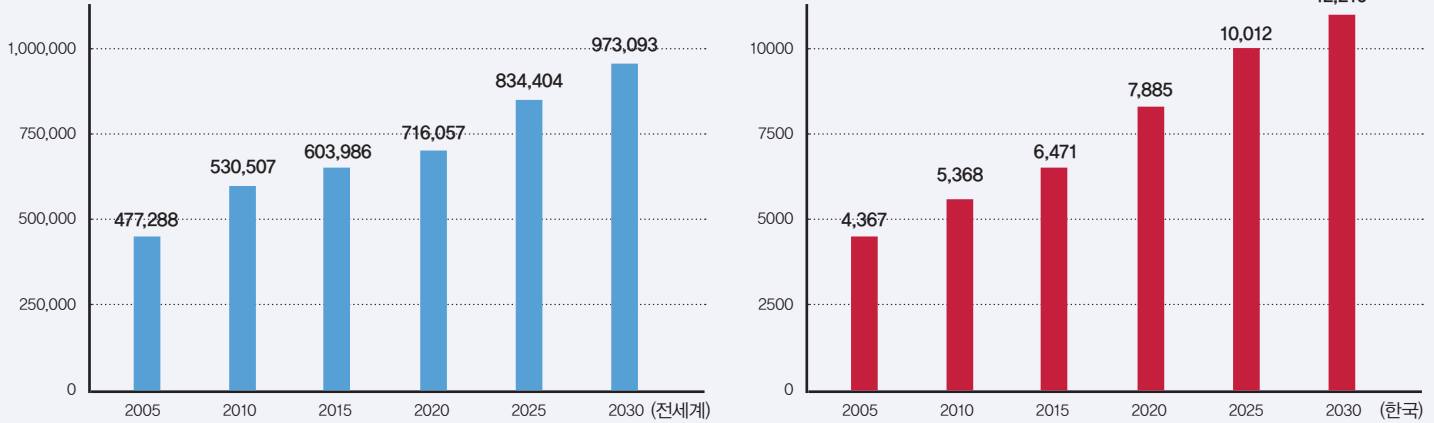
건강 연구 전문가들은 호르몬을 이용하거나 신체적, 영양적인 부분을 통해 점점 커지는 건강 문제를 해결할 수 있는 방법들을 제안하고 있다. 이 중 단백질 소비는 일상생활에서 근육량과 기능적 용량을 유지하는 데 도움이 되는 가장 중요한 요인 중 하나다. 이 논문은 근육감소증을 통해 글로벌 건강 문제를 해결해 더 나아가서는 고령화 인구의 질적 수명을 연장시키는 데 도움을 주고자 한다.

특히 운동을 했을 때와 하지 않았을 때 단백질이 미치는 영향에 관한 최근의 연구들에 주목한다. 또한 유청단백이 무지방 신체 질량을 만들고 유지하는데 있어서 어느 정도의 효과가 있는지, 근육감소증의 위험을 얼마나 감소시킬 수 있는지도 함께 살펴본다.

근육감소증(Sarcopenia)이란
 노화가 진행되면서 골격근량이
 줄어들고, 기능이 떨어지면서
 가끔 체지방 증가를
 동반하는 현상을 말한다.

고령 인구 연간 증가율 예측 Projections of Aging Population Growth by Year

65세 이상 인구 수(단위: 천)



출처: 유엔 사무국 경제 사회부 인구 분과 위원회, 세계 인구 전망: 2010년 개정

근육감소증과 의료비

2000년 미국에서 근육감소증으로 사용된 의료비만 185억 달러다. 이는 그해 의료비 총액 중 1.5%에 달한다(Janssen 외, 2004). 2000년 3,500만 명이었던 65세 이상의 미국인은 2010년 4000만 명으로 증가했는데 이는 총인구의 13.1%에 달한 것이다. 2020년에는 5,500만 명에 이를 것이고, 2030년에는 7,210만 명, 즉 미국 인구의 19.3%를 차지하게 될 것이라고 예측하고 있다(미국 보건복지부, 2011). 한국의 경우, 2011년 한국보건산업진흥원의 발표에 의하면 생애주기별 의료비 분포는 65~84세 노인층이 40%로 가장 많았고, 1인당 생애의료비 및 65세 이후 1인당 의료비는 최근 5년(2007~2011년)간 증가한 것으로 나타났다. 경제협력개발기구(OECD)는 한국이 2050년 일본에 이어 세계 2위의 고령화 국가가 될 것이라고 내다보고 있어서 의료비에 대한 부담은 앞으로 더 커질 것으로 보인다.

이미 노령인구의 증가는 세계적인 현상이 되었다. 세계보건기구는 “이런 고령화 현상은 유럽이나 북아메리카와 같은 부유한 지역에서 시작해 이제는 저개발국가와 개발도상국에서도 나타나고 있다. 20세기 중반까지는 전 세계적으로 1,500만을 약간 웃돌았던 80세 이상의 고령인구가 2050년이 되면 중국에서만 1억 명에 다다를 것이며, 전 세계적으로는 4억 명에 이를 것이다.” 고 발표했다(2012b). 이렇게 세계적으로 고령인구가 급속도

로 증가함에 따라 근육감소증과 그와 관련된 질병의 의료비가 앞으로 공중보건 관련 이슈로 떠오를 것으로 보인다. 따라서 근육감소증을 더 잘 이해하고 관리하는 것이 노인의 건강과 삶의 질을 적극적으로 개선시킬 수 있을 뿐만 아니라 노화에 수반되는 의료비를 감소하는 데 도움이 될 수 있을 것이다.

근육감소증이란?

Sarcopenia:
Definition, Etiology, and implications

근육감소증은 노화로 인한 근육량과 기능의 상실을 의미한다. 이러한 현상은 대개 근육이 위축되기 시작하는 55세 이후에 발생하는데, 빠르면 40세에도 일어날 수 있다. Rolland 외 연구자들이 언급했듯이(2008) 50세부터는 근육 손실률이 매년 1%에서 2%씩 증가하고, 이때부터 시작해 근력도 매년 1.5%씩 감퇴하여 60세를 넘어서면 3%로 가속화된다고 추정하고 있다. 유럽 임상 영양 대사 학회(European Society on Clinical Nutrition and Metabolism)와 노인 영양 및 약액질(쇠약)에 관한 특별이익필요집단(Special Interest Needs Group on Geriatric Nutrition and Cachexia)에 의하면 아래의 두 조건을 충족시킬 경우 근육감소증으로 진단 받을 수 있다고 한다(Muscaritoli, 2010):

1. 성과 인종적 배경이 동일한 젊고 건강한 집단의 평균 근육량 비율보다 표준편차 2배 이상 낮은 사람.
2. 저속 보행자; 4m 걷기 테스트에서 초당 0.8m 이상 걷지 못하는 사람.

고령자 근육감소증 유럽워킹그룹(The European Working Group on Sarcopenia in Older People)은 근육감소증 진단 기준을 확대해 낮은 근육량을 가지고 있거나 저조한 신체적 활동을 하거나 약한 근력을 가지고 있는 성인도 근육감소증에 해당된다고 밝혔다(Cruz-Jentoft 외, 2010). 이러한 의견은 근육감소증 진단의 양적인 범위를 제공하고 있다. 하지만 본인이 진단 범위에 해당되지 않는 성인일지라도 근육량이나 기능적 능력과 근력에 있어서 가시적인 퇴화를 경험할 수도 있다는 것을 인정하는 것이 중요하다.

근육감소증의 복잡한 원인

근육감소증은 다양한 원인을 들고 있다. 나이가 들면서 근육량이 줄어든다는 것은 단백질 합성이 줄어들었거나, 단백질이 파손되었거나, 혹은 둘 다를 의미한다(Boirie, 2009; Lang 외, 2010). 단백질 동화 호르몬의 변화, 염증이나 질병으로 인한 이화 작용 자극, 불충분한 단백질 섭취나 저조한 신체 활동과 같은 영양적인 요소들을 포함한 많은 대사 요인들이 이런 불균형의 원인이 될 수 있다(Rolland 외, 2008; Boirie, 2009).



근육감소증은

많은 성인들이 노화가
진행되면서 경험하게 되는
근육량 및 기능의 상실을
의미한다. 이러한 현상은 대개
근육이 위축되기 시작하는 55세
이후에 발생하는데, 빠르면
40세에도 일어날 수 있다.

근육감소증과 호르몬

인슐린, 성장호르몬(GH), 성호르몬과 같은 단백질 동화 호르몬은 단백질 합성과 파괴에 영향을 줄 수 있다. 또한 노화가 진행되면 호르몬의 생성과 호르몬의 민감도에도 많은 변수가 생길 수 있다. 인슐린은 근육단백 합성을 증진시키고 파괴율을 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다. 하지만 노화가 진행되면서 근육의 활동에 불균형이 초래될 수 있다(Boirie, 2009). 인슐린은 아미노산 흡수를 조절하고 단백질 가수분해를 감소시키며 단백질 합성을 촉진시키는 등 인체에서 중요한 역할을 한다. 그러므로 불균형적인 인슐린 활용 능력을 보이는 노

인들은 동화작용이 감소하고 단백질 파괴율이 높아지기 쉽다(Walrand 외, 2011). 인슐린과 호르몬 구조가 비슷한 인슐린 유사 성장인자(IGF-1)도 성인과 노인의 근육에 단백질 동화작용의 영향을 미친다. 노화가 진행되면 국부적으로 근육 생성량이 줄어들고 간의 생산활동을 촉진시키는 성장호르몬이 감소하여 인슐린 유사 성장인자 레벨이 낮아진다. 저조한 인슐린 유사 성장인자 레벨은 단백질 합성에 박차를 가하는 호르몬의 능력에 불균형을 초래하고 근육단백의 파괴율을 상승시킨다(Lang 외, 2010). 성장호르몬과 인슐린 유사 성장인자의 감소는 내장지방의 증가와 관련이 있다. 테스토스테론과 에스트로겐도 모두 근육에 동화작용을 미친다. 혈청 테스토스테론은 나이가 들면서 감소하게 되며 부분적으로는 인슐린 유사 성장인자의 상승 발현을 통해 근력과 동화작용에 직접적으로 관계한다. 여성에게 에스트로겐 수치는 폐경기 후에 급속도로 줄어든다. 또한 염증성 시토카인은 단백질 합성을 감소시키고 단백질 파괴를 촉진시켜 근육량을 감소시킨다. 게다가 만성적으로 낮은 혈중 염증성 시토카인 수치는 과체중이나 비만 혹은 복부 지방 함량이 높은 개인에게 발생할 확률이 높다. 이렇게 낮지만 만성적인 염증성 시토카인은 근육량에 악영향을 주고 근육감소증과 인슐린 저항과 같은 건강에 이상을 가져올 수 있다(Walrand 외, 2011). 인슐린 저항은 노화가 진행됨에 따라 커지며 인슐린 활성에 손상을 입히거나 전염증성 시토카인의 수치를 늘려 단백질 합성과 파괴 사이의 균형을 방해한다.

근육감소증과 고단백 섭취

음식 섭취량과 소비되는 영양소는 근육감소증 발병에 영향을 줄 수 있다. 생리적으로 노화가 되면 식욕이 감퇴하는데, 이때 음식 섭취량이 줄면서 몸무게와 근육량도 줄어들 수 있다(Ahmed & Haboubi, 2010). 노인과 젊은 성인은 아미노산의 활용 능력이 다르기 때문에 단백질 요구량도 다르다고 추정한다. 노인은 근육과 근력을 만들기 위한 식이단백질을 활용하는 능력에 손상을 입게 된다. 이론적으로는 차이가 있지만 일반적으로 기초 단백질 합성율은 노화 때문에 줄어드는 것은 아니라고 알려져 있다(Koopman & van Loon, 2009; Breen & Phillips, 2011). 그러나 노인의 단백질 합성율은 젊은이와 비교해볼 때 아미노산

과 같은 근육 강화 촉진 인자들에게 더 저항하는 편이다(Fry & Rasmussen, 2011).

결과적으로 근육이 노화되면 낮아진 아미노산에 젊은이보다 덜 민감해지게 되는데, 이것은 단백질 합성을 촉진시키기 위해 고단백질 식사를 할 필요가 있다는 것을 말해준다. 명확히 밝혀지지는 않았지만 노화된 근육의 동화작용 저항은 신체활동이 줄어든 것이 원인이거나 노화로 인해 발생한 염증을 처리하는 과정이 쇠퇴하면서 발생하는 것으로 보여지는데, 이로 인해 단백질 전환이 방해 받을 수 있다(Breen & Phillips, 2011). 연구 결과에 따르면 동화작용은 고용량의 단백질, 특히 필수아미노산과 분지사슬 아미노산을 섭취함으로써 유지될 수 있다고 한다(Volpi 외, 2003). 이것은 같은 근육량을 얻기 위해서는 노인들이 더 많은 단백질이 필요할 것이라는 추가적인 증거를 제공한다. 그러므로 소비되는 단백질의 양과 질이 노인의 단백질 합성에 영향을 줄 수 있다고 보여진다. 이것은 논문의 후반부에서 더 구체적으로 다루어질 것이다.

근육감소증과 신체 활동

신체활동이 낮으면 근육량과 기능적 능력이 떨어진다. 노이가 들어도 적극적인 신체 활동을 유지해야 전반적인 건강은 물론 근육도 유지할 수 있다. 신체 활동 중 유산소운동과 무산소 혹은 저항 운동은 고루 이루어져야 한다. 걷기, 조깅, 사이클링, 수영 같은 유산소운동은 체중 관리, 최대 산소 흡수량 증가, 심혈관 계통을 좋게 해주지만 근력이나 근육량의 증가에는 큰 도움이 되지 못한다. 고른 건강을 위해서는 두 가지 운동이 고루 이루어져야 한다. 유산소운동은 근육 내 체지방을 감소시키고 근육의 기능을 개선해주며 저항운동은 근육의 단백질 합성과 근육량 및 근력을 증가시킨다(Rolland 외, 2008).

노화가 진행되면 근육량이 줄어들 뿐만 아니라 근력도 감소되며 근육의 손실도 온다(Doherty, 2003). 노화로 인한 근육 기능 상실은 의자에서 일어나기, 계단 오르기, 균형감각 되찾기 등의 일상생활을 저해할 수 있다(Lang 외, 2010). 더구나 근육 상실은 칼로리를 태울 수 있는 능력을 감소시켜 노화로 인한 체지방 증가를 촉진시킬 수 있다(Koopman & van Loon, 2009).

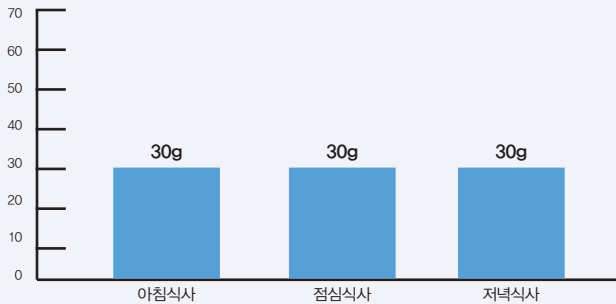
근육감소증 해소를 위한 방법

Developments in the Management of Sarcopenia

무지방 근육을 위한 단백질 섭취

현재 미국 단백질 권장 섭취량은 성인 체중 1kg당 0.8g이다(한국 권장량은 아래 표 참조). 그러나 최근 보고에 의하면, 기존의 단백질 권장량이 특히 노년층에게는 충분하지 않다고 말하고 있다(Wolfe, 2012). 노인은 식이단백질에 대한 동화반응이 둔하고 순수 근육량과 기능적인 능력을 보존하기 위해 더 많은 단백질이 필요하다는 가설에 따르면 체중 1kg당 최소 1.0g에서 1.5g의 단백질을 섭취하는 것이 최선이다. 예를 들어 68kg 성인은 매일 102g의 단백질을 섭취해야 한다(Morley 외, 2010).

A. 적절한 단백질 분배 Adequate Protein Distribution



B. 부적절한 단백질 분배 Inadequate Protein Distribution

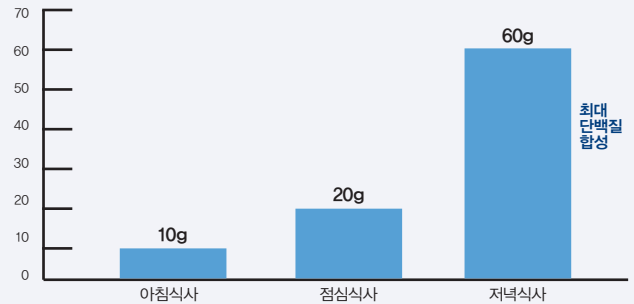


도표 1: 매끼 섭취한 단백질량과 그에 따른 동화 반응 사이의 관계를 보여주는 도표

(A) 단백질 90g을 세 끼에 고르게 나눠 섭취. (B) 하루 동안 단백질 90g을 고르지 않게 섭취.

도표 A에서 볼 수 있듯이 매끼 단백질을 규칙적으로 섭취하는 것이 불규칙적으로 섭취하는 것보다 근육단백 합성을 최대한으로 자극시킬 수 있기 때문에 24시간 동안 단백질 동화작용이 훨씬 더 활발하다는 것을 알 수 있다(Paddon Jones & Ramussen, 2009).

한국 단백질 권장섭취량 표 한국인 단백질 영양 섭취 기준(g/일)

연령	기준	권장섭취량	
		남	여
0~5개월	모유 섭취량	9.5(AI)	9.5(AI)
6~11개월	질소 균형+단백질 축적	13.5	13.5
1~2세	질소 균형+단백질 축적	15	15
3~5세	질소 균형+단백질 축적	20	20
6~8세	질소 균형+단백질 축적	25	25
9~11세	질소 균형+단백질 축적	35	35
12~14세	질소 균형+단백질 축적	50	45
15~18세	질소 균형+단백질 축적	55	45
19~29세	질소 균형	55	50
30~49세	질소 균형	55	45
50세 이상	질소 균형	50	45
임신(2/3)	모체와 태아를 위한 단백질 축적		+15/+30
수유	모유 분비량		+25



양질의 식이단백질 섭취의 중요성

노년층은 단백질 섭취량뿐 아니라 섭취 시간과 단백질의 질이 중요하다. 매일 적당량의 질 좋은 단백질을 섭취하는 것이 근육 동화작용을 촉진시키는 가장 좋은 방법이다. 그 방법으로는 매 끼 음식을 통한 단백질 섭취가 중요하데, 식사 때 마다 25~30g이 좋다. 단, 그 이상 초과 섭취해도 무지방 근육량은 늘어나지 않는다. (Paddon-Jones & Rasmussen 2009). 노인의 근육 동화작용을 개선시키기 위해서는 섭취하는 단백질의 질도 중요하다. 필수 아미노산, 특히 가장 중요한 류신을 함유한 단백질은 근육 단백질 동화작용을 최대로 높이고 단백질 파괴도 감소시키는 것으로 나타났다 (Waters 2010). 류신은 세포 증식 및 단백질 합성을 조절하는 mTOR 신호전달경로를 자극하는 데 있어서 중요한 역할을 한다(Blomstrand 외, 2006; Fengna 외, 2011; Farnfield 외, 2012). 유청단백은 고농도의 류신을 함유하고 있으며 근육단백 합성을 빠르게 상승시키는 것으로 알려져 있다 (Churchward-Venne 외, 2012; Breen & Phillips 2011; Waters 외, 2010). 그 외 노화 관련 근육 손실을 지연시키고 예방, 치료하기 위한 비타민 및 호르몬 요법들이 연구되고 있지만 이 요법들은 식이 단백질 섭취 및 신체 활동만큼 지속적인 효과를 보여주지 못하고 있다.

유청 및 다른 우유 단백질을

함유한 유청단백이나

고농도 단백질을 보충하게 되면

노화로 인해 발생하는 근육량

손실을 효과적으로 치료할 수

있는 것으로 밝혀졌다.

삶의 질 향상을 위한 저항운동과 유산소운동

노화가 진행되면 적절한 영양 공급만큼 신체 활동도 중요하다. 웨이트트레이닝이나 요가 같은 저항운동은 근육량과 근력을 기르는 데 효과적인 것으로 알려졌다. 이런 저항운동은 노인의 골격근량과 근력을 키우고 기능을 향상시켜 근육감소증 발병을 저하시키는 데 효과적이라는 것이 많은 연구들에 의해 밝혀지고 있다(Koopman & van Loon 2008; Burton & Sumukadas, 2010). 근력을 키워가면서 점차 개인의 저항 훈련 강도를 높여가는 점진적인 저항 훈련이 특히 효과적이다. 최근 Cochran 리뷰에 따르면 121 케이스의 무작위 대조군 연구 결과 힘과 저항력을 이용한 근육운동을 한 노인들이 더 건강해졌고, 걷기나 서기와 같은 간단한 활동과 목욕이나 음식 준비와 같은 복잡한 활동 능력이 개선되었음이 증명되었다고 한다(Liu & Latham, 2009). 또한 달리기, 걷기, 수영, 자전거 타기, 에어로빅 등 유산소운동은 골격근의 산화 능력을 향상시키는데, 이는 근육이 산소를 더 잘 활용할 수 있게 되어 더 오랫동안 활동을 하거나 유지할 수 있다. 뿐만 아니라 미토콘드리아 기능 및 효소 활동을 증대시키고 체지방을 감소시켜 기능적 능력을 향상시킨다(Koopman & van Loon 2008; Burton & Sumukadas, 2010).

식이단백질의 예방과 치료 효과

근육감소증 유발을 억제시키기 위한 다양한 방법들이 연구되고 있지만 신체 활동과 식이단백질 섭취, 특히 유제품의 유청단백 섭취는 전 세계적으로 건강을 개선시키고, 예방해주는 방법으로 손꼽히고 있다.

- Malafarina 외 연구자들은 2012년 근육에 단백질을 주로 한 영양 공급을 했을 때 나타나는 결과를 연구하기 위한 체계적인 실험을 하였다. 평균 65세에서 85세 사이의 총 1,287명의 피실험자를 대상으로 17가지의 연구를 실시하였는데, 단백질 영양 보충이 근육량과 기능을 모두 효과적으로 개선시키는 것으로 나타났다. 이 효과는 신체 활동과 함께 했을 때 더 큰 효과가 있는 것으로 보고되었다.
- Cermak 외 연구자들은 2012년 저항운동을 하는 젊은층과 노년층에게 단백질을 섭취하게 하

면 효과가 더 커지는지 시험해보기 위한 메타분석을 실시하였다. 노인 피실험자에게 집중된 연구를 실시하기 위해 여섯 가지의 무작위 임상실험을 했는데 이 여섯 집단은 운동을 하지 않고 단백질만 보충하고 그 효과를 검사하였다. 여섯 연구 집단 모두 유제품 단백질이 제공되었는데, 다섯 집단은 유단백질(유청, 우유, 카제인)만 섭취했으며 나머지 한 집단은 혼합 접근법(달걀+고기+유제품)을 사용했다. 개별적으로 산출된 검사 결과에 의하면 모든 연구 결과 플라시보 효과와 비교해 단백질 보충이 체지방 체중량 증가에 크게 도움이 되지 않는 것으로 보고되었다. 하지만 운동을 함께 했던 노인 215 명의 피실험자 실험 결과 단백질 보충으로 인해 체지방 체중량이 38% 증가했고 플라세보와 비교했을 때 근력이 33% 상승된 것으로 나타났다. 실험자들은 “젊은층과 노년층 모두 장기적인 저항운동 훈련을 계속 하면서 단백질을 보충한다면 근육량과 근력을 높일 수 있다”고 결론을 내렸다.

근육감소증과 유청단백의 역할

Whey Protein in the Management of Sarcopenia

식이단백질이 무지방 체중 유지에 중요한 역할을 담당한다는 것이 연구 결과에서 밝혀졌다. 그 중 유제품에서만 있는 유청단백이나 유청 부산물은 근육감소증의 위험을 감소시켜주는 좋은 단백질 원이다. 또한 미국은 세계 최대 유청 생산국이며 식음료 및 영양 제품에서 필요로 하는 다양한 기능적인 특성에 맞는 유청단백을 공급해주고 있다.

고농도 분지사슬 아미노산(BCAA)

유청단백에 고농도로 함유된 분지사슬 아미노산으로는 류신, 이소류신, 발린이 있으며, 모두 근육의 동화작용 및 조직 복구에 중요한 역할을 한다. 유청단백에 포함된 모든 필수아미노산의 농도는 식물성 단백질 공급원의 농도보다 높다(Marshall 2004; Hayes & Cribb, 2008). 뿐만 아니라 풍부한 시스틴의 원천으로서 카제인이나 콩과 같은 다른 단백질보다 시스틴의 농도가 최대 4배까지 높아 근육량의 변화와 전신의 단백질을 조절할 수 있다(Hays & Cribb, 2008).

단백질의 빠른 흡수

우유 속 단백질 중 20%는 유청단백이며 나머지 80%는 카제인이다. 카제인은 위장에서 응유를 형성하기 때문에 소화가 느리고 소장으로 들어가는 속도도 느리다. 반면 유청단백은 빠르게 소화되며 혈중 순환 아미노산 농도를 급속하게 증가 시키므로 '빠른' 단백질이라 불린다(Boirie 외, 1997). 이 혈장 아미노산의 급속한 증가는 유청을 월등하게 우수한 단백질로 만들며 식후에도 무지방 체중 생성을 가능하게 하고 양의 질소 평형을 유지할 수 있게 한다(Marshall, 2004; Phillips 외, 2009; Hulmi 외, 2010).

유청단백의 높은 단백질 함성율

유청단백은 빠른 흡수뿐 아니라 단백질의 함성율도 높다. Pennings 외 연구자들은 2011년 48세 이상 74세까지의 성인을 대상으로 유청이나 카제인 혹은 카제인 가수분해물을 20g 섭취시킨 후 식이단백질의 소화흡수율과 단백질의 근육 부착율을 비교하였다. 이 연구에서는 카제인 가수분해물이 대조군으로 사용되었는데, 그 이유는 가수분해된 카제인의 소화 속도가 유청과 비슷하기 때문이다. 예상대로 유청단백과 카제인 가수분해물 모두 카제인보다 소화흡수율이 훨씬 뛰어났다. 하지만 유청단백의 근육단백 함성율이 훨씬 높았다. 즉, 카제인보다 유청을 섭취했을 때 근육단백 함성율이 더 높은 이유는 빠른 소화흡수율과 높은 류신 함유율 때문이다.



분지사슬 아미노산과 단백질 대사 Branch Chain Amino Acids and Protein Metabolism

유청단백의 고농도 분지사슬 아미노산(BCAA), 특히 류신은 가장 풍부한 식이 아미노산 중 하나이며, 식단의 총단백질량 중 20% 이상을 차지하고 있고 무지방 체중을 촉진시키는 가장 효과적인 분지사슬 아미노산이다(Fengna 외, 2011). 류신 보충물은 골격근을 자라게 하는 역할을 할 뿐 아니라 균형 잡힌 식단에 맞춰 섭취하면 무지방 신체 질량 감소율을 약화시킬 수 있다. 유청단백은 카제인이나 콩보다 높은 아미노산을 함유하고 있어 풍부한 류신 공급원이 되고 있다(Wilson 외, 2011).

아미노산 이화작용은 간에서 일어나지만 분지사슬 아미노산을 퇴화시키는 효소의 양은 적다. 따라서 70%의 분지사슬 아미노산은 단백질을 합성하여 순환시키는 과정이나 근육이나 다른 조직의 대사 과정에서 발생한다(Brosnan & Brosnan, 2006; Wilson 외, 2011). 특히 류신은 직접적으로 근육의 단백질 합성을 자극하는데 이것은 근육단백 이화작용을 약화시키는 데 기여하는 반이화작용의 기능을 가지고 있다.

근육감소증과 비만 Sarcopenia and Obesity

근육감소증은 전 세계적으로 증가하고 있는 건강 문제로 손꼽히고 있지만, 전반적인 건강과 삶의 질 그리고 의료비에 미치는 영향은 심각한 수준이다. 노화와 관련된 근육량 손실은 근력, 힘, 기능, 일상생활에 부정적인 영향을 미친다. 또한 노화로 인해 아래와 같은 원치 않는 현상들이 생기게 된다.

- 골다공증
- 낙상, 질병에 대한 민감성 증가(Dutta, 1997; Janssen, 2002; Doherty, 2003).

근육감소증은 노년에 발생하는 체지방량의 증가에 의해 종종 가려지기도 한다. 이러한 상태를 근육감소형 비만(Sarcopenic Obesity)이라 하는데, 비만과 근육감소증 각각의 증상보다 더 심각한 영향을 준다. 노인들의 지방 분포는 피하와 사지에서 복강, 간 및 근육으로 재분배된다. 이러한 재분배로 인해 허리둘레가 증가하고 심장병 및 당뇨병과 같은 대사 질환의 위험성이 높아질 수 있다(Walrand 외, 2011). 또 다른 연구 결과 노인의 사망률 증가에 영향을 미치는 내장 비만의 증가와 근육량 감소 사이의 독립적인 연관성이 밝혀졌다(Wannamethee 외, 2007).



하루 35g의 유청단백 섭취

Pennings 외 연구자들은 2012년 유청의 섭취량이 노인의 아미노산의 흡수와 그 후 활용도에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위한 용량반응 연구를 실시하였다. 33명의 73세 노인을 무작위로 선별하여 신뢰할 수 있는 유청단백을 10g, 20g 혹은 35g을 섭취하도록 했다. 이 단백질 보충제의 섭취는 필수아미노산과 류신의 흡수율을 모두 빠르게 상승시키는 결과를 낳았다. 유청을 10g만 섭취한 피실험자에 비해 35g을 섭취한 피실험자가 필수아미노산과 류신의 농도가 두드러지게 높은 것으로 나타났다. 전반적인 단백질의 산화율도 35g을 섭취한 대상군들이 가장 높았다. 전신의 단백질 균형이 유청단백의 섭취량이 증가하면서 단계적으로 눈에 띄게 좋아진 것도 관찰되었다. 10g과 비교했을 때 전신의 단백질 합성율은 20g과 35g을 섭취한 집단 모두에서 높아진 반면, 근육단백 합성율은 35g을 섭취한 집단에서만 높아진 것으로 발견됐다. 실험 결과, 노인이 근육을 만들기 위해서는 더 많은 아미노산을 흡수할 수 있는 35g의 유청단백을 섭취하는 것이 유익하다는 결론을 낼 수 있었다. 그러므로 유청단백을 많이 섭취하는 것이 노화에 수반되는 근육 손실을 막는 데 도움이 된다고 볼 수 있다.

