

Sarkopenia w populacji geriatrycznej: patogeneza, kliniczne kryteria diagnostyczne oraz aktualne strategie terapeutyczne – przegląd literatury

Sarcopenia in the geriatric population: pathogenesis, clinical diagnostic criteria, and current therapeutic strategies – literature review

Justyna Bartol¹, Kamil Kania², Aleksandra Sosińska¹, Wiktoria Skowron³, Marcel Bobiński¹, Justyna Rajczyk¹, Monika Wiczuk-Wiczewska¹, Adam Szymczak¹, Zuzanna Wieczorek⁴

¹ Szpital Wojewódzki w Poznaniu

² Katedra i Zakład Anatomii Prawidłowej, Wydział Nauk Medycznych w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

³ Samodzielny Publiczny Zakład Opieki Zdrowotnej MSWiA im. Sierżanta Grzegorza Załogi w Katowicach

⁴ Wielospecjalistyczny Szpital Miejski im. Józefa Strusia w Poznaniu

Streszczenie

Sarkopenia to postępujące zaburzenie mięśni szkieletowych, prowadzące do utraty siły i masy mięśniowej, co zwiększa ryzyko upadków, niepełnosprawności oraz śmiertelności w populacji geriatrycznej. W niniejszej pracy przedstawiono aktualny stan wiedzy dotyczący patogenezy, diagnostyki oraz leczenia sarkopenii. W jej rozwoju kluczową rolę odgrywają czynniki takie jak przewlekły stan zapalny, zaburzenia hormonalne, niedożywienie oraz niska aktywność fizyczna. Diagnostyka opiera się głównie na algorytmie F-A-C-S (Find-Assess-Confirm-Severity) opracowanym przez grupę EWGSOP2. Podstawą leczenia pozostają interwencje niefarmakologiczne, takie jak trening oporowy oraz dieta bogata w białko, leucynę, witaminę D i kwasy tłuszczowe omega-3. Badania nad farmakoterapią z zastosowaniem m.in. inhibitorów miostatyny i antagonistów receptorów aktywiny typu II dostarczają obiecujących wyników, jednak brak dotąd leków oficjalnie zarejestrowanych w leczeniu sarkopenii. Wczesna diagnostyka, edukacja seniorów i kompleksowa modyfikacja stylu życia pozostają najskuteczniejszymi strategiami terapeutycznymi u osób starszych. *Geriatrics 2026;20:54-59. doi: 10.53139/G.20262012*

Słowa kluczowe: sarkopenia, osoby starsze, patogeneza, diagnostyka, leczenie, trening oporowy

Abstract

Sarcopenia is a progressive disorder of skeletal muscles leading to a loss of strength and muscle mass, which increases the risk of falls, disability, and mortality in the geriatric population. This paper presents the current state of knowledge regarding the pathogenesis, diagnosis, and treatment of sarcopenia. Its development is driven by key factors such as chronic inflammation, hormonal disturbances, malnutrition, and low physical activity. Diagnosis is primarily based on the F-A-C-S (Find-Assess-Confirm-Severity) algorithm developed by the EWGSOP2 group. Non-pharmacological interventions remain the cornerstone of therapy, including resistance training and a diet rich in protein, leucine, vitamin D, and omega-3 fatty acids. Pharmacological studies involving, among others, myostatin inhibitors and activin type II receptor antagonists have provided promising results; however, no drugs have yet been officially approved for the treatment of sarcopenia. Early diagnosis, patient education, and comprehensive lifestyle modification remain the most effective therapeutic strategies for older adults. *Geriatrics 2026;20:54-59. doi: 10.53139/G.20262012*

Keywords: sarcopenia, elderly, pathogenesis, diagnosis, treatment, resistance training

