

## БІОЕЛЕКТРИЧНИЙ ФАЗОВИЙ КУТ ЯК МАРКЕР САРКОПЕНІЇ У ДІТЕЙ ТА ПІДЛІТКІВ

©О. С. Паламарчук<sup>1</sup>, О. М. Горленко<sup>1</sup>, С. В. Лукашук<sup>1</sup>, С. Н. Вадзюк<sup>2</sup>

*Ужгородський національний університет<sup>1</sup>*

*Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України<sup>2</sup>*

**РЕЗЮМЕ.** У статті досліджується використання біоелектричного фазового кута (ФК) як неінвазивного методу оцінки стану м'язової системи у дітей та підлітків. Біоелектричний фазовий кут трактується як індикатор функціонального стану клітинних мембран. На відміну від показників компонентного складу тіла, які отримують з використанням прогностичних математичних моделей, що враховують вагу, зріст, стать і вік пацієнта, ФК є безпосереднім фізичним параметром, що залежить тільки від електричних властивостей тканин.

**Мета.** Основною метою статті є вивчення зв'язку між значеннями біоелектричного фазового кута та наявністю саркопенії у дітей віком від 9 до 14 років.

**Матеріал і методи.** Дослідження проведено на базі дитячого санаторію з участю 94 дітей, які пройшли біоелектричний аналіз та кистьовий динамометричний тест. Показники компонентного складу тіла отримували методом імпедансометрії з допомогою біоелектричного імпедансного аналізатора «TANITA MC-780 MA» (Японія). Для визначення ФК використовували біоелектричний імпедансний аналізатор, а силу скелетних м'язів вимірювали за допомогою стандартизованого кистьового ізометричного тесту з використанням цифрового кистьового динамометра Handexer Grip Strength Tester (США).

**Результати.** Дослідження показало статеві відмінності у значеннях ФК та його вплив на наявність саркопенії. У хлопчиків значення ФК було вище, ніж у дівчат, і вони також мали вищу м'язову масу. Діти з ознаками саркопенії демонстрували статистично значимо менші значення ФК, порівняно з тими, хто не мав ознак цього стану.

**Висновки.** Використання ФК може бути ефективним методом для оцінки стану м'язової системи у дітей та підлітків. Низькі значення ФК можуть вказувати на наявність саркопенії, що важливо для діагностики та моніторингу фізичного розвитку в цільовій групі. Подальші дослідження повинні встановити граничні значення ФК для точної діагностики саркопенії та розробки оптимальних стратегій лікування.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** фазовий кут; саркопенія; біоімпедансний аналіз; діти; скелетні м'язи; м'язова маса.

**Вступ.** Саркопенія – це синдром, що характеризується прогресуючим і генералізованим зниженням маси скелетних м'язів і м'язової сили. Хоча традиційно цей стан зазвичай пов'язують із старінням, у низці досліджень показано, що він може розвиватися і в дитячому віці [1, 2]. Своєчасна діагностика саркопенії є важливою, оскільки втрата м'язової маси асоціюється з важчим перебігом захворювань та гіршим прогнозом [3, 4].

Для діагностики саркопенії рекомендується вимірювати дефіцит м'язової маси за допомогою комп'ютерної томографії (КТ), магнітно-резонансної томографії (МРТ) або подвійної рентгенівської абсорбціометрії (DXA). В якості дешевшої альтернативи для вимірювання м'язової маси можуть бути використані антропометрія та біоімпедансометрія, які доповнюються показниками кистьової динамометрії та функціональними тестами [5, 6].

Серед показників біоімпедансометрії за останні роки великий інтерес дослідників викликає біоелектричний фазовий кут (ФК), який трактується як індикатор функціонального стану клітинних мембран [7]. На відміну від показників компонентного складу тіла, які отримують з використанням прогностичних математичних моделей, що враховують вагу, зріст, стать і вік пацієнта, ФК є безпосереднім фізичним параметром, що

залежить тільки від електричних властивостей тканин. Він визначається як  $\arctg(X_c/R) \times (180/\pi)$ , де  $X_c$  – реактивність тканини, а  $R$  – її електричний опір [8]. З'являється все більше доказів того, що фазовий кут можна розглядати як індикатор стану метаболізму, прогнозу захворювання та ризику смертності; однак досі невідомо, чи можна використовувати цