

# Peningkatan kadar myoglobin, IGF-1 dan kreatinin kinase terhadap asupan protein (*Trichiurus lepturus*) dan aktivitas fisik

Rivan Virlando Suryadinata<sup>a,1\*</sup>, Sawitri Boengas<sup>b,2</sup>, Priscilla Keshia Jayasaputri<sup>c,3</sup>, Henriette Milda Latuputty<sup>d,4</sup>, Nisa Kirania Dianti Mulyadi<sup>e,5</sup>, Nawal Fajril Haya<sup>f,6</sup>

<sup>a-f</sup>Fakultas Kedokteran, Universitas Surabaya, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

<sup>1</sup>rivan.virlando.suryadinata@gmail.com\*, <sup>2</sup>sawitri1973@staff.ubaya.ac.id, <sup>3</sup>keshiajayasaputri@gmail.com, <sup>4</sup>latuputtymilda@gmail.com,

<sup>5</sup>nisakirania49@gmail.com, <sup>6</sup>nawallyaa123@gmail.com

\* corresponding author

## INFO ARTIKEL

### Article history

Received 4 Januari 2026

Revised 18 Februari 2026

Accepted 23 Maret 2026

### Keywords

Creatinine kinase

IGF-1

Myoglobin

Protein intake

*Trichiurus lepturus*

## ABSTRAK

Asupan protein dan aktivitas fisik merupakan salah satu cara mempercepat pertumbuhan otot. Jumlah asupan protein menjadi salah satu faktor menentukan proses pertumbuhan otot. Sedangkan aktivitas fisik akan memicu kerusakan sel otot pasca latihan, namun akan mengalami perbaikan kembali sehingga terjadi perubahan massa otot. Myoglobin dan kreatin kinase menjadi salah penanda adanya kerusakan sel akibat aktivitas fisik dan Insulin-like Growth Factor-1 (IGF-1) merupakan hormon pertumbuhan bagi otot. Beltfish (*Trichiurus lepturus*) memiliki kandungan protein yang tinggi dan mudah diolah sebagai bahan pangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kadar myoglobin, IGF-1 dan kreatinin kinase dalam darah terhadap asupan protein beltfish dan aktivitas fisik. Metode penelitian ini adalah eksperimental dengan menggunakan hewan coba tikus wistar (*Rattus norvegicus*) yang terbagi menjadi 6 kelompok. 3 kelompok merupakan kelompok kontrol sedangkan 3 kelompok lainnya diberikan kadar protein yang berbeda dan aktivitas fisik selama 28 hari. Parameter pengukuran perkembangan otot menggunakan kadar myoglobin, kreatin kinase dan IGF-1 dalam darah. Data yang telah didapatkan akan dilakukan uji one way ANOVA untuk mengetahui perbedaan antar kelompok. Hasil penelitian memperlihatkan aktivitas fisik dapat meningkatkan kadar myoglobin, IGF-1 dan kreatinin kinase. Pemberian asupan protein terbukti dapat meningkatkan massa otot melalui perbaikan kadar myoglobin, IGF-1, dan kreatinin kinase.



This is an open access article under the [CC-BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license.

## 1. Pendahuluan

Gangguan kesehatan jangka panjang telah dapat diprediksi melalui penurunan massa otot atau kekuatan otot, sering disebut dengan sarkopenia. Berbagai macam penelitian memperlihatkan adanya peningkatan risiko kematian terhadap orang dengan sarcopenia

dibandingkan dengan penderita obesitas (Barazzoni *et al.*, 2018). Kondisi ini dikenal sebagai obesity paradox yang disebabkan lemak tubuh yang lebih tinggi dapat mempertahankan otot yang lebih banyak. Walaupun demikian individu yang memiliki berat badan lebih namun mengalami penurunan massa otot juga akan berisiko disabilitas, imobilitas dan permasalahan metabolik (Kim *et al.*, 2024). Kelompok usia lanjut diketahui lebih berisiko mengalami sarkopenia diperkirakan mencapai sekitar 10-16% dari seluruh populasi dunia. Angka tersebut semakin meningkat bila disertai dengan penyakit kronis seperti diabetes melitus hingga kanker (Yuan and Larsson, 2023). Di Asia, penilaian sarkopenia dengan menggunakan *Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS) 2014* pada kelompok usia lanjut didapatkan rerata prevalensi lebih dari 14% (Pan *et al.*, 2022).