ORCID: Justyna Bartol 0009-0007-8635-9418, Kamil Kania 0000-0002-7660-2505, Aleksandra Sosińska 0009-0006-8364-0055, Wiktoria Skowron 0009-0008-2494-837X, Marcel Bobiński 0009-0007-8351-5884, Justyna Rajczyk 0009-0003-1307-931X, Monika Wiczuk-Wiczewska 0000-0002-4558-6549, Adam Szymczak 0009-0007-4822-845X, Zuzanna Wieczorek 0009-0005-9952-780X

Wstęp

Sarkopenia to wyraz powstały z połączenia dwóch słów pochodzących z języka greckiego „sarx” oznaczającego ciało lub mięso oraz „penia” oznaczającego utratę. Zespół ten został po raz pierwszy opisany przez Irwina Rosenberga w 1989 r. [1]. Zgodnie z aktualną definicją, podaną w 2018 r. przez Europejską Grupę Roboczą ds. Sarkopenii (EWGSOP2) jest to postępujące i uogólnione zaburzenie mięśni szkieletowych, które objawia się spadkiem siły, masy i funkcji mięśni. Wiąże się ono ze zwiększonym ryzykiem upadków, złamań, niepełnosprawności oraz zwiększoną śmiertelnością [2]. W metaanalizie badań populacyjnych osób starszych mieszkających w środowisku domowym, przeprowadzonej przez Wang L. i wsp., w której oceniono 52 badania kliniczne z udziałem 72202 seniorów, częstość występowania sarkopenii szacuje się na średnio 18,8%, przy znacznej heterogeniczności wyników między badaniami [3]. Pogorszenie sprawności motorycznej wśród starszych osób może znacząco obniżyć jakość ich życia i wpływać na przebieg i leczenie innych chorób przewlekłych [4]. Istotnym wyzwaniem współczesnej geriatry jest zwiększenie świadomości na temat sarkopenii, skuteczna diagnostyka oraz poszukiwanie nowych metod leczenia. Celem niniejszej pracy jest podsumowanie aktualnej wiedzy dotyczącej patogenezy, diagnostyki oraz możliwości terapeutycznych leczenia sarkopenii wśród seniorów.

Patogeneza

Stan zapalny

Wraz z wiekiem dochodzi do znaczących zmian w funkcjonowaniu układu immunologicznego. Charakteryzują się one m.in. zmniejszeniem stężenia cytokin przeciwzapalnych oraz jednoczesnym nagromadzeniem mediatorów zapalnych, takich jak czynnik martwicy nowotworów alfa (TNF- α), leptyna, interleukina-1 i interleukina-6 [5]. Ta nierównowaga wpływa na przyspieszoną degradację białek tkanki mięśniowej poprzez lizosomalny system autofagii oraz system ubikwityna-proteasom. W warunkach atrofii tkanki mięśniowej dochodzi do zwiększonej ekspresji ligaz ubikwityny typu E3 (MuRF1 i Atrogin-1), które pośredniczą w poliubikwitynacji białek, kierując je do degradacji w proteasomie 26S [6]. Przewlekły stan zapalny w tkance mięśniowej może prowadzić do atrofii włókien mięśniowych oraz upośledzenia sprawności motorycznej i czyni go jednym z głównych komponentów wpływających na rozwój sarkopenii [7].

