



투석 환자의 근감소증

순천향대학교 부천병원 신장내과

박거늘 · 김선민 · 최윤원 · 최수정

Sarcopenia in Patients with End-Stage Kidney Disease on Dialysis

Geo Neul Park, Seon Min Kim, Yoonwon Choi, and Soo Jeong Choi

Division of Nephrology, Department of Internal Medicine, Soonchunhyang University Bucheon Hospital, Bucheon, Korea

Sarcopenia is characterized by progressive loss of skeletal muscle mass accompanied by a decline in muscle strength and/or physical performance. Sarcopenia may develop in patients with end-stage kidney disease due to multiple contributing factors, including uremia, malnutrition, reduced physical activity, chronic inflammation, and dialysis-related factors. In this population, sarcopenia is strongly associated with decreased quality of life and increased mortality, underscoring the need for early diagnosis and timely intervention. This review was written to provide a comprehensive overview of sarcopenia pathophysiology, diagnostic criteria, and prevalence, and describe therapeutic strategies for sarcopenia in patients undergoing dialysis. **(Korean J Med 2026;101:77-83)**

Key Words: Sarcopenia; Kidney failure, chronic; Dialysis

서론

근감소증은 1989년 Rosenberg에 의해 처음 제시되었으며 노화에 따른 골격근 감소로 정의되었다[1]. 이후 35년간의 연구를 통해 근감소증의 개념은 근육량보다는 근력 및 신체 수행 능력에 중점을 두는 방향으로 변화하였다[2-8]. 이는 근력과 신체기능이 삶의 질, 노쇠, 장애, 사망률에 더 큰 영향을 미친다는 사실이 밝혀졌기 때문이다[9,10]. 이러한 근거들이 축적되면서 근감소증은 단순한 노화 현상을 넘어 독립된 질환으로 인식되었고 2016년 국제질병분류(International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10th revision, ICD-10)에 등재되었다[11]. 국내에서도 달리

분류되지 않는 근육 소모 및 위축(M62.5)이라는 한국표준질병사인분류(Korean Standard Classification of Diseases, KCD) 진단 코드가 새롭게 만들어졌다.

만성 콩팥병의 진행 정도가 근감소증 발생에 미치는 영향에 대해서는 연구마다 상이하지만 사구체 여과율이 45 mL/min/1.73 m² 미만일 때 남성에서 근감소증 위험이 증가한다는 보고가 있다[12,13]. 반대로 근감소증이 만성 콩팥병 발생 위험을 높인다는 연구 결과도 있으며, 중국의 3,676명을 대상으로 한 연구에서는 근감소증이 만성 콩팥병 발생률을 36-48% 증가시키고 질병 악화와도 연관이 있음을 보여주었다[14,15]. 국내 2,238명의 대규모 코호트 연구에서도 만성 콩팥병 환자에서 근감소증이 신기능 악화와 연관이 있음을 확인

Received: 2025. 7. 22 **Revised:** 2025. 12. 7 **Accepted:** 2025. 12. 22

Correspondence to:

Soo Jeong Choi, M.D., Ph.D.

Division of Nephrology, Department of Internal Medicine, Soonchunhyang University Bucheon Hospital, 170 Jomaru-ro, Wonmi-gu, Bucheon 14584, Korea
Tel: +82-32-621-5169, Fax: +82-32-621-5016, E-mail: crystal@schmc.ac.kr

Copyright©2026 The Korean Association of Internal Medicine

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하였다[16].

근감소증의 유병률은 정의 및 인종에 따라 차이를 보여서 0.8-82.0%까지 차이가 크다. 2019년 개정된 정의에 따라 유럽에서의 유병률은 낮아지고 아시아의 유병률은 높아졌다[17]. 앞서 언급된 메타분석에서 아시아 가이드라인에 기반한 만성 콩팥병 환자에게서 근감소증 유병률은 투석 전 17.7% (95% confidence interval [CI], 11.6-24.9), 혈액 투석 환자 31.6% (95% CI, 25.6-38.0), 복막 투석 환자 38.2% (95% CI, 31.5-45.3), 신장 이식 환자 19.1% (95% CI, 9.0-31.7)이다. 이렇듯 근감소증의 유병률에 대해서 연구마다 편차가 있는데 이는 만성 콩팥병 환자에서 수분, 영양 상태와 관련이 있으며 근감소증의 정의를 기존 일반 인구군에서의 기준과 동일하게 사용하는 것이 적절한지에 대한 의문을 제기한다[18].