Berbagai dampak permasalahan kesehatan dapat ditimbulkan pada penderita sarcopenia seperti penurunan fungsi tubuh, peningkatan risiko jatuh, lama rawat inap hingga risiko mortalitas (Kwon *et al.*, 2023). Beberapa faktor risiko yang mempercepat terjadinya sarkopenia adalah usia, jenis kelamin, pola hidup (merokok, alkohol) serta penyakit kronis (jantung dan paru-paru) (Wei *et al.*, 2025). Pencegahan kehilangan massa otot dapat dilakukan dengan melakukan aktivitas fisik terutama latihan beban (Beckwee *et al.*, 2019). Selain itu, pemberian asupan tinggi protein sebesar 1,0 - 1,2 gram/kg berat badan melalui suplementasi atau makanan juga dapat mengurangi risiko terjadinya sarkopenia. Namun, kombinasi asupan tinggi protein dan aktivitas fisik secara sinergis merupakan tindakan yang paling efektif dalam mencegah dan memperbaiki sarkopenia (Damanti *et al.*, 2019). Gangguan fungsi fisik pada sarkopenia berkaitan dengan perubahan pola jalan seperti kecepatan dan pemendekan langkah kaki. Hal ini berkaitan dengan koordinasi dan sinkronisasi dari otot ekstremitas bawah seperti *musculus gastrocnemius* dan *tibialis anterior* untuk menstabilkan keseimbangan tubuh (Baek *et al.*, 2025).

Pemberian asupan protein dapat meningkatkan peran sintesis protein, sehingga mampu mempertahankan dan meningkatkan massa otot (Xie *et al.*, 2025; Suryadinata *et al.*, 2026). Protein juga berfungsi untuk meningkatkan rasa kenyang dan pengeluaran energi serta menurunkan lemak visceral. Penelitian memperlihatkan peningkatan kekuatan genggam otot pada kelompok yang diberikan asupan protein lebih tinggi dibandingkan asupan protein normal (Ishaq *et al.*, 2025). Berbagai jenis protein ditentukan dari komposisi dan jumlah asam amino serta kemampuan penyerapan di saluran pencernaan. Protein hewani seperti daging, ikan, telur dan susu memiliki kemampuan untuk meningkatkan *muscle protein synthesis* dan pembentukan massa otot lebih baik dibandingkan protein nabati seperti kedelai, kacang hijau, kacang merah (Hiol *et al.*, 2025).

Perbaikan dan perkembangan massa otot dapat terjadi saat asupan protein dan aktivitas fisik tercukupi. Walaupun hasil yang didapatkan cenderung lama, namun beberapa parameter dapat memperlihatkan adanya pembentukan awal massa otot. Insulin-like growth factor-1 (IGF-1) adalah salah satu faktor yang memicu terjadinya perkembangan otot (Stein *et al.*, 2018). Hal ini dikaitkan dengan penurunan lemak tubuh dan kolesterol serta meningkatkan daya tahan otot. Penyakit kronis, malnutrisi hingga peradangan akan menurunkan kadar IGF-1 dalam darah (Yoshida and Delafontaine, 2020). Kadar myoglobin juga memiliki peran sebagai transportasi oksigen ke mitokondria pada otot, sehingga mampu menjaga daya tahan, mengurangi kelelahan hingga memicu proses hipertrofi massa otot (Paez *et al.*, 2025). Parameter lain seperti creatine kinase (CK) juga dapat digunakan dalam memperlihatkan kerusakan hingga terjadinya perbaikan otot. Adanya aktivitas CK memberikan gambaran mengenai peningkatan risiko cedera dan hambatan dalam pemulihan pasca aktivitas fisik (Bekkelund, 2020).