Zmiany hormonalne

Postępujące zmiany w stężeniach hormonów w populacji geriatrycznej odgrywają istotną rolę w przebudowie tkanki mięśniowej. Wraz ze starzeniem organizmu obserwuje się zaburzenia funkcjonowania hormonów tarczycy, a obniżeniu ulegają stężenia m.in. androgenów, estrogenów oraz hormonu wzrostu [7]. Zaburzona konwersja hormonu tarczycy FT4 do FT3 u osób starszych bezpośrednio wpływa na zahamowanie syntezy białek mięśniowych i powoduje atrofię włókien szybkokurczliwych typu II. Niskie poziomy hormonu FT3 w populacji osób starszych z chorobą Hashimoto stanowią niezależny czynnik ryzyka sarkopenii, wykazując dodatnią korelację z siłą uścisku dłoni, prędkością chodu oraz masą mięśni szkieletowych [8]. Estrogeny są hormonami wykazującymi m.in. działanie przeciwzapalne, wspomagające regenerację mięśni szkieletowych oraz zapobiegające wyczerpaniu komórek satelitarnych, poprzez sygnalizację zależną od receptora estrogenowego alfa (ER α). Utrzymanie odpowiedniej puli komórek satelitarnych, będących komórkami macierzystymi mięśni szkieletowych jest istotne dla zachowania zdolności naprawczych mięśni. Zmniejszone stężenie poziomu estrogenów u kobiet po menopauzie może więc istotnie wpływać na obniżenie siły mięśniowej [9]. Innym hormonem, którego obniżony poziom oddziałuje na tkankę mięśniową, jest testosteron. Stymuluje on syntezę białek, wspomaga regenerację i naprawę uszkodzonych włókien mięśniowych poprzez aktywację komórek satelitarnych oraz zwiększanie stężenia insulinopodobnego czynnika wzrostu (IGF-1) [10]. Kolejnym ważnym w patogenezie czynnikiem jest spadek stężenia hormonu wzrostu (GH). Wykazano, że u seniorów z sarkopenią stężenia GH i IGF-1 są istotnie niższe, a obniżony poziom IGF-1 koreluje ze zmniejszoną masą i siłą mięśniową [11].

Istotną rolę w rozwoju sarkopenii odgrywa również witamina D. Jej niedobór przyczynia się do zmniejszonej ekspresji receptora witaminy D (VDR) w mięśniach szkieletowych, powodując atrofię włókien mięśniowych typu II, zwiększoną degradację białek oraz dysfunkcję mitochondriów. Jednocześnie niedobór witaminy D hamuje syntezę białek mięśniowych poprzez szlak sygnałowy kompleksu 1 kinazy mTOR (mTORC1), wpływając tym samym na przyspieszony rozwój sarkopenii wśród seniorów [12].

Niedożywienie

Niedożywienie i dieta uboga w białko to ogromny problem wśród pacjentów geriatrycznych. Wynika on

zarówno z problemów socjoekonomicznych jak i braku dostatecznej wiedzy na temat prawidłowego odżywiania. Zgodnie z wynikami polskiego badania populacyjnego PolSenior 2 niedożywienie według kryteriów Global Leadership Initiative on Malnutrition (GLIM) stwierdzono u 13,4% seniorów w Polsce ≥ 60 lat, przy czym ryzyko niedożywienia wykazało 27,8% badanych [13]. Niedożywienie, obejmujące niedobór energii, makro- i mikrośladników oraz towarzyszący stan zapalny, sprzyja utracie masy mięśniowej oraz jest istotnie związane z występowaniem sarkopenii i pogorszeniem rokowania wśród chorych [14]. W metaanalizie przeprowadzonej przez Coehlo-Junior HJ i wsp. stwierdzono, że spożycie białka wśród badanych seniorów z sarkopenią było znacząco niższe niż w grupie osób bez tego schorzenia (SMD = 0,37; 95% CI: 0,19-0,55; $p < 0,001$). Niedobór białka w diecie przyczynia się do oporności mięśni szkieletowych na bodźce anaboliczne. W jej przebiegu synteza białek mięśniowych mimo hiperaminoacydemii jest niewystarczająca. Prowadzi to do postępującej utraty włókien mięśniowych typu II [15].