근감소증의 병태생리

근감소증은 다양한 요인에 의해 유발되며 근육 단백질의 합성 감소와 분해 증가가 주요 병태생리이다[2]. 만성 콩팥병에서는 요독증으로 인한 식욕 부진, 인슐린 저항성 증가, 대사성 산증에 따른 단백질 합성 저하, angiotensin II 과활성화에 따른 단백질 분해 증가, 비타민D 결핍에 의한 위성세포 기능 저하가 복합적으로 작용하여 근감소증을 악화시킨다[19,20]. 특히 말기 콩팥병에서 indoxyl sulfate와 p-cresyl sulfate 등 단백질 결합 요독소는 투석으로 완전히 제거되기 어렵기 때문에 근육세포에 축적되어 미토콘드리아 기능장애와 산화 스트레스에 의한 ubiquitin-proteasome 경로 단백질 분해를 유발한다[21]. 또한 이러한 단백질 결합 요독소는 Akt/mTOR 신호경로 억제제를 통해 근육 단백질 합성을 억제하여 근감소증을 유발한다. 투석 방식에 따라서도 근감소증 유발 기전이 다른데, Hu 등[22]은 복막 투석 환자에서의 근감소증은 주로 지속적인 복막 단백질 소실, 만성적인 당 노출, 신체 활동 감소에 기인하는 반면 혈액 투석 환자는 투석 중 반복적인 염증과 이화 축진이 주된 기전이라고 설명하였다. 이외에도 투석 환자에서는 영양 실조, 인지기능장애, 우울 등이 추가적인 악화 요인으로 작용한다[23].

투석 환자에서 근감소증 진단

2010년 이후 근감소증은 근육량 감소, 근력 저하, 신체기능 저하에 기반하여 진단되어 왔다[2,5,6]. 국내에서는 2023년 대한근감소증학회, 대한골대사학회, 대한노인병학회를 중심으로 근감소증 진단 지침이 제정되었으며[24] 이를 통해 근육량 측정, 신체 수행능력 평가, 근력 평가에 대한 합의가 도출되었다.

유럽 근감소증 가이드라인은 근력 측정을 우선 시행하고 근육량 평가 및 신체기능 검사를 통해 중증도를 평가하도록 제시한 반면 2019년 아시아 근감소증 그룹은 근력과 신체기능 평가 이후 근육량을 평가하는 것을 권고하고 있다. 이는 아시아인이 서양인에 비해 근육량이 적고 근력 및 신체기능 저하에 대한 큰 규모의 연구가 많지 않았기 때문이다. 한편 2024년 국제 근감소증 리더십 협의체(Global Leadership Initiative in Sarcopenia)에서 전 세계 주요 근감소증 전문가들의 델파이 합의 결과 근감소증은 근육량 감소와 근력 감소가 동시에 존재하는 상태로 정의하였고, 신체기능 저하는 근감소증의 구성 요소가 아닌 결과라고 정리하였다[7]. 이에 따라 2025년 개정된 아시아 가이드라인에서도 이 정의를 반영하였다[8]. 또한 개정된 아시아 가이드라인에서는 근감소증을 노년의 질병으로 국한하지 않고 중년부턴의 근육 건강 저하 관점으로 확장하면서 중년에서의 진단 기준을 새롭게 제시하였다.

표 1은 국내에서 이루어진 투석 환자의 근감소증 연구들을 비교 및 분석한 내용이다. 근감소증 평가 중 근력 평가(손의 악력)를 가장 많은 연구에서 변수로 사용하였으며, 국내 가이드라인이 나오기 전까지 근력 저하의 기준이 되는 악력 무게는 연구마다 상이하였으나 주요 결과에 대해서는 공통적으로 높은 예후 예측도를 보였다[23,25-30]. 근감소증 검사는 대체로 혈액 투석 후에 이루어졌으며 midweek 세션에 이루어진 연구들이 많았다[23,25-28]. 이는 체수분 과다 상태에서 근육량 측정의 오류를 예방하기 위한 것으로 생각되며 투석 후 피로 등의 영향으로 근력이나 신체 기능 평가에 영향을 주었을 수 있다. Cha와 Lee [29], Shin 등[31]의 종단 연구 외에는 모두 단면 연구로, 투석 환자에서 근력과 신체기능에 대한 추적 결과에 대한 연구가 추후 더 필요할 것으로 생각된다.