Protein berperan sebagai zat gizi makronutrien yang digunakan untuk membentuk massa otot. Protein bisa didapatkan pada ikan layur (*Trichiurus lepturus*) yang memiliki kadar protein cukup tinggi (Suryadinata *et al.*, 2025). Selain itu, populasi ikan layur (*Trichiurus lepturus*) yang melimpah di perairan Indonesia dan sangat diminati di pasar internasional, namun pemanfaatannya di dalam negeri masih terbatas (Tint *et al.*, 2020). Oleh karena itu, pada penelitian ini ingin mengetahui perubahan kadar myoglobin, IGF-1 dan kreatinin kinase dalam darah terhadap asupan protein beltfish dan aktivitas fisik.

## 2. Metode

Penelitian ini merupakan randomized controlled trial (RCT) dengan desain post test group design dengan menggunakan tikus wistar (*Rattus norvegicus*). Penelitian dilakukan di Fakultas Kedokteran, Universitas Surabaya pada bulan Oktober sampai November 2025 dan telah lulus etik oleh Komite Etik Penelitian Universitas Surabaya pada tanggal 01 Oktober 2025 (No. 709/KE/X/2025). Jumlah sampel pada penelitian ini adalah 42 ekor tikus wistar (rumus Federer) yang dibagi menjadi 6 kelompok, masing-masing terdiri dari 7 tikus yaitu kelompok kontrol negatif, dua kelompok kontrol positif dan tiga kelompok perlakuan. Kelompok pertama adalah kontrol negatif, dimana hewan coba mendapat asupan makanan harian. Kelompok kedua adalah kontrol positif pertama, dimana hewan coba mendapat asupan harian dan asupan konsentrat protein. Kelompok ketiga adalah kontrol positif kedua, dimana hewan coba diberikan asupan harian dan aktivitas fisik. Ketiga kelompok perlakuan terdiri dari hewan coba, dimana hewan coba mendapat asupan konsentrat protein dengan

berbagai dosis dan aktivitas fisik. Kriteria inklusi pada penelitian ini adalah hewan coba berjenis kelamin jantan, berat badan sebesar  $\pm 200$  gram, dan tidak ditemukan kelainan secara fisik, sedangkan kriteria eksklusi adalah hewan coba mati saat penelitian berlangsung.

Dosis konsentrat protein telah disesuaikan dengan kebutuhan asupan protein harian untuk manusia sebesar 0,8; 1; dan 1,3 g/kg berat badan/hari, selanjutnya dikonversi menggunakan tabel Laurence & Bacharach menjadi 3 g, 4 g, dan 5 g ekstrak protein per tikus untuk masing-masing kelompok. Aktivitas fisik diberikan secara bertahap ditingkatkan berdasarkan durasi dan kemiringan selama periode 28 hari menggunakan treadmill dengan kecepatan 20 meter/menit. Minggu pertama melibatkan 5 menit tanpa kemiringan; minggu kedua melibatkan 7,5 menit dengan kemiringan 3 derajat; Minggu ketiga melibatkan 10 menit dengan kemiringan 7 derajat; dan minggu keempat melibatkan 10 menit dengan kemiringan 10 derajat.

Pengukuran myoglobin, IGF-1 dan creatinine kinase dilakukan dengan menggunakan ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay). Sampel darah didapatkan dengan teknik intracardiac menggunakan jarum suntik melalui ventrikel kiri. Selanjutnya dilakukan sentrifugasi untuk memisahkan serum darah untuk direaksikan dengan antibodi spesifik. Penilaian dilakukan dengan mengamati perubahan warna pada sampel serum darah.