유청단백 섭취와 필수 아미노산

Katsanos 외 연구자들은 2008년 유청단백이 골격근을 증가시키는 이유가 유청의 필수아미노산 때문인지를 확인하기 위한 실험을 실시하였다. 각 5명으로 구성된 집단의 65세에서 85세의 노인들에게 환약으로 만든 15g짜리 유청단백, 7.57g의 필수아미노산, 6.72g의 비필수아미노산 중 하나를 투여하였다. 그 결과 유청단백을 섭취하게 되면 단백질이 부족되었는지 알려주는 표지가 되는 페닐알라닌의 상승률이 최고점을 찍는 것을 발견하게 되었다. 유청단백을 섭취한 집단은 근육 파괴를 막고 단백질 합성률을 높여주는 혈중 인슐린 반응이 높아졌다. 높아진 인슐린 농도는 유청이 소화되면서 그 분비가 촉진되는 동안 형성되는 생리활성 펩티드나 비필수아미노산 효과 때문에 일어나는 결과로 보여진다. 연구자들은 유청단백이 류신과 더불어 시스테인의 혈장 농도도 높인다는 것을 알아냈는데, 이는 근육단백 형성을 강화시키는 역할을 하는 것으로 생각된다(Hays & Cribb, 2008). 이 연구 결과로 인해 메커니즘과 관계없이 노인이 유청을 섭취하는 것은 류신이나 필수아미노산 함량을 넘어서 근육 부차에도 유익하다는 것이 밝혀졌다.

유청단백 섭취와 근육 합성

최근의 연구에 따르면, 유청단백 속의 류신은 효과적인 동화작용을 통해 근육감소증을 예방하는 데 도움이 된다고 한다. Mänge 외 연구자들은 2012년 노화한 쥐에게 운동 억제 실험을 하면서 근육 소실을 유발시켰다. 그리고 회복기간 동안 프리 류신(free leucine)을 보충하여 류신이 단백질 합성에 도움이 되는지 살펴보았다. 이 연구에서는 쥐의 뒷다리를 8일간 고정시킨 후 40일간의 회복기간을 두었다. 운동 억제 기간이 끝난 후 쥐들은 카제인+알라닌, 또는 카제인+류신 중 한 가지를 섭취하였다. 연구자들은 프리 류신이 보충된 쥐들에게는 식후 단백질 합성에 긍정적인 영향이 나타난다는 것을 알게 됐는데, 이는 단백질 합성율을 높이고 단백질 가수분해를 조기에 정상화시키는 결과를 가져왔다. 그러나 단백질 합성율이 높아졌음에도 불구하고 이 식단은 근육량을 높이는 데는 실패했다. 연구자들은 빠르게 흡수되는 프리 류신이 카제인 섭취로 인한 추가적인 아미노산의 흡수보다도 더 빨리 동화작용 신호를 보내도록 유도하는 것으로 믿고 있다. 이 가설을 입증하기 위한 시범 연구가 수행되었는데, 이 실험은 유청이나, 카제인과 유청이 모두 포함된 고농도 단백질의 풍부한 류신 식단을 제공해서 류신과 다른 아미노산을 함께 섭취하도록 했다. 그 결과 유청과 고농도 단백질 식단 모두 선행된 실험보다 훨씬 더 많은 단백질 합성율을 보였고, 그 결과 점진적인 근육량의 회복을 보였다. 이렇게 유청 및 다른 우유 단백질을 함유한 유청단백이나 고농도 단백질을 보충하게 되면 노화로 인해 발생하는 근육량 손실을 효과적으로 치료할 수도 있는 것으로 밝혀졌다. Rieu 외 연구자들은 2006년 20명의 건강한 70세(±1)의 노인을 대상으로 단백질 역학 평가 실험을 하였는데, 두 집단 모두 카제인을 주로 한 균형잡힌 식단을 제공하였으나, 한 집단은 류신을 제공하고 다른 집단은 류신을 제공하지 않은 채 실험 전후를 분석하였다. 류신 섭취 그룹은 혈장 류신 농도의 배가 되는 체중 1kg당 0.053g의 류신을 제공받았다. 이 집단의 피실험자들은 다섯 시간 이상 동안 매 20분마다 이 규정식을 섭취하였다. 류신 식단은 이소류신과 발린도 함께 보충했지만, 대조군 집단은 기존에 단백질 동화작용에 어떤 영향도 미치지 못하는 것으로 알려진 알라닌을 보충했다. 이 결과 전신의 단백질 양에는 영향을 주지 못하였으나 류신이 보충됨으로써 단백질 합성분율이 높아지는 것으로 나타났다. 이 연구 결과 노

인 식단의 류신 보충은 노화가 진행되면서 발생하는 근육단백 손실을 막을 수 있는 효과적인 전략이 될 수 있음이 입증됐다.

유청단백 vs. 식물성 단백질

Yang 외 연구자들은 2012년 콩 단백질이 노인의 근육 물질대사에 어떤 영향을 미치는지 조사하였다. 30명의 71세 노인을 대상으로 콩 단백질 0g, 20g, 40g 중 하나를 섭취하게 한 뒤 운동한 다리와 운동하지 않은 다리의 단백질 물질대사를 측정하기 위해 한쪽 다리만 무릎운동을 시켰다. 그리고 비슷한 조건의 대조군에게 가장 순도가 높은 최고등급의 유청단백을 섭취하게 한 뒤 그 반응을 위의 결과와 비교하였다. 단백질 섭취량이 늘어나면서 전체적으로 필수아미노산과 분지사슬 아미노산 그리고 전신의 류신 산화도가 증가하였다. 그러나 혈중 최대 류신 농도는 유청단백을 섭취한 그룹에서 더 높게 나타났다. 무릎운동을 하지 않은 그룹에서는 분리대두 단백질 섭취로 인한 근육의 합성률 증가는 보이지 않았다.

하지만 같은 그룹에서 유청단백을 20g과 40g 섭취하게 하자 합성률이 높아졌다. 운동을 한 다리는 대두단백질을 40g 섭취하게 될 때 근육의 합성률이 증가하였다. 20g과 40g의 유청단백을 비교하면 40g을 섭취하게 될 경우 합성률이 가장 큰 것으로 나타났다. 연구 결과, 순도 높은 유청단백을 섭취할 경우 노인의 근육단백 합성율을 높이는 데 유용하다는 것이 밝혀졌다. 이러한 연구들은 유청단백 섭취와 저항 운동을 병행할 경우 근육감소증을 효과적으로 퇴치할 수 있다는 것을 입증해주는 예이다. 비타민이나 호르몬 보충제와 같은 다른 방법들도 효과가 있겠지만 유청단백과 운동이야말로 노인이 무지방 체중 질량과 최고의 신체적 기능을 유지할 수 있도록 돕는 주요한 방법이 될 것이다.

결론

Conclusion

근육감소증은 고령인구가 증가하면서 함께 증가하는 심각한 건강 문제다. 유청단백은 카제인과 콩 단백질에 비해 류신이 고농도로 함유되어 있고 빠르면서도 효율적인 흡수 능력이 있어서 노화와 관련된 골격근량의 손실을 막을 수 있는 효과적인 도구다. 특히 저항 운동과 병행하여 섭취하는 유청단백은 노화로 인해 발생하는 근육량과 기능적 능력의 감소를 예방 관리하는 핵심 전략이 될 수 있어 노인의 삶의 질과 건강을 증진시키는 데 기여할 것이다. 즉, 수치적으로 증가하는 수명 연장이 아닌 질적인 수명 연장으로 바뀔 수 있는 발견인 것이다.



유청단백과 저항운동의 병행

Exercise, Whey Protein and Their Combined Effects in Managing and Preventing Sarcopenia

유청단백이 노인의 골격근량을 증가시키는 데 도움을 주지만, 신체 활동과 병행한다면 그 효과는 더 커진다. 유산소운동이 심혈관계 건강을 개선하고, 체중/체지방을 조절하며 당뇨병 및 심혈관계 질병의 위험 인자를 전반적으로 감소시키는 데 기여한다는 것은 잘 알려진 사실이다(Koopman & van Loon 2008, Burton & Sumukadas, 2010). 그러나 근력운동에 해당하는 저항운동과 유청단백을 함께 섭취함으로써 나타나는 효과에 대한 연구는 연구자들과 건강 전문가들의 주된 관심사가 되고 있다.