Obniżona aktywność fizyczna

Aktywność fizyczna to jeden z głównych, modyfikowalnych czynników ryzyka, który ma znaczący wpływ zarówno na rozwój, jak i przebieg sarkopenii w populacji geriatrycznej. Obniżona aktywność fizyczna i unieruchomienie w starszym wieku, które często spowodowane jest chorobami przewlekłymi lub operacjami, przyspiesza rozwój sarkopenii. Dzieje się to m.in. w mechanizmie zaniku z nieużywania oraz zmniejszonej sygnalizacji szlaku mTORC1, która przyczynia się do upośledzenia ukrwienia tkanki mięśniowej oraz zmniejszonej aktywacji procesów anabolicznych w mięśniach, co wpływa na spadek wydolności mięśniowej [16]. W badaniu przeprowadzonym przez Yamaguchi i wsp. wykazano, że brak aktywności fizycznej zwiększa ryzyko rozwoju sarkopenii u osób starszych o 33% (OR 1,33; 95% CI: 1,09-1,62) [17]. Dodatkowo w badaniu przeprowadzonym przez Shen X i Zhao XG udowodniono, że osoby, które przeszły z aktywnego na nieaktywny tryb życia mają znacząco mniejsze ryzyko rozwoju sarkopenii oraz niskiej sprawności fizycznej niż osoby stale nieaktywne [18].

Kryteria diagnostyczne

Istotna dla szybkiego wdrożenia odpowiedniego leczenia sarkopenii jest skuteczna diagnostyka. Prowadzone są badania nad znalezieniem markeru labo-

ratoryjnego, który pozwoliłby usprawnić przesiewową diagnostykę pacjentów. W metaanalizie przeprowadzonej przez Lian R. i wsp. zweryfikowano 32 badania, w których oceniono łącznie 30 biomarkerów krwi, m.in. stosunek kreatyniny do cystatyny C (Cr/CysC), stosunek aminotransferazy asparaginowej do aminotransferazy alaninowej (AST/ALT), markery stanu zapalnego oraz markery hormonalne i metaboliczne. Żaden z badanych markerów nie osiągnął progu klinicznej użyteczności, pozwalającego na prowadzenie rutynowej diagnostyki sarkopenii, choć stosunek Cr/CysC osiągnął umiarkowaną dokładność diagnostyczną i był najlepiej przebadany [19]. Obecnie złotym standardem diagnostyki pozostaje opracowany przez grupę EWGSOP2 w 2018 r. algorytm F-A-C-S [1-Find (znajdź)-2-Assess (oceni)-3-Confirm (potwierdź)-4-Severity (oceni stopień zaawansowania)] [2].

Znajdź przypadek kliniczny

Na tym etapie wykonywany jest wśród pacjentów kwestionariusz SARC-F (*Strength, Assistance in walking, Rise from a chair, Climb stairs, Falls*) [tabela I]. Jest to proste i wiarygodne narzędzie w codziennej praktyce klinicznej, które pozwala na identyfikację pacjentów geriatrycznych wymagających dalszej diagnostyki w kierunku sarkopenii. Pomimo ograniczonej czułości (27-39%), wysoka swoistość SARC-F (86-91%) oraz umiarkowana wartość diagnostyczna (AUC 0,67-0,75; DOR 2,83-5,54) wskazują, że test ten jest przydatnym narzędziem przesiewowym [20]. Aby uzupełnić kwestionariusz SARC-F pacjent samodzielnie odpowiada na 5 pytań, które punktowane są od 0-2 punktów w zależności od stopnia nasilenia. Dotyczą one jego siły mięśniowej, potrzeby pomocy przy chodzeniu, trudności w wstawaniu z krzesła, trudności w chodzeniu po schodach oraz częstości upadków. Uzyskanie w kwestionariuszu punktacji ≥ 4 świadczy o wysokim prawdopodobieństwie sarkopenii i wskazuje na potrzebę dalszej diagnostyki zgodnie z algorytmem FACS [21].