Data yang diperoleh akan dijabarkan menggunakan tabel distribusi karakteristik. Selanjutnya hasil pengukuran myoglobin, IGF-1 dan creatinine kinase akan dilakukan uji normalitas dan homogenitas. Kemudian akan dianalisis dengan menggunakan uji *one way* ANOVA untuk mengetahui perbedaan diantara semua kelompok.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian memperlihatkan kadar myoglobin, IGF-1 dan Creatinin Kinase dalam darah. Hewan coba penelitian dibagi menjadi 6 kelompok yaitu (I) Kelompok kontrol negatif (hewan coba diberikan asupan makanan harian tanpa pemberian intervensi); (II) Kelompok kontrol positif pertama (hewan coba diberikan asupan makanan harian dan konsentrat protein, tanpa aktivitas fisik); (III) Kelompok kontrol positif kedua (hewan coba diberikan asupan makanan harian dan aktivitas fisik, tanpa konsentrat protein); (IV) Kelompok perlakuan pertama (hewan coba diberikan asupan makanan harian, aktivitas fisik, dan konsentrat protein 3 gr/hari); (V) Kelompok perlakuan kedua (hewan coba diberikan asupan makanan harian, aktivitas fisik, dan konsentrat protein 4 gr/hari); (VI) Kelompok perlakuan ketiga (hewan coba diberikan asupan makanan harian, aktivitas fisik, dan konsentrat protein 5 gr/hari).

Berdasarkan Tabel 1, kadar myoglobin paling besar didapatkan pada kelompok III sebesar  $143,3 \pm 17,2$ , sedangkan paling kecil pada kelompok I sebesar  $77,3 \pm 10,9$ . Hasil perhitungan data berdistribusi normal dan homogen ( $p > 0,05$ ), kemudian dilakukan analisis ANOVA terhadap kadar myoglobin dan menunjukkan perbedaan pada berbagai kelompok ( $p = 0,000$ ). Berdasarkan Tabel 2, sebagian besar data menunjukkan adanya perbedaan antar kelompok. Namun, perbandingan antara kelompok I terhadap II serta kelompok III terhadap IV menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan ( $p > 0,05$ ).

Tabel 1. Nilai kadar myoglobin rata-rata tiap kelompok

Kelompok	Rerata $\pm$ SD	Uji Normalitas	Uji Homogenitas	Uji <i>One Way Anova</i>
I	77,3 $\pm$ 10,9	0,886		
II	84,3 $\pm$ 11,9	0,618		
III	143,3 $\pm$ 17,2	0,744	0,553	0,000
IV	129,8 $\pm$ 11,2	0,995		
V	115,0 $\pm$ 8,8	0,721		
VI	100,0 $\pm$ 11,3	0,973		

Tabel 2. Hasil uji *Least Significant Difference (LSD)* pada kelompok kadar myoglobin

Kelompok	I	II	III	IV	V	VI
I	-	0,326	0,000	0,000	0,000	0,003
II	-	-	0,000	0,000	0,000	0,033
III	-	-	-	0,064	0,000	0,000
IV	-	-	-	-	0,043	0,000
V	-	-	-	-	-	0,041
VI	-	-	-	-	-	-

Myoglobin terletak di jaringan otot rangka dan berfungsi mengikat oksigen dengan afinitas yang lebih tinggi daripada hemoglobin. Hal ini berfungsi untuk memastikan ketersediaan oksigen bagi metabolisme otot. Berat molekul yang kecil pada myoglobin mampu menjadi protein pertama yang terlepas ke aliran darah saat terjadi cedera otot. Hal ini menjadikan myoglobin menjadi salah parameter adanya kerusakan otot akibat aktivitas fisik. Pelepasan ini terjadi bersamaan dengan peningkatan enzim intraseluler lainnya, seperti Kreatinin Kinase (CK) dan Laktat Dehidrogenase (LDH), sebagai indikator klinis kerusakan jaringan otot (Nilsson *et al.*, 2019).