근감소증의 스크리닝 및 진단 기준

근육량 평가

근육량 평가는 전산화단층촬영(computed tomography, CT)이나 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)을 이용한 직접 측정이 근육의 질을 반영할 수 있어 예후 예측력 뿐 아니라 근력 및 신체기능과의 연관성도 높게 보고된다[32]. 그러나 높은 비용과 조영제 노출에 따른 위험으로 인하여 실제 임상에서 1차 검사로 활용되기에는 제한이 있다. 이러한 이유로 이중 에너지 X선 흡수 계측법(dual-energy X-ray absorptiometry, DEXA)이 근육량 평가의 표준 검사로 권고되어 왔으며, 최근에는 다주파 기반 생체전기 임피던스 분석(bioimpedance analysis, BIA)의 임상적 활용도 역시 증가하고 있다. 한 메타분석에 따르면 BIA, DEXA, CT로 근육량 감소를 진단한 환자에서 사망률에 대한 위험도는 각각 1.35 (95% CI, 1.21-1.49), 1.18 (95% CI, 1.06-1.30), 1.44 (95% CI, 1.32-1.57)로 보고되어 CT 기반 진단이 가장 강한 연관성을 보였으나 세 가지 방법 모두 사망률을 유의하게 예측하였다[33].

DEXA는 정확도와 방사선 노출 최소화 측면에서 근육량 평가를 위한 표준 검사로 간주된다. Baumgartner 등[3]은 DEXA를 이용하여 사지 근육량(appendicular skeletal mass, ASM)을 신장의 제곱으로 나눈 ASM/height² 값으로 근육량을 평가할 것을 제안하였다[34]. 이후 체질량지수(body mass index, BMI), 체중 등을 이용한 다양한 보정 방법이 제시되었으나 현재 유럽 가이드라인은 남성 ASM/height² < 7.0 kg/m², 여성 < 5.4 kg/m²를 근육량 감소의 기준으로 제시하고 있다[2]. 아시아 가이드라인은 노년(65세 이상)의 경우 같은 기준을 유지하나 중년(50-64세)의 경우 남성 ASM/height² < 7.2 kg/m², 여성 < 5.5 kg/m²로 새로운 기준을 제시하고 있다[8]. 국내에는 혈액 투석 및 복막 투석 환자의 CT, DEXA를 바탕으로 근육량을 평가한 연구들이 있다[27,32].

BIA는 진료 환경에서 간편하게 사용할 수 있으며[35] 아시아 가이드라인에서는 노년 남성 ASM/height² < 7.0 kg/m², 여성 < 5.7 kg/m², 중년 남성 ASM/height² < 7.6 kg/m², 여성 < 5.7 kg/m²를 기준으로 제시하고 있다[8]. 또한 bioelectrical

impedance spectroscopy (BIS) 역시 국내 혈액 투석 및 복막 투석 환자를 대상으로 사용된 바 있다[23,26,30].

투석 환자는 일반 인구 집단과 비교하여 체성분 분포 및 대사적 특성이 상이하므로 일반 인구 기반 진단 cut-off를 그대로 적용할 경우 근감소증의 과소 또는 과대 진단이 발생할 수 있다. 특히 혈액 투석 환자에서는 투석 전후로 세포 외 수분이 빠르게 변동하여 BIA 기반 lean mass 추정치에 영향을 주며, 체액 과다 상태에서는 세포외액이 증가하고 전기 저항이 낮아져 위상각이 감소됨으로써 근소실을 과소평가하게 될 수 있다[31]. 따라서 BIA를 사용할 경우 평가 기준과 시점을 표준화하는 것이 필요하다. 최근 투석 환자 집단에서 ASM과 악력(handgrip strength)에 대해 적절한 참조 집단의 평균 대비 -2.5 표준편차를 기준으로 cut-off를 도출한 연구가 보고되어 질환-특이적 cut-off의 필요성을 제기한다[36]. 또한 체액 변동에 의한 오류를 최소화하기 위하여 혈액 투석 환자에서는 가능한 한 투석 후 건체중 상태에서, 중간 투석일에 측정하는 것이 권고되며 복막 투석 환자에서는 배액/저류 상태 등 일정한 조건을 표준화하여 평가하는 것이 필요하다[37].