Oceń siłę mięśniową

Aby ocenić siłę mięśniową kończyn górnych wykorzystuje się dynamometr ręczny. Prawidłowe wartości siły uścisku wynoszą odpowiednio: dla kobiet minimum 16 kg, a dla mężczyzn minimum 27 kg. Do oceny siły mięśniowej kończyn dolnych wykorzystywany jest natomiast test 5-krotnego wstawania z krzesła. Pacjent proszony jest, aby ze skrzyżowanymi na klatce dłońmi 5-krotnie wstał i usiadł. Jeżeli czas wykonania tego

Tabela I. Kwestionariusz SARC-F [18]

Table I. SARC-F questionnaire [18]

PYTANIE	PUNKTACJA		
	0	1	2
Jak dużą trudność sprawia panu/pani podniesienie i utrzymanie ciężaru 4,5kg?	Brak trudności	Pewna trudność	Znaczna trudność/niemożliwe
Jak dużą trudność sprawia panu/pani przejście przez pokój?	Brak trudności	Pewna trudność	Znaczna trudność/niemożliwe
Jak dużą trudność sprawia panu/pani wstanie z krzesła lub łóżka?	Brak trudności	Pewna trudność	Znaczna trudność/niemożliwe
Jak dużą trudność sprawia panu/pani wejście po 10 schodach?	Brak trudności	Pewna trudność	Znaczna trudność/niemożliwe
Ile razy upadł/a pan/pani w ciągu ostatniego roku?	Brak upadków	1-3 upadków	≥4 upadków

zadania jest dłuższy niż 15 sekund, wskazuje to na obniżenie siły mięśniowej kończyn dolnych. Wykazanie w tym punkcie algorytmu obniżonej siły mięśniowej w kończynach górnych i/lub dolnych pozwala na rozpoznanie tzw. Prawopodobnej sarkopenii, która wymaga włączenia interwencji leczniczych i dalszej pogłębionej oceny tkanki mięśniowej [2].

Potwierdź sarkopenię

Na tym etapie do oceny tkanki mięśniowej i ostatecznego potwierdzenia sarkopenii metodą, uznawaną za złoty standard są badania obrazowe tomografii komputerowej oraz rezonansu magnetycznego. Metody te pozwalają ocenić parametry jakościowe tkanki mięśniowej, umożliwiając detekcję nacieku tłuszczowego, obrzęku i architektury włókien mięśniowych, jednak ze względu na zmniejszoną dostępność i wysoki koszt wykorzystuje się je głównie w badaniach naukowych [22]. Metodą wykorzystywaną w praktyce klinicznej jest natomiast dwuenergetyczna absorpcjometria rentgenowska (ang. Dual-Energy X-ray Absorptiometry-DXA). Pozwala ona na pomiar zawartości mineralnej kości oraz masy tłuszczowej i beztłuszczowej ciała. Dzięki tej metodzie możliwe jest obliczenie przybliżonej masy mięśni szkieletowych, odejmując zawartość mineralną kości z odpowiednich regionów od sumy masy beztłuszczowej ramion i nóg (Appendicular Lean Mass-ALM). Wynik ten podzielony przez kwadrat wzrostu pacjenta ($ALM/wzrost^2$) stanowi indeks masy mięśniowej kończyn (Appendicular Skeletal Muscle Index-ASMI), który jest przydatnym narzędziem w diagnostyce. Zgodnie z kryteriami EWGSOP2, wartości ASMI poniżej 7 kg/m^2 u mężczyzn i 6 kg/m^2 u kobiet wskazują na niską masę mięśniową, potwierdzając diagnozę sarkopenii przy jednoczesnej niskiej sile mięśniowej [2,23]. Inną alter-

natywną metodą diagnostyczną jest test bioimpedancji elektrycznej (ang. bioelectrical impedance analysis-BIA), który polega na pomiarze oporu elektrycznego tkanek wobec prądu zmiennego o niskim natężeniu, pozwalając obliczyć beztłuszczową masę ciała. Jest to tania i szybka metoda, jednak mniej precyzyjna od DXA [23].