Pelepasan myoglobin dalam darah dipengaruhi oleh adanya stress mekanik atau metabolik yang ditimbulkan saat otot mengalami kontraksi akibat latihan beban atau ketahanan. Kerusakan atau kebocoran pada membran otot akan menyebabkan myoglobin yang berada di dalam otot keluar menuju pembuluh darah. Peningkatan myoglobin tidak hanya ditentukan oleh adanya latihan fisik, melainkan dipengaruhi oleh faktor kontraksi, intensitas, dan durasi latihan tersebut (Stozer *et al.*, 2020). Hal ini diperlihatkan pada

kelompok III, dimana terjadi peningkatan myoglobin yang signifikan dibandingkan dengan kelompok lainnya. Asupan protein dapat membantu memperbaiki jaringan yang membran sel otot yang rusak. Hal tersebut akan mengurangi dan memperbaiki kebocoran membran sel otot sehingga kadar myoglobin dalam darah dapat menjadi normal kembali (Rowland *et al.*, 2026). Pada kelompok perlakuan memperlihatkan penurunan kadar myoglobin berbanding terbalik dengan asupan protein, sedangkan pada kelompok yang diberikan asupan protein tanpa aktifitas fisik tidak mengalami peningkatan myoglobin.

Berdasarkan Tabel 3 kadar IGF-1 paling besar didapatkan pada kelompok III sebesar  $340,2 \pm 26,4$ , sedangkan paling kecil pada kelompok II sebesar  $207,8 \pm 31,6$ . Hasil perhitungan data berdistribusi normal dan homogen ( $p > 0,05$ ), kemudian dilakukan analisis ANOVA terhadap kadar myoglobin dan menunjukkan perbedaan pada berbagai kelompok ( $p = 0,000$ ).

Berdasarkan Tabel 4, sebagian besar data menunjukkan adanya perbedaan antar kelompok. Namun, beberapa kelompok menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan, yaitu antara kelompok I terhadap II, kelompok IV terhadap kelompok V dan VI, serta kelompok V terhadap VI.

Tabel 3. Nilai kadar IGF-1 rata-rata tiap kelompok

Kelompok	Rerata $\pm$ SD	Uji Normalitas	Uji Homogenitas	Uji <i>One Way Anova</i>
I	210,5 $\pm$ 33,0	0,676		
II	207,8 $\pm$ 31,6	0,862		
III	340,2 $\pm$ 26,4	0,556	0,967	0,000
IV	281,2 $\pm$ 37,9	0,918		
V	260,8 $\pm$ 32,2	0,706		
VI	252,8 $\pm$ 29,7	0,943		

Tabel 4. Hasil uji *Least Significant Difference (LSD)* pada kelompok kadar IGF-1

Kelompok	I	II	III	IV	V	VI
I	-	0,886	0,000	0,001	0,011	0,029
II	-	-	0,000	0,000	0,008	0,021
III	-	-	-	0,003	0,000	0,000
IV	-	-	-	-	0,280	0,136
V	-	-	-	-	-	0,668
VI	-	-	-	-	-	-

Insulin-like growth factor 1 (IGF-1) adalah hormon polipeptida berasal dari hati, yang disekresi akibat stimulasi dari growth hormone (GH). Salah satu peningkatan sekresi dari GH adalah aktivitas fisik yang dilakukan secara rutin, sehingga secara tidak langsung juga merangsang pengeluaran dari IGF-1 (Chen *et al.*, 2017). Pada beberapa penelitian memperlihatkan adanya peningkatan IGF-1 pada individu yang sehat hingga obesitas setelah

melakukan olahraga, walaupun demikian peningkatan IGF-1 juga dipengaruhi oleh faktor hormonal dan nutrisi (Kwon *et al.*, 2025). Asupan protein menjadi salah satu faktor utama yang memicu perubahan IGF-1. Protein menjadi bahan baku pembentukan massa otot dan membantu mengatur *IGF-binding proteins* (IGFBP) untuk mengontrol sekresi IGF-1 dalam memperbaiki otot (Gulick *et al.*, 2020). Hal ini terlihat pada kelompok perlakuan, di mana penambahan asupan protein berkorelasi positif dengan peningkatan kadar IGF-1. Kondisi ini terjadi karena asupan protein berperan dalam proses perbaikan dan pembentukan massa otot.