근력 평가

근력 평가는 근육의 질을 반영하는 중요한 지표로 악력(handgrip strength) 검사가 표준으로 사용된다. 아시아 가이드라인은 노년 남성 < 28 kg, 여성 < 18 kg, 중년 남성 < 34 kg, 여성 < 20 kg을 근력 저하로 정의하고 있다[8]. 국내 혈액 투석 환자를 대상으로 한 연구에서도 근력 평가는 주로 악력(handgrip strength) 검사를 통해 이루어졌다(Table 1). 한편 Cha와 Lee [29]는 혈액 투석 환자에서 무릎 신전근력(knee extension strength) 검사를 근력 평가 도구로 활용하였다.

신체기능 평가

2024 국제 근감소증 리더십 협의체와 2025 아시아 가이드라인에서는 신체기능 평가가 근감소증 진단 기준에서 빠지게 되었으나[7,8] 아직 유럽, 미국 및 국내 가이드라인에 포함된 항목이기 때문에, 본 논문에서는 신체기능 평가 방법에 대하여

Table 1. Comparisons of sarcopenia studies among dialysis patients in Korea

Study	Participants			Sarcopenia evaluation			Time of evaluation		Primary outcome	
	Dialysis type	Number of patients	Age (years)	Muscle mass	Muscle strength	Physical performance	Mortality	Other characteristics		
Kim et al. [23] (2014)	HD	95	63.9 ± 10	BIS-LTI ≥ 2SD below	HGS (kg) Male < 30 Female < 20	4MWT	Post-dialysis	Sarcopenia prevalence, 33.7%		
Kang et al. [27] (2017)	PD	631	53.2 (43.2-63.2)	DEXA-AMI Male < 0.789 Female < 0.512			HR, 1.71 (1.28-2.26)			
Kang et al. [32] (2017)	HD	84	55.6 ± 12.8	CT-TMA vs. DEXA+ASM	HGS (kg) Male < 26 Female < 18	SPPB ≤ 10 4MWT < 1 m/s 5STS/STS30 TUG	Post-dialysis (midweek)	CT-TMA is more valuable in predicting physical performance or strength than DEXA-ASM		
Kim et al. [26] (2019)	HD	142	59.8 ± 13.1	BIS-LTI ≥ 2SD below	HGS (kg) Male < 30 Female < 20		Post-dialysis	Cardiovascular events increase HR, 4.33 (1.51-12.43)		
Kim et al. [30] (2021)	PD	160	55.1 ± 11.2	BIS-LTI, 10% decline	HGS (kg) Male < 28.9 Female < 16.8			Independent risk factor (<i>p</i> = 0.01)		
Kim et al. [28] (2021)	HD	75	64 (58-72)	BIA-ASM < median	HGS (kg) Male < 28 Female < 18	6MWT < 1 m/s 5STS ≥ 12 seconds SPPB ≤ 9	Post-dialysis (midweek)	Vascular calcification increase HR, 10.415 (2.357-46.024) Vascular access failure increase HR, 3.652 (1.135-11.749)		
Cha and Lee [29] (2021)	HD	112	62.6 ± 12.7		HGS Knee joint extension muscles			Steady exercise > muscle strength increase HGS (<i>p</i> = 0.07) Knee extension (<i>p</i> = 0.004)		
Kang et al. [25] (2022)	HD	83	56.5 ± 12	CT-TMA/Ht2	HGS	4MWT ≤ 1 m/s SPPB 5STS/STS30 TUG	Post-dialysis (midweek)	Low phase angle > hospitalization increase (<i>p</i> = 0.001) Low phase angle > mortality increase (<i>p</i> = 0.046)		

Values are presented as mean ± SD or median (interquartile range).

HD, hemodialysis; BIS, bioimpedance spectrometry; LTI, lean tissue index; SD, standard deviation; HGS, hand grip strength; MWT, meter walking test; PD, peritoneal dialysis; DEXA, dual-energy X-ray absorptiometry; AMI, appendicular muscle index; HR, hazard ratio; CT, computed tomography; TMA, thigh muscle area; ASM, appendicular skeletal muscle mass; SPPB, short physical performance battery; 5STS/STS30, 5-times/30-seconds sit-to-stand test; TUG, timed-up-and-go; BIA, bioimpedance analysis; Ht, height.

다루고자 한다.

2011년 국제 근감소증 연구회(International Working Group on Sarcopenia)에서 신체 수행능력 평가 방법으로 보행 속도(gait speed)를 측정하는 방법을 제안한 이후[38] 4 m 또는 6 m 보행속도, 6분 보행거리 등 다양한 방식이 임상과 연구에서 활용되고 있다. 측정 방식은 다르더라도 유럽과 아시아 가이드라인은 공통적으로 보행속도 ≤ 0.8 m/s, ≤ 1.0 m/s를 각각 신체기능 저하의 기준으로 제시한다[2,8]. 미국 연구에서는 752명의 혈액 투석 환자 중 42%가 보행속도 ≤ 0.8 m/s를 보여 신체기능 저하를 나타냈다[39].

일어서기-앉기 테스트(sit-to-stand test)는 진료실에서 비교적 간편하게 수행 가능하며 5회 또는 10회 반복 소요 시간 또는 30초간 반복 횟수로 평가한다. 아시아 가이드라인에서는 신체기능 저하의 기준으로 5회 일어서기-앉기에 걸리는 시간을 노년 12초 이상, 중년 10초 이상이 걸리는 것으로 정의하였다[8]. 한 연구에서는 혈액 투석 환자들에게서 10회 반복 시행법이 근력을 잘 반영한다고 보고하였다[40]. 또한 단축 신체 수행능력 배터리(short physical performance battery, SPPB)도 신체기능 평가에 활용 가능하며 SPPB 점수가 낮을수록 사망률 및 입원율이 높아진다는 연구 결과가 보고되었다[41].

투석실에서 현실적으로 적용 가능한 근감소증 스크리닝 프로토콜은 단계적 접근이 유용하다[8,24]. DEXA/CT의 경우 접근성 제한, 검사 비용, 환자 협조 저하 등의 제약이 존재하므로 저비용의 침상 검사를 우선 활용하고 정기적인 BIA를 병행하는 대안적 접근이 임상적으로 타당할 것으로 판단된다. 따라서 우선 3-6개월 간격으로 악력 측정을 정례화하여 근력 저하 여부를 평가하고, 근력 저하가 있거나 애매한 경우 신체기능 평가(보행속도, 일어서기-앉기 검사 등)를 시행한다. 근력 저하가 확인되는 경우 BIA 또는 DEXA를 통해 근육량을 확인하여 근감소증을 확진하는 방법을 추천한다.

투석 환자에서 근감소증의 예후

근감소증은 투석 환자에서 사망률, 입원율, 심혈관 사건 발생 위험 증가와 밀접한 관련이 있다[26,27]. 근육량 감소와 근력 저하는 모두 독립적으로 사망률 및 심혈관 질환 위험을 증가

시키며[26] 보행속도 저하 역시 사망 및 입원 위험과 유의한 연관성을 보인다[39]. 국내 연구에서는 적극적인 신체 활동을 하는 투석 환자에서 예후가 개선된다는 결과가 보고되었다[42].

투석 환자에서 근감소증 치료 및 관리

근감소증 치료는 영양 요법, 운동 요법, 약물 요법을 포함한 다각적 접근이 필요하다. 아시아 가이드라인에서는 중년부터 근육 건강 저하를 스크리닝하여 멀티 모달(저항성 운동, 단백질 섭취 등) 예방적 개입을 강하게 권고하고 있다[8]. 투석 환자에서의 운동 부족은 근감소증 및 신체기능 저하를 유발하여 장애와 노쇠를 악화시킨다[43]. 투석 환자에서 요가, 자전거 운동, 저항성 운동 및 유산소 운동이 피로도 감소, 신체기능 개선, 인지기능 및 삶의 질 향상에 긍정적 영향을 미치는 것으로 보고되었다[44,45]. 특히 혈액 투석 중 자전거 운동은 근력 향상뿐 아니라 심기능 개선과 심혈관 위험 인자 조절에 유익한 것으로 나타났다[29,46]. 또한 한 국내 연구에서는 혈액 투석 중 20분 정도의 저항도 운동이 투석 환자의 피로 감소와 긍정 심리 자본 증가 및 급격한 혈압 변화 예방 효과가 있음을 보여주었다[47]. 일본의 한 연구에서는 60세 이상 혈액 투석 환자에서 투석 전 15분간 의자에서 일어섰다 앉는 운동을 시행한 결과 일상생활 수행능력(activities of daily living, ADL)이 유의미하게 개선되었다고 보고하였다[48].

영양 요법으로는 단백질 섭취 증진과 필수 아미노산 보충이 권장된다. 일부 연구에서 투석 중 경구 또는 정맥 영양을 공급하는 것이 사망률 뿐 아니라 알부민, 체지방량, 악력 등 영양, 기능 지표 개선 효과가 있음을 보여주었다[49,50]. 한편 중국에서 진행된 케토아날로그(ketoanalogue) 보충 연구에서는 염증 지표나 근육량 개선에 명확한 효과를 보이지는 못하였다[51]. 이외에도 비타민D 보충 및 성장호르몬 치료 등이 고려될 수 있다[52,53].

향후 운동 및 영양 요법에 대한 최적 전략 수립을 위하여 국내 실정에 맞는 대규모 다기관 연구가 필요하다.

결론

투석 환자에서 근감소증은 삶의 질 저하 및 사망률 증가를 초래하는 중요한 임상적 문제이다. 따라서 근육량, 근력 등을 통합적으로 평가하고 조기에 진단하여 맞춤형 치료 전략을 적용하는 적극적인 개입이 필수적이다.

중심 단어: 근감소증; 말기 콩팥병; 투석

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

This work was supported by the Soonchunhyang University Research Fund.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: Geo Neul Park, Soo Jeong Choi.

Writing - original draft: Geo Neul Park, Soo Jeong Choi.

Writing - review & editing: Seon Min Kim, Yoonwon Choi, Soo Jeong Choi.

All authors interpreted data and read and approved the final manuscript.

Acknowledgment

This work was supported by the Soonchunhyang University Research Fund.

REFERENCES

1. Rosenberg IH. Sarcopenia: origins and clinical relevance. *J Nutr* 1997;127 Suppl 5:990S-991S.
2. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* 2019;48:16-31.
3. Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol* 1998;147:755-763.
4. Studenski SA, Peters KW, Alley DE, et al. The FNIH sarcopenia project: rationale, study description, conference recommendations, and final estimates. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2014;69:547-558.
5. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing* 2010;39:412-423.
6. Chen LK, Woo J, Assantachai P, et al. Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment. *J Am Med Dir Assoc* 2020;21:300-307.e2.
7. Kirk B, Cawthon PM, Arai H, et al. The conceptual definition of sarcopenia: delphi consensus from the global leadership initiative in sarcopenia (GLIS). *Age Ageing* 2024;53:afae052.
8. Chen LK, Hsiao FY, Akishita M, et al. A focus shift from sarcopenia to muscle health in the Asian Working Group for Sarcopenia 2025 consensus update. *Nat Aging* 2025;5:2164-2175.
9. Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, et al. Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol* (1985) 2003;95:1851-1860.
10. Beaudart C, Biver E, Reginster JY, et al. Validation of the SarQoL®, a specific health-related quality of life questionnaire for Sarcopenia. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 2017;8:238-244.
11. Falcon LJ, Harris-Love MO. Sarcopenia and the new ICD-10-CM code: screening, staging, and diagnosis considerations. *Fed Pract* 2017;34:24-32.
12. An JN, Kim JK, Lee HS, Kim SG, Kim HJ, Song YR. Late stage 3 chronic kidney disease is an independent risk factor for sarcopenia, but not proteinuria. *Sci Rep* 2021;11:18472.
13. Gulcicek S, Seyahi N. Factors associated with sarcopenia in patients with chronic kidney disease: a cross-sectional single-center study. *Med Sci Monit* 2023;29:e939457.
14. Zheng X, Ren X, Jiang M, Han L, Zhong C. Association of sarcopenia with rapid kidney function decline and chronic kidney disease in adults with normal kidney function. *Br J Nutr* 2024;131:821-828.
15. Liu T, Wu Y, Cao X, et al. Association between sarcopenia and new-onset chronic kidney disease among middle-aged and elder adults: findings from the China health and retirement longitudinal study. *BMC Geriatr* 2024;24:134.
16. Kang D, Lee KB, Yoo TH, Kim SW, Oh KH, Kim Y. Impact of serum creatinine- and cystatin C-based sarcopenia index on renal outcomes in non-dialysis-dependent chronic kidney disease patients: results from the KNOW-CKD study. *Mayo Clin Proc* 2024;99:1388-1398.
17. Duarte MP, Almeida LS, Neri SGR, et al. Prevalence of sarcopenia in patients with chronic kidney disease: a global systematic review and meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 2024;15:501-512.
18. Yang SY, Chen JH, Chiang CK, Hung KY. Pathophysiology and potential treatment of uremic sarcopenia. *Kidney Res Clin Pract* 2026;45:160-173.
19. Moorthi RN, Avin KG. Clinical relevance of sarcopenia in chronic kidney disease. *Curr Opin Nephrol Hypertens* 2017;26:219-228.
20. Sayer AA, Syddall H, Martin H, Patel H, Baylis D, Cooper C. The developmental origins of sarcopenia. *J Nutr Health Aging* 2008;12:427-432.
21. Sato E, Mori T, Mishima E, et al. Metabolic alterations by indoxyl sulfate in skeletal muscle induce uremic sarcopenia in chronic kidney disease. *Sci Rep*