Oceń stopień zaawansowania

W końcowym etapie algorytmu FACS oceniany jest stopień zaawansowania sarkopenii, poprzez ocenę sprawności fizycznej chorego. Zgodnie z wytycznymi EWGSOP2 szybkim i bezpiecznym narzędziem do oceny jest test prędkości chodu. Wykonuje się go prosząc chorego o przejście wyznaczonego dystansu, który najczęściej wynosi 4 metry. Dla tego dystansu wartość $\leq 0,8 \text{ m/s}$ jest wskaźnikiem ciężkiej sarkopenii [2].

Leczenie

Strategie nefarmakologiczne

Zgodnie z obecnym standardem to leczenie nefarmakologiczne jest jedynym sposobem leczenia i zapobiegania sarkopenii wśród pacjentów geriatrycznych. Opiera się ono na odpowiednio dobranych ćwiczeniach fizycznych, prewencji upadków, edukacji pacjenta oraz zbilansowanej wysokobiałkowej diecie [24]. Na podstawie metaanalizy Zhao i wsp., która obejmuje 13 randomizowanych badań z udziałem 569 pacjentów w wieku 60-91 lat z rozpoznaną sarkopenią (wg EWGSOP lub AWGS), wykazano, że trening oporowy istotnie poprawia siłę chwytu ($g = 0,60$; 95% CI: 0,30-0,89), prędkość chodu ($g = 1,50$; 95% CI: 0,59-2,40) oraz wskaźnik masy mięśni szkieletowych ($g = 0,52$; 95% CI: 0,27-0,76). Analiza podgrup wskazała, że większe efekty obserwowano przy częstotliwości ≥ 3 razy w tygodniu ($g = 0,927$), czasie trwania pojedynczej sesji 40-60 minut ($g = 0,666$)

oraz interwencji trwającej ≥ 12 tygodni ($g = 0,638$). Spośród różnych form treningu oporowego autorzy rekomendują przede wszystkim trening z użyciem gum elastycznych ($g = 0,629$; 95% CI: 0,090-1,168), który przy umiarkowanej intensywności może stanowić skuteczną metodę rehabilitacji osób starszych z sarkopenią [25]. Kolejnym istotnym czynnikiem w leczeniu jest odpowiednia dieta bogata w białko (min. 1,0-1,5 g/kg/dzień), leucynę, witaminę D oraz kwasy tłuszczowe omega-3. Wspiera ona syntezę białek mięśniowych poprzez aktywację szlaku mTOR, poprawia funkcję skurczową mięśni i ogranicza procesy zapalne. Jednoczesne wprowadzenie ćwiczeń fizycznych oraz odpowiedniego żywienia wśród seniorów z sarkopenią jest kluczowe w poprawie stanu klinicznego [26].

Farmakoterapia

Obecnie nie istnieje jeszcze lek oficjalnie zarejestrowany w leczeniu sarkopenii, jednak w ostatnich latach zaobserwować można dynamiczny rozwój badań nad farmakologicznymi strategiami leczenia tego schorzenia. Zgodnie z prowadzonymi już badaniami, najwięcej dowodów dotyczących skuteczności w leczeniu mają inhibitory miostatyny oraz antagoniści receptorów aktywny typu II np. bimagrumab, który istotnie zwiększa masę mięśniową [27]. Obiecujące wyniki uzyskano również w przypadku badań nad modulatorami układu renina-angiotensyna-aldosteron. Leki te, w tym peryndopryl i losartan, redukują stres oksydacyjny i poprawiają perfuzję tkanki mięśniowej. Badania prowadzone są również nad hormonalną terapią testosteronem oraz selektywnymi modulatorami receptora androgenowego

(z ang. *selective androgen receptor modulators-SARMs*). Leki te podobnie jak inhibitory miostatyny zwiększają beztłuszczową masę ciała, jednak bez poprawy funkcji mięśni [28]. Mimo prowadzonych licznych badań klinicznych, leczenie sarkopenii nadal opiera się wyłącznie na działaniach niefarmakologicznych i to one pozostają złotym standardem w terapii sarkopenii.