Berdasarkan Tabel 5 Kadar creatinin kinase paling besar didapatkan pada kelompok VI sebesar  $594,5 \pm 73,7$ , sedangkan paling kecil pada kelompok I sebesar  $385,7 \pm 58,0$ . Hasil perhitungan data berdistribusi normal dan homogen ( $p > 0,05$ ), kemudian dilakukan analisis ANOVA terhadap kadar myoglobin dan menunjukkan perbedaan pada berbagai kelompok ( $p = 0,000$ ). Berdasarkan Tabel 6, sebagian besar data menunjukkan tidak adanya perbedaan antar kelompok. Namun, kelompok yang menunjukkan perbedaan signifikan, hanya kelompok III terhadap VI.

Tabel 5. Nilai kadar creatinin kinase rata-rata tiap kelompok

Kelompok	Rerata $\pm$ SD	Uji Normalitas	Uji Homogenitas	Uji <i>One Way Anova</i>
I	385,7 $\pm$ 58,0	0,982		
II	408,2 $\pm$ 50,4	0,673		
III	434,3 $\pm$ 71,9	0,969	0,874	0,286
IV	423,8 $\pm$ 74,4	0,895		
V	379,3 $\pm$ 74,5	0,885		
VI	352,5 $\pm$ 58,5	0,974		

Tabel 6. Hasil uji *Least Significant Difference* (LSD) pada kelompok kadar creatinin kinase (CK)

Kelompok	I	II	III	IV	V	VI
I	-	0,555	0,207	0,319	0,868	0,386
II	-	-	0,493	0,681	0,450	0,150
III	-	-	-	0,783	0,155	0,038
IV	-	-	-	-	0,247	0,680
V	-	-	-	-	-	0,482
VI	-	-	-	-	-	-

Kreatinin kinase merupakan penanda adanya kerusakan sel otot dalam darah. Berbagai macam faktor dapat mempengaruhi kadar CK seperti usia, jenis latihan, intensitas latihan hingga komposisi tubuh. Aktivitas fisik dengan intensitas tinggi yang melibatkan kontraksi otot akan menghasilkan kadar CK yang lebih besar karena mengalami gangguan serat otot. Peningkatan kadar CK akan lebih signifikan apabila melibatkan massa otot yang lebih besar saat melakukan aktivitas fisik, sedangkan lemak tubuh yang tinggi akan

cenderung kadar CK lebih rendah. Kelompok yang memperoleh aktivitas fisik saja menunjukkan peningkatan kadar CK tertinggi yang dipicu oleh pemberian perlakuan aktivitas fisik (Radisic *et al.*, 2025). Hasil berbeda ditemukan pada kelompok perlakuan, asupan protein berperan dalam mempercepat perbaikan jaringan, sehingga kenaikan kadar CK akibat aktivitas fisik segera mengalami penurunan seiring dengan pemulihan massa otot (Cerqueira *et al.*, 2020). Penelitian ini memperlihatkan bahwa perubahan kadar CK berbanding terbalik dengan pemberian asupan protein, yang mengindikasikan peran protein dalam meminimalkan kerusakan otot. Perbedaan kadar CK antara kelompok tidak memperlihatkan hasil yang signifikan dikarenakan peningkatan kadar CK akibat latihan hanya berlangsung selama beberapa hari dan akan kembali menurun setelah mendapat istirahat dan asupan protein yang cukup (Mlynarska *et al.*, 2022).

#### 4. Kesimpulan

Pemberian asupan protein dan aktivitas fisik secara signifikan dapat memengaruhi perubahan serta perbaikan massa otot. Hal ini diperlihatkan melalui beberapa parameter penelitian, di mana aktivitas fisik memicu peningkatan kadar myoglobin dan IGF-1 dan mengalami penurunan saat diberikan asupan protein secara berkala. Sedangkan adanya proses pemulihan jaringan diperlihatkan melalui kadar CK yang lebih rendah akibat asupan protein dibandingkan hanya dengan aktivitas saja.