노화로 인한 근육 손실의 예방

Drummond 외 연구자들은 2008년 젊은층과 고령층을 대상으로 필수아미노산을 보충할 경우 근육단백 합성율이 유사한 비율로 자라나는지 알아보기 위한 실험을 하였다. 대상은 24세부터 77세 사이의 일곱 그룹의 젊은층과 여섯 그룹의 노인층으로 하였다. 한 차례의 하지 저항운동 후 각 피실험자들은 고농도의 유청단백에 함유된 필수아미노산 20g을 섭취하였다. 그리고 근육생체검사를 실시하였는데 실험 전과 섭취 후 1시간, 3시간, 그리고 6시간 후에 채취하여 검사하였다. 젊은 집단의 경우 근육단백 합성이 운동 후 1시간에서 3시간 사이와 3시간에서 6시간 사이 모두 증가하였고, 고령자 집단에서도 동일한 반응을 보였으나 운동 후 3시간에서 6시간 사이에만 합성율이 증가되었다. 따라서 필수아미노산은 젊은층과 고령층에서 모두 유사하게 근육단백 합성을 증가시키지만, 근육단백 합성이 활성화되고 정점에 이르는 시간은 고령층에서 지체되는 것으로 나타났다. 이 연구는 저항운동과 유청단백과 같은 필수아미노산 섭취의 병행이야말로 노화로 인해 발생하는 근육 손실을 예방할 수 있는 유용한 전략임을 입증하고 있다.

근육 합성의 강화

Burd 외 연구자들은 2011년 14명의 건강한 72세 노인들을 두 그룹으로 나눈 뒤 한쪽 다리만 저항운동(레그 익스텐션 10회 3세트)을 하게 한 후, 순도 높은 최고등급의 유청단백(WPI) 20g을 한 그룹에게 섭취하게 하고 또 다른 그룹에게는 미셀라 카제인(MC) 20g을 섭취하게 했다. 혈중 필수아미노산과 류신 농도는 섭취 후 60분 후에 최대치에 다다랐으며 미셀라 카제인보다 유청단백 섭취 후의 농도가 훨씬 높았다. 운동을 하지 않은 다리와 저항운동을 한 다리 모두 근육단백 합성율이 높아졌지만 유청단백을 섭취한 그룹의 합성율이 더 높아졌다.

유청단백의 섭취량

Yang 외 연구자들이 2012년 실행한 연구에 의하면 노인들이 저항운동을 한 후 유청단백을 20g 이상 섭취하게 될 경우 긍정적인 결과가 나타난다고 한다. 이들은 71세의 전반적으로 건강한 37명의 노인들을 대상으로 용량 반응 연구를 실시하였다. 피실험자들을 무작위로 선별하여 네 집단으로 나눈 뒤 한쪽 다리만 저항운동을 시킨 후 유청단백 0g, 10g, 20g, 40g 중 하나가 포함된 음료를 섭취하게 하였다. 혈장 류신 농도는 네 가지 유청단백을 섭취한 후 모두 1시간에서 1시간 반 사이에 최대치를 기록했지만, 가장 많은 용량인 40g을 섭취했을 때 가장 높게 나타났다. 전신의 류신 산화도는 유청단백의 섭취 용량이 높아질수록 단계적으로 높아졌다. 연구자들에 따르면 운동하지 않은 다리 근육의 합성률은 유청단백 0g을 섭취한 그룹과 비교했을 때 20g과 40g의 유청단백을 섭취한 그룹에게서 높게 나왔다. 반면 운동한 다리 근육의 합성률은 운동하지 않은 다리와 비교해봤을 때 모든 레벨의 유청단백 섭취 후 증가되었다. 또한 운동한 다리는 20g과 40g의 유청단백을 섭취한 그룹의 근육 합성률이 0g과 10g의 유청단백을 섭취한 그룹보다 통계적으로 높게 나타났다. 덧붙여 40g의 유청단백을 섭취한 그룹은

20g만 섭취한 그룹보다 근육의 합성률이 32%나 더 높게 나왔다. 그러므로 노인의 경우, 운동 후 유청단백을 최대 40g 섭취하는 것이 근육의 합성률을 높이는 효과적인 전략이 될 수 있으며, 그렇게 함으로써 근육감소증과 관련 있는 근육 손실이 감소하게 된다. Chale 외 연구자들은 2012년 무지방, 근력, 그리고 신체적 기능을 증진시키기 위해 점진적인 저항운동과 함께 유청단백 섭취를 병행하는 것이 효과가 있는지 알아보기 위한 실험을 하였다. 이 실험은 주로 앉아서 생활하며 움직이는 데 한계가 있는 80명의 78세 남녀 노인을 대상으로 하였다. 한 그룹은 유청단백 20g(총 40g)을 2번 제공했고, 다른 그룹에게는 탄수화물 제어식을 실시하였다. 두 그룹 모두 일주일에 세 차례의 저항운동을 실시하였다. 점진적인 저항운동의 결과 6개월 후 전체 무지방률은 두 그룹 모두 증가하였다. 유청단백을 섭취한 그룹의 전체 무지방 증가율은 1.3%였고, 제어식 그룹은 0.6%였다. 그러나 이 결과는 통계상의 차이는 아니다. 전반적인 식단을 검토해본 결과 40g의 유청단백을 섭취한 그룹에게서 나타난 단백질 순상승분은 단지 18g이었다. 따라서 연구자들은 움직임에 한계가 있는 노인에게 단백질을 보충해주는 것이 어떤 역할을 하는지 이해하기 위해서는 고농도 유청단백의 1회 투여나 다중 투여 등의 관리 연구가 더 이루어져야 하며, 더 많은 시간이 필요하다고 결론을 내렸다.





고령자와 단백질의 섭취

김창근(한국체육대학교)

미국 정년퇴직자 협회(The American Association of Retired Persons)의 보고에 따르면 유럽, 일본, 미국의 경우 2030년에 65세 이상의 고령층이 20~25%에 이를 것으로 예측하고 있다. 그러나 고령화의 문제는 선진국만의 문제가 아닌 우리의 문제로도 다가왔다. 우리나라는 최근 저출산과 급속한 노령화로 2030년에는 주요 20개국(G20) 가운데 4대 노인 국가가 될 것으로 예측되고 있다. 최근 경제협력개발기구(OECD)가 G20 회원국의 2030년 총인구 대비 65세 이상 인구비율 추이를 분석한 결과, 한국은 일본, 독일, 이탈리아에 이어 네 번째로, 2030년에는 우리 국민 4명 가운데 1명은 65세 이상의 고령인구가 될 것이라는 전망을 내놓았다. 우리나라와 함께 2030년의 4대 노인 국가로 예상되는 일본, 독일, 이탈리아의 경우 100여 년 이상의 산업화 과

정을 거쳐 노인 복지 등 사회적 시스템이 상대적으로 잘 갖춰져 있는 선진국들인 반면, 우리나라는 불과 50년 만에 급속한 성장을 이룬 신흥국이다. 따라서 초고령 사회를 감내할 사회적 장치들이 상대적으로 부족할 수밖에 없다. 2030년은 먼 미래의 이야기가 아니다. 바로 우리나라의 초고속 경제성장을 이루어온 주역들의 이야기이다. 최근 웰빙 무드와 지방자치체의 영향으로 지역별로 적지 않은 예산을 시민들의 건강을 위한 시설과 프로그램 제공에 사용하는 곳이 늘어나고 있어 그나마 다행이다. 노화란 한 개인이 일생을 통하여 변화되어가는 과정으로 정의될 수 있지만, 특히 노인으로 분류되는 65세에 초점이 맞춰지며 계층은 경제적 능력이 없거나 사회적, 신체적 변화가 가장 뚜렷하게 나타나는 것으로 특징지어진다. 특히 신체 기능의 저하로 인해 사회활동이 제한되는 계층으로 대변되기도 한다. 노령기에 가장 현저한 신체적 변화는 가령(加齡)과 비례하여 신체를 구성하고 있는 기관들의 기능 저하와 이러한 기능 저하에 따른 신체활동 능력의 감소이다. 그 주요 원인으로는 골격근 점유의 크기나 수의 감소로 인한 근력의 약화를 들 수 있다. 노령기의 근육의 감소현상을 흔히 노화성 근육감소증(sarcopenia)이라고 하는데, 그 원인은 개인에 따라 다양할 수 있다. 일반적으로 신체활동 부족, 단백질 합성의 감소, 호르몬 및 성장호르몬의 변화, 만성질환, 염증, 인슐린 저항 및 식이 칼로리와 단백질 섭취의 불충분 등과 같은 영양 섭취의 불균형에 기인한다. 특히 노년에 종종 일어나는 근육감소증은 근육량의 감소와 거의 비례하여 체지방량이 증가되기 때문에 체중의 변화를 건강의 지표로 삼고 있는 일반인들에게는 관심의 대상으로부터 멀어져 있는 경우가 많다. 노령기가 되면 지방의 분포는 피하와 사지에서 복강, 간 및 근육으로 재분포된다. 이러한 지방의 재분포는 허리둘레의 증가 및 심장병이나 당뇨병과 같은 대사질환으로의 전이를 가속화시킨다. 노인성 근육감소증의 다양한 원인 중 만성질환을 제외한 다른 원인에 대해서는 적당한 운동과 영양으로 근육감소증을 예방할 수 있다. 특히 이 시대의 노인들의 근육감소증은 영양보다는 운동 부족으로 인한 경우가 더 많다. 운동은 신체를 구성하고 있는 모든 기관의 기능을 향상 또는 유지하는 최선의 방법이 될 수 있기 때문이다. 그러나 운동만으로는 성장기나 청년기만큼 근육량 유지에 필

요한 단백질의 합성이 충분하지 못할 수 있다. 이는 노령기의 단백질 합성능력 자체가 낮은 데 기인될 수 있으나 더 중요한 것은 식사량의 감소에 따른 단백질 공급 감소가 원인이 되는 경우도 적지 않다. 최근 많은 연구에서 노인성 근육감소증을 억제하기 위한 방안으로 식사와 더불어 추가적인 단백질 섭취가 근육감소증에 긍정적인 영향이 있다고 보고하고 있으며, 노인들은 소량의 식사로부터 흡수할 수 있는 단백질원이 제한될 수 있기 때문에 우유나 콩 등을 통한 정제된 단백질의 추가적인 섭취가 권장되고 있다. 특히 신체활동이 제한된 초고령자나 환자의 경우에 단백질의 추가적인 섭취는 비활동으로 인한 근육감소를 최소화할 수 있는 중요한 수단이 될 수 있다. 중요한 것은 식사량의 감소에 따른 단백질 공급 감소가 원인이 되는 경우도 적지 않다. 최근 많은 연구에서 노인성 근육감소증을 억제하기 위한 방안으로 식사와 더불어 추가적인 단백질 섭취가 근육감소증에 긍정적인 영향이 있다고 보고하고 있으며, 노인들은 소량의 식사로부터 흡수할 수 있는 단백질원이 제한될 수 있기 때문에 우유나 콩 등을 통한 정제된 단백질의 추가적인 섭취가 권장되고 있다. 특히 신체활동이 제한된 초고령자나 환자의 경우에 단백질의 추가적인 섭취는 비활동으로 인한 근육감소를 최소화할 수 있는 중요한 수단이 될 수 있다.



References

- Ahmed T, Haboubi N. Assessment and management of nutrition in older people and its importance to health. *Clinical investigations in Aging*. 2010;5:207–216.
- Blomstrand E, Eliasson J, Karlsson HKR, and Kohnke R. Branched-chain amino acids activate key enzymes in protein synthesis after physical exercise. *Journal of nutrition* 2006;136:269S–273S.
- Boirie Y, Dangin M, Gachon P, Vasson MP, Maubois JL. Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proceedings of the national Academy of Sciences of the United States of America*. 1997 Dec 23;94(26):14930–14935.
- Boirie Y. Physiopathological mechanisms of sarcopenia. *The Journal of nutrition, Health and Aging*. 2009;13(8):717–723.
- Breen L, Phillips SM. Skeletal muscle protein metabolism in the elderly: interventions to counteract the ‘anabolic resistance’ of ageing. *nutrition and Metabolism (London)*. 2011;8:68. doi:10.1186/1743-7075-8-68.
- Brosnan JT, Brosnan ME. Branched-chain amino acids: enzyme and substrate regulation. *Journal of nutrition*. 2006;136:207S–211S.
- Burd N, Yang Y, Moore DR, Tang JE, Tarnopolsky MA, Phillips SM. greater stimulation of myofibrillar protein synthesis with ingestion of whey protein isolate v. micellar casein at rest and after resistance exercise in elderly men. *British Journal of nutrition*. 2012 Sep 28;108(6):958–62.
- Burton LA, Sumukadas D. Optimal management of sarcopenia. *Clinical investigations in Aging*. 2010 Sep 7;5:217–228.
- Cermak NM, Res PT, De Groot LCPGM, Saris WHM, van Loon LJC. Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis. *American Journal of Clinical nutrition*. 2012;96:1454–1464.
- Chale A, Cloutier GJ, Hau C, Phillips EM, Dallal GE, Fielding RA. efficacy of whey protein supplementation on resistance exercise-induced changes in lean mass, muscle strength, and physical function in mobility-limited older adults.
- The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences. 2012 Oct 31. [epub ahead of print]. doi: 10.1093/geron/gls221.
- Churchward-Venne TA, Burd NA, & Phillips SM. nutritional regulation of muscle protein synthesis with resistance exercise: strategies to enhance anabolism. *nutrition and Metabolism (London)*. 2012 May 17;9:40. doi: 10.1186/1743-7075-9-40.
- Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, cederholm T, Landi F, Martin FC, Michael JP, Rolland Y, Schneider SM et al. Sarcopenia: european consensus on definition and diagnosis: report of the european working group on sarcopenia in older people. *Age Aging*. 2010 Jul;39(4):412–423. doi:10.1093/aging/afq034
- Department of Health and Human Services. uSA. Administration on Aging. A profile of older Americans: 2011. www.aoa.gov/aoaroot/aging_statistics/Profile/index.aspx: p3.
- Doherty TJ. invited review: aging and sarcopenia. *Journal of Applied Physiology*. 2003; 95:1717–1727. Doi 10.1152/jappphysiol-ol.00347.2003.
- Drummond MJ, Dreyer HC, pennings B, Fry CS, Dhanani S, Dillon EL, Sheffield-Moore M, Volpi E, Rasmussen BB. Skeletal muscle protein anabolic response to resistance exercise and essential amino acids is delayed with aging. *Journal of Applied Physiology*. 2008;104:1452–1461. doi: 10.1152/jappphysiol.00021.2008
- Dutta C. Significance of sarcopenia in the elderly. *The Journal of nutrition*. 1997;127:992S–993S.
- Farnfield MM, Breen LB, Carey KA, Garnham A, Cameron-Smith D. Activation of mTOR signaling in young and old human skeletal muscle in response to combined resistance exercise and whey protein ingestion. *Applied Physiology, nutrition and Metabolism*. 2012;37:21–30.
- Fengna L, Yin Y, Tan B, Kong X, Wu G. Leucine nutrition in animals and humans: mTOR signaling and beyond. *Amino Acids*. 2011;41(5):1185–1193. doi: 10.1007/s00726-011-0983-2.
- Fielding RA, Vellas B, Evans WJ, Bhasin S, Morley JE, Newman AB, Abellan Van Kan G, Andrieu S, Bauer J, Breuille D, et al. Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: prevalence, etiology, and consequences. international working group on sarcopenia. *Journal of the American Medical Association*. 2011 May;12(4):249–256.
- Fry CS, Rasmussen BB. Skeletal muscle protein balance and metabolism in the elderly. *Current Aging Science*. 2011 Dec;4(3):260–268.
- Hayes A, Cribb PJ. effect of whey protein isolate on strength, body composition and muscle hypertrophy during resistance training. *Current Opinion in Clinical nutrition and Metabolic Care*. 2008;11:40–44.
- Hulmi JJ, Lockwood CM, Stout JR. effect of protein/essential amino acids and resistance training on skeletal muscle hypertrophy: a case for whey protein. *nutrition and Metabolism (London)* 2010 June 17;7:51. doi: 10.1186/1743-7075-7-51
- Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *Journal of the American geriatrics Society*. 2002;50:889–896.
- Janssen I, Shepard DS, Katzmarzyk PT, Roubenoff R. The healthcare costs of sarcopenia in the United States. *Journal of the American geriatrics Society*. 2004;52(1): 80–85. doi: 10.1111/j.1532-5415.2004.52014.x.
- Katsanos CS, Chinkes DL, Paddon-Jones D, Zhang X, Aarsland A, Wolfe RR. Whey protein ingestion in elderly results in greater muscle protein accretal than its constituent essential amino acid content. *nutrition research*. 2008 Oct;28(10):651–658. doi: 10.1016/j.nutres.2008.06.007.
- Koopman R, Van Loon LJC. Aging, exercise and muscle protein metabolism. *Journal of Applied Physiology*. 2009;106:2040–2048. doi: 10.1152/jappphysiol.91551.2008.
- Lang T, Streeter T, Cawthon P, Baldwin K, Taaffe DR, Harris TB. Sarcopenia: etiology, clinical consequences, intervention and assessment. *Osteoporosis international*. 2010;21(4):543–559. doi: 10.1007/s00198-009-1059-y.
- Liu CJ, Latham NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database of Systematic reviews*. 2009;issue 3. Art. no:CD002759. doi:10.1002/14651858.CD002759.pub2.
- Magne H, Savary-Auzeloux E, Migne C, Peyron MA, Combaret L, Remond D, Dardevet D. Contrarily to whey and high protein diets, dietary free leucine supplementation cannot reverse the lack of recovery of muscle mass after prolonged immobilization during aging. *The Journal of Physiology*. 2012;590.8:2035–2049. doi: 10.1113/jphysiol.2011.226266.
- Malafarina V, Uriz-Otano F, Iniesta R, Gil-Guerrero L. effectiveness of nutritional supplementation on muscle mass in treatment of sarcopenia in old age: a systematic review. *Journal of the American Medical Association*. 2012;(in press):1–8.
- Marshall K. Therapeutic applications of whey protein. *Alternative Medicine review*. 2004; 9(2):136–156.
- Morley JE, Argiles JM, Evans WJ, Bhasin S, Cella D, Deutz NEP, Doehner W, Fearon KCH, Ferrucci L, Hellerstein MK, et al. nutritional recommendations for the management of sarcopenia. *Journal of the American Medical Association*. 2010;11, 391–396. doi: j.jamda.2010.04.014.

34. **Muscaritoli M, Anker SD, Argiles J, Aversa Z, Bauer JM, Biolo G, Boirie Y, Bosaeus T, Cederholm T, Costelli P, et al.** Consensus definition of sarcopenia, cachexia and pre-cachexia: Joint document elaborated by Special interest groups (Sig) "cachexia-anorexia in chronic wasting diseases" and "nutrition in geriatrics". *Clinical nutrition*. 2010;29: 154–159.
35. **Paddon-Jones D, Rasmussen B.** Dietary protein recommendations and the prevention of sarcopenia. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2009;12(1):86–90. doi: 10.1097/MCO.0b013e32831cef8b.
36. **Pennings B, Boirie Y, Senden JMG, Gijsen AP, Kuipers H, Van Loon, LJC.** Whey protein stimulates postprandial muscle protein accretion more effectively than do casein and casein hydrolysate in older men. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2011;93:997–1005.
37. **Pennings B, Groen B, De Lange A, Gijsen AP, Zorenc AH, Senden JMG, van Loon LJC.** Amino acid absorption and subsequent muscle protein accretion following graded intakes of whey protein in the elderly. *American Journal of Physiology, endocrinology and Metabolism*. 2012;302:e992–e999. doi: 10.1152/ajpen-do.00517.2011
38. **Phillips SM, Tang JE, Moore DR.** The role of milk and soy-based protein in support of muscle protein synthesis and muscle protein accretion in young and elderly persons. *Journal of the American College of nutrition*. 2009;28(4):343–354.
39. **Rieu L, Balage M, Sornet C, Giraudet C, Pujos E, Grizard J, Mosoni L, Dardevet D.** Leucine supplementation improves muscle protein synthesis in elderly men independently of hyperaminoacidemia. *The Journal of Physiology*. 2006;575.1:305–315. doi:10.1113/jphysiol.2006.110742.
40. **Rolland Y, Czerwinski S, Abellan Van Kan G, Morley JE, Cesari M, Onder G, Woo J, Baumgartner R, Pillard F, Boirie Y, et al.** Sarcopenia: its assessment, etiology, pathogenesis, consequences and future perspectives. *The Journal of nutrition, Health and Aging*. 2008;12(7):433–450.
41. **Volpi E, Kobayashi H, Sheffield-Moore M, Mittendorfer B, Wolfe RR.** essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults. *American Journal of Clinical nutrition*. 2003;78(2):250–258.
42. **Walrand S, Guillet C, Salles J, Ccagno N., Boirie Y.** Physiopathological mechanism of sarcopenia. *Clinical geriatric Medicine*. 2011;27:365–385. doi:10.1016/j.cger.2011.03.005.
43. **Wannamethee SG, Shaper AG, Lennon L, Whincup PH.** Decreased muscle mass and increased central adiposity are independently related to mortality in older men. *American Journal of Clinical nutrition*. 2007;86:1339–1346.
44. **Waters, D., Baumgartner, r., Garry, P. & Vellas, B.** Advantages of dietary, exercise-related, and therapeutic interventions to prevent and treat sarcopenia in adult patients: an update. *Clinical interventions in Aging*. 2010;10(5):259–270.
45. **Wilson, G, et al.** (2011). Leucine dense whey proteins to optimize anabolic responses in skeletal muscle. *international Journal on nutraceuticals, Functional Foods and novel Foods from research to industrial Application*. 2011;10: 2–3.
46. **Wolfe RR.** The role of dietary protein in optimizing muscle mass, function and health outcomes in older individuals. *British Journal of nutrition*. 2012;108(Suppl. 2):S88–S93. doi: 10.1017/S0007114512002590.
47. **World Health Organization.** Ten facts on aging and the life course. <http://www.who.int/features/factfiles/aging/en/index.html>. (2012a).
48. **World Health Organization.** global brief for World Health Day 2012, good health adds life to years. http://www.who.int/world_health_day/2012. Document number: WHO/DCO/ WHD/2012.2. (2012b). p10.
49. **Yang Y, Breen L, Burd NA, Hector AJ, Churchward-Venne TA, Josse AR, Tar-Nopolsky MA, and phillips SM.** resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men. *British Journal of nutrition*. 2012; Available on CJO 2012 doi:10.1017/S000711451007422.



U.S. Dairy
Export Council®

Ingredients | Products | Global Markets

미국유제품수출협회 한국 사무소

서울시 강남구 도산대로 85길 15-1 우지빌딩

TEL (02) 543-9380

FAX (02) 543-0944

이메일 : dairies@sohnm.com

홈페이지 : ThinkUSAdairy.org