Podsumowanie

Sarkopenia stanowi jedno z kluczowych wyzwań współczesnej geriatry. Jest ona ściśle powiązana z procesem starzenia oraz wielochorobowością. Wczesne rozpoznanie tego schorzenia, oparte na algorytmie FACS, umożliwia wdrożenie skutecznych działań profilaktycznych i terapeutycznych. Choć badania nad terapiami farmakologicznymi dają obiecujące wyniki i powinny być kontynuowane, obecnie najistotniejsza jest kompleksowa modyfikacja stylu życia zdiagnozowanych seniorów. Niezwykle ważne jest aby zwiększać wśród seniorów świadomość na temat sarkopenii i zachęcać do zmiany diety oraz regularnych ćwiczeń.

Konflikt interesów / Conflict of interest

Brak/None

Adres do korespondencji / Correspondence address

✉ Justyna Bartol

Szpital Wojewódzki w Poznaniu

ul. Gnieźniańska 4, 88-430 Janowiec Wielkopolski

☎ (+48) 510 507 452

✉ justynabartol1@gmail.com

Piśmiennictwo/References

- Rosenberg IH. Symposium: sarcopenia: diagnosis and mechanisms sarcopenia: origins and clinical relevance. *J Nutr.* 1997;127:990-1.
- Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al.; Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing.* 2019 Oct 12. doi:10.1093/ageing/afy169.
- Wang L, Chao J, Zhang N, et al. Prevalence and factors associated with sarcopenia in community-dwelling older adults: A systematic review and meta-analysis. *Gerontology.* 2025;72(2):110-25. doi:10.1159/000549808.
- Beaudart C, Démonceau C, Reginster JY, Locquet M, Cesari M, Cruz-Jentoft AJ, Bruyère O. Sarcopenia and health-related quality of life: a systematic review and meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2023;14(3):1102-1116. doi:10.1002/jcsm.13243.
- Lee KA, Thomas P, Yong S. Immune Senescence, Immunosenescence and Aging. *Front Aging.* 2022;3:900028. doi:10.3389/fragi.2022.900028.
- Yoshida T, Delafontaine P. Mechanisms of IGF-1-mediated regulation of skeletal muscle hypertrophy and atrophy. *Cells.* 2020;9(9):1970. doi:10.3390/cells9091970.
- Gao Y, Liu D, Xiao Q, et al. Exploration of Pathogenesis and Cutting-Edge Treatment Strategies of Sarcopenia: A Narrative Review. *Clin Interv Aging.* 2025 May 23;20:659-84. doi:10.2147/CIA.S517833.
- Chen JL, Gao Y, Xiao Q. Association between free T3 and sarcopenia in euthyroid older patients with Hashimoto's thyroiditis. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2025 Aug 15;16:1603560. doi:10.3389/fendo.2025.1603560.