#### Ucapan Terima Kasih

Peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas dukungan dana yang diberikan untuk penelitian ini, serta kepada seluruh tim peneliti yang telah bekerja keras dalam mendukung penyelesaian penelitian ini tepat pada waktunya.

#### BIBLIOGRAFI

- Baek G, Han B, Lee, KH. Impact of Sarcopenia Severity on Body Composition, Physical Performance, and Mechanical Properties of Gait-Related Muscles in Community-Dwelling Older Women: A Cross-Sectional Study. *Applied Sciences*. 2025;15(20):10906. <https://doi.org/10.3390/app152010906>.
- Barazzoni R, Bischoff S, Boirie Y, Busetto L, Cederholm T, Dicker D. Sarcopenic obesity: time to meet the challenge. *Obes Facts*. 2018;11:294–305. <https://doi.org/10.1159/000490361>.
- Beckwee D, Delaere A, Aelbrecht S, Baert V, Beaudart C, Bruyere O, de Saint-Hubert M, Bautmans. Exercise Interventions for the Prevention and Treatment of Sarcopenia. A Systematic Umbrella Review. *J Nutr Health Aging*. 2019;23(6):494-502. <https://doi.org/10.1007/s12603-019-1196-8>.

- Bekkelund SI. Leisure physical exercise and creatine kinase activity. The Tromsø study. *Scand J Med Sci Sports*. 2020;30:2437–44. <https://doi.org/10.1111/sms.13809>.
- Cerqueira E, Marinho DA, Neiva HP, Lourenco O. Inflammatory effects of high and moderate intensity exercise - a systematic review. *Front Physiol*. 2020;10:1550. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01550>.
- Chen HT, Chung YC, Chen YJ. Effects of different types of exercise on body composition, muscle strength, and IGF-1 in the elderly with sarcopenic obesity. *J Am Geriatr Soc*. 2017;65(4):827–832. <https://doi.org/10.1111/jgs.14722>.
- Damanti S, Azzolino D, Roncaglione C, Arosio B, Rossi P, Cesari M. Efficacy of Nutritional Interventions as Stand-Alone or Synergistic Treatments with Exercise for the Management of Sarcopenia. *Nutrients*. 2019;11(9). <https://doi.org/10.3390/nu11091991>.
- Gulick CN, Peddie MC, Cameron C, Bradbury K, Rehrer NJ. Physical activity, dietary protein and insulin-like growth factor 1: Cross-sectional analysis utilising UK Biobank. *Growth Hormone & IGF Research*. 2020;55:101353. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2020.101353>.
- Hiol AN, Von PR, Conlon CA, Beck KL. Associations of protein intake, sources and distribution on muscle strength in community-dwelling older adults living in Auckland, New Zealand. *J Nutr Sci*. 2023;12:e94. <https://doi.org/10.1017/jns.2023.76>
- Ishaq I, Noreen S, Maduabuchi P, Atoki AV. Role of protein intake in maintaining muscle mass composition among elderly females suffering from sarcopenia. *Front Nutr*. 2025;12:1547325. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1547325>.
- Kim D, Lee J, Park R, Oh M, Moon S. Association of low muscle mass and obesity with increased all-cause and cardiovascular disease mortality in US adults. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2024;15(1):240-254. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13397>.
- Kwon YE, Lee JS, Kim JY, Baeg SI, Choi HM, Kim HB, Yang JY, Oh DJ. Impact of sarcopenia and phase angle on mortality of the very elderly. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2023;14(1):279-287. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13128>.
- Kwon YR, Kim Y, Kim Y. Exercise-induced modulation of IGF-1 in healthy, obese, and cancer populations: a systematic review and meta-analysis. *Ann Med*. 2025;57(1):2586331. <https://doi.org/10.1080/07853890.2025.2586331>
- Młynarska E, Krzemińska J, Wronka M, Franczyk B, Rysz J. Rhabdomyolysis-Induced AKI (RIAKI) Including the Role of COVID-19. *Int J Mol Sci*. 2022;23:15. <https://doi.org/10.3390/ijms23158215>.
- Nilsson A, Alkner B, Wetterlöv P, Wetterstad S, Palm L, Schilcher J. Low compartment pressure and myoglobin levels in tibial fractures with suspected acute compartment syndrome. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019;20(1):15. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2394-y>.
- Paez HG, Pitzer CR, Ferrandi PJ, Mohamed JS, Always SE. NOR-1 Overexpression Elevates Myoglobin Expression via PERM1 and Enhances Mitochondrial Function and Endurance in Skeletal Muscles of Aged Mice. *FASEB J*. 2025;39(8):e70542. <https://doi.org/10.1096/fj.202500375R>.
- Pan SQ, Li XF, Luo MQ, Li YM. Comparison of the prevalence of sarcopenia in geriatric patients in Xining based on three different diagnostic criteria. *World J Clin Cases*. 2022;10(33):12200-12207. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v10.i33.12200>.
- Radisic, Biljak V, Lazic A, Nikler A, Pekas D, Saracevic A, Trajkovic N. Post-exercise creatine kinase variability: a literature review. *Biochem Med (Zagreb)*. 2025;35(2):020502. <https://doi.org/10.11613/BM.2025.020502>.
- Rowland A, Edwards S, Prieto-Bellver G, Menz B, Rowland A, Hopkins AM. A comprehensive review of the physiology and evidence base to guide the use of ergogenic and medical supplements for enhanced