- 2016;6:36618.
22. Hu X, Wu B, Yang Y, Zhang L, Xue C. Sarcopenia in peritoneal dialysis: prevalence, pathophysiology, and management strategies. *Kidney Med* 2025;7:100989.
 23. Kim JK, Choi SR, Choi MJ, et al. Prevalence of and factors associated with sarcopenia in elderly patients with end-stage renal disease. *Clin Nutr* 2014;33:64-68.
 24. Baek JY, Jung HW, Kim KM, et al. Korean Working Group on Sarcopenia Guideline: expert consensus on sarcopenia screening and diagnosis by the Korean Society of Sarcopenia, the Korean Society for Bone and Mineral Research, and the Korean Geriatrics Society. *Ann Geriatr Med Res* 2023;27:9-21.
 25. Kang SH, Do JY, Kim JC. Impedance-derived phase angle is associated with muscle mass, strength, quality of life, and clinical outcomes in maintenance hemodialysis patients. *PLoS One* 2022;17:e0261070.
 26. Kim JK, Kim SG, Oh JE, et al. Impact of sarcopenia on long-term mortality and cardiovascular events in patients undergoing hemodialysis. *Korean J Intern Med* 2019;34:599-607.
 27. Kang SH, Cho KH, Park JW, Do JY. Low appendicular muscle mass is associated with mortality in peritoneal dialysis patients: a single-center cohort study. *Eur J Clin Nutr* 2017;71:1405-1410.
 28. Kim SH, Choi G, Song Y, et al. Low muscle mass in patients receiving hemodialysis: correlations with vascular calcification and vascular access failure. *J Clin Med* 2021;10:3698.
 29. Cha RH, Lee GS. Steady exercise improves hand grip and leg muscle strength in hemodialysis patients. *J Exerc Rehabil* 2021;17:435-443.
 30. Kim C, Kim JK, Lee HS, Kim SG, Song YR. Longitudinal changes in body composition are associated with all-cause mortality in patients on peritoneal dialysis. *Clin Nutr* 2021;40:120-126.
 31. Shin J, Kim H, Jeon HE, et al. Optimizing hemodialysis management using bioelectrical impedance analysis: emphasizing the significance of the phase angle. *Ren Fail* 2025;47:2567037.
 32. Kang SH, Lee HS, Lee S, Cho JH, Kim JC. Comparison of muscle mass indices using computed tomography or dual X-ray absorptiometry for predicting physical performance in hemodialysis patients. *Kidney Blood Press Res* 2017;42:1119-1127.
 33. Li GH, Lee GK, Au PC, et al. The effect of different measurement modalities in the association of lean mass with mortality: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Sarcopenia* 2021;7 Suppl 1:S13-S18.
 34. Carrero JJ, Johansen KL, Lindholm B, Stenvinkel P, Cuppari L, Avesani CM. Screening for muscle wasting and dysfunction in patients with chronic kidney disease. *Kidney Int* 2016;90:53-66.
 35. Bae E, Lee TW, Bae W, et al. Impact of phase angle and sarcopenia estimated by bioimpedance analysis on clinical prognosis in patients undergoing hemodialysis: a retrospective study. *Medicine (Baltimore)* 2022;101:e29375.
 36. Akın S, Özer NT, Yılmaz ZDÖ, Sipahioğlu MH, Akgül YSS. Cut-off values for sarcopenia and mortality risk in older dialysis patients. *J Clin Pract Res* 2025;47:272-281.
 37. Ackermans LLGC, Rabou J, Basrai M, et al. Screening, diagnosis and monitoring of sarcopenia: when to use which tool? *Clin Nutr ESPEN* 2022;48:36-44.