9. Collins BC, Arpke RW, Larson AA, Baumann CW, et al. Estrogen regulates the satellite cell compartment in females. *Cell Rep*. 2019;28(2):368-81.e6. doi:10.1016/j.celrep.2019.06.025.
10. Huang LT, Wang JH. The Therapeutic Intervention of Sex Steroid Hormones for Sarcopenia. *Front Med (Lausanne)*. 2021 Oct 25;8:739251. doi:10.3389/fmed.2021.739251.
11. Bian A, Ma Y, Zhou XI wsp. Association between sarcopenia and levels of growth hormone and insulin-like growth factor-1 in the elderly. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020 Apr 7;21(1):214. doi:10.1186/s12891-020-03236-y.
12. Uchitomi R, Oyabu M, Kamei Y. Vitamin D and Sarcopenia: Potential of Vitamin D Supplementation in Sarcopenia Prevention and Treatment. *Nutrients*. 2020;12(10):3185. doi:10.3390/nu12103185.
13. Kaluźniak-Szymanowska A, Deskur-Śmielecka E, Krzywińska-Siemaszko R, et al. Health status correlates of malnutrition diagnosed based on the GLIM criteria in older Polish adults—Results of the PolSenior 2 study. *PLoS One*. 2025;20(1):e0317011. doi:10.1371/journal.pone.0317011.
14. Prokopidis K, Testa GD, Giannaki CD, et al. Prognostic and associative significance of malnutrition in sarcopenia: a systematic review and meta-analysis. *Adv Nutr*. 2025;16(5):100428. doi:10.1016/j.advnut.2025.100428.
15. Coelho-Junior HJ, Rodrigues B, Gonçalves IO, et al. Protein Intake and Sarcopenia in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2022;14(14):2940. doi:10.3390/nu14142940.
16. Damanti S, Senini E, De Lorenzo R, et al. Molecular constraints of sarcopenia in the ageing muscle. *Front Aging*. 2025;6:1588014. doi:10.3389/fragi.2025.1588014.
17. Yamaguchi R, Makino K, Katayama O, et al. Physical inactivity, depressive symptoms, and progression to sarcopenia in older adults: a 4-year longitudinal study. *J Nutr Health Aging*. 2024;29(3):100452. doi:10.1016/j.jnha.2024.100452.
18. Shen X, Zhao XG. Association between changes in physical activity and sarcopenia risk in middle-aged and older adults. *J Exerc Sci Fit*. 2025;23(3):190-6. doi:10.1016/j.jesf.2025.100383.
19. Lian R, Liu Q, Jiang G., et al. Blood biomarkers for sarcopenia: A systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy studies. *Ageing Res Rev*. 2024 Jan;93:102148. doi: 10.1016/j.arr.2023.102148.
20. Lu JL, Ding LY, Xu Q I wsp. Screening accuracy of SARC-F for sarcopenia in the elderly: a diagnostic meta-analysis. *J Nutr Health Aging*. 2021;25(2):172-182. doi:10.1007/s12603-020-1471-8.
21. Zasadzka E, Pieczyńska A, Trzmiel T, Pawlaczyk M. Polish Translation and Validation of the SARC-F Tool for the Assessment of Sarcopenia. *Clin Interv Aging*. 2020;15:567-74. doi:10.2147/CIA.S245074.
22. Wang L, Lu S, Feng J, et al. Muscle Imaging Assessments in Sarcopenia: A Statement from China National Center for Orthopedics (NCO) and the East Meets West Action Group of the European Calcified Tissue Society (ECTS). *Calcif Tissue Int*. 2025;116(1):144. doi:10.1007/s00223-025-01447-w.
23. Lavallo S, Scapaticci R, Masiello E., et al. Advancements in sarcopenia diagnosis: from imaging techniques to non-radiation assessments. *Front Med Technol*. 2024 Oct 9;6:1467155. doi: 10.3389/fmedt.2024.1467155.
24. Delaire L, Foucher Y, Deschamps T., et al. Influence of resistance training variables to improve muscle mass outcomes in sarcopenia: A systematic review with meta-regressions. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2025;16(3):701-715. doi:10.1002/jcsm.70162.
25. Zhao H, Cheng R, Song G I wsp. The effect of resistance training on the rehabilitation of elderly patients with sarcopenia: a meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Nov 22;19(23):15491. doi:10.3390/ijerph192315491.
26. Sobhrakhshankhah E, Farahmand M, et al. Efficacy of different nutrition interventions on sarcopenia in patients with cirrhosis: a systematic review and network meta-analysis. *BMC Nutr*. 2025;11(1):39. doi:10.1186/s40795-025-01028-y.
27. Kanbay M, Siriopol D, Copur S., et al. Effect of Bimagrumab on body composition: a systematic review and meta-analysis. *Aging Clin Exp Res*. 2024;36(1):185. doi: 10.1007/s40520-024-02825-4.
28. Yang F, Liu Z, Chen W. Advances in research on pharmacotherapy of sarcopenia. *Aging Med (Milton)*. 2021;4(3):221-233. doi: 10.1002/agm2.12168.