- cycling performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2026;23(1). <https://doi.org/10.1080/15502783.2026.2630487>.
- Stein AM, Silva TMV, Coelho FGM, Arantes FJ, Costa JLR, Teodoro E, Santos-Galduroz RF. Physical exercise, IGF-1 and cognition A systematic review of experimental studies in the elderly. *Dement. Neuropsychol*. 2018;12:114–122. <https://doi.org/10.1590/1980-57642018dn12-020003>.
- Stozer A, Vodopivec P, Krizancic BL. Pathophysiology of exercise-induced muscle damage and its structural, functional, metabolic, and clinical consequences. *Physiol Res*. 2020;69(4):565-598. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934371>.
- Suryadinata RV, Tirtawijaya G, Boengas S, Jayasaputri PK, Latuputty HM, Muladi NKD, Haya NF. The Effectiveness of Beltfish (*Trichiurus lepturus*) Protein Intake and Physical Activity on Muscle Mass Growth. *Pharmacognosy Journal*. 2025;17(6):p714. <https://doi.org/10.5530/pj.2025.17.89>.
- Suryadinata RV, Zaini A, Prawitasari DS. The Relationship Between Protein Intake and Muscle Mass and Strength in the Elderly. *CoMPHI Journal*. 2026;6(2):130-136.
- Tint KK, Ngin K, Sapari A, Souliphone K, Suwannapoom S, Viron JG, Thi V, Thanh P, Chumchuen SV. Fish Trade Practices: Southeast Asian Perspective. *Southeast Asian Fisheries Development Center*. 2020;18(2):9–20.
- Wei WX, Mao ZF, Chen ML, Meng L. The impact of chronic diseases and lifestyle on sarcopenia risk in older adults: a population-based longitudinal study. *Front Med (Lausanne)*. 2025;12:1500915. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1500915>.
- Xie M, Yang D, Zhu Q, Zhu L, Zhong Q, Gu R, Xu D. Effects of protein-based multinutrient therapy on sarcopenia in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Aging Clin Exp Res*. 2025;37(1):306. <https://doi.org/10.1007/s40520-025-03114-4>.
- Yoshida T, Delafontaine P. Mechanisms of IGF-1-Mediated Regulation of Skeletal Muscle Hypertrophy and Atrophy. *Cells*. 2020;9(9):1970. <https://doi.org/10.3390/cells9091970>.
- Yuan S, Larsson S. Epidemiology of sarcopenia: Prevalence, risk factors, and consequences. *Metabolism*. 2023;144:155533. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2023.155533>