 38. Chumlea WC, Cesari M, Evans WJ, et al. Sarcopenia: designing phase IIB trials. *J Nutr Health Aging* 2011;15:450-455.
 39. Kutner NG, Zhang R, Huang Y, Painter P. Gait speed and mortality, hospitalization, and functional status change among hemodialysis patients: a US Renal Data System special study. *Am J Kidney Dis* 2015;66:297-304.
 40. de Paula BL, Pinheiro BV, Segura-Ortí E, et al. Association between protocols of the sit-to-stand test and lower limb muscle force output in patients on hemodialysis and subjects without chronic kidney disease. *J Ren Nutr* 2023;33:584-591.
 41. Uchida J, Suzuki Y, Imamura K, et al. The association of short physical performance battery with mortality and hospitalization in patients receiving hemodialysis. *J Ren Nutr* 2024;34:235-242.
 42. Kang SH, Do JY, Jeong HY, Lee SY, Kim JC. The clinical significance of physical activity in maintenance dialysis patients. *Kidney Blood Press Res* 2017;42:575-586.
 43. Johansen KL. Exercise in the end-stage renal disease population. *J Am Soc Nephrol* 2007;18:1845-1854.
 44. Zhang M, Kim JC, Li Y, et al. Relation between anxiety, depression, and physical activity and performance in maintenance hemodialysis patients. *J Ren Nutr* 2014;24:252-260.
 45. Manfredini F, Mallamaci F, D'Arrigo G, et al. Exercise in patients on dialysis: a multicenter, randomized clinical trial. *J Am Soc Nephrol* 2017;28:1259-1268.
 46. Kouidi EJ, Grekas DM, Deligiannis AP. Effects of exercise training on noninvasive cardiac measures in patients undergoing long-term hemodialysis: a randomized controlled trial. *Am J Kidney Dis* 2009;54:511-521.
 47. Kim EJ, Lee HS, Shin HJ, et al. Effects of low intensity exercise training during hemodialysis on fatigue, activity of daily living, positive psychological capital, and blood pressure. *J Korean Acad Fundam Nurs* 2019;26:62-73.
 48. Matsufuji S, Shoji T, Yano Y, et al. Effect of chair stand exercise on activity of daily living: a randomized controlled trial in hemodialysis patients. *J Ren Nutr* 2015;25:17-24.
 49. Liu PJ, Guo J, Zhang Y, Wang F, Yu K. Effects of oral nutritional supplements on the nutritional status and inflammatory markers in patients on maintenance dialysis: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Clin Kidney J* 2023;16:2271-2288.
 50. Kabasawa H, Hosojima M, Kanda E, et al. Efficacy and safety of intradialytic parenteral nutrition using ENEFLUID® in malnourished patients receiving maintenance hemodialysis: an exploratory, multicenter, randomized, open-label study. *PLoS One* 2024;19:e0311671.
 51. Li HL, Li H, Cao YF, et al. Effects of keto acid supplements on Chinese patients receiving maintenance hemodialysis: a prospective, randomized, controlled, single-center clinical study. *Chin Med J (Engl)* 2020;133:9-16.
 52. Kopple JD, Cheung AK, Christiansen JS, et al. OPPORTUNITYTM: a large-scale randomized clinical trial of growth hormone in hemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant* 2011;26:4095-4103.
 53. Taskapan H, Baysal O, Karahan D, Durmus B, Altay Z, Ulutas O. Vitamin D and muscle strength, functional ability and balance in peritoneal dialysis patients with vitamin D deficiency. *Clin Nephrol* 2011;76:110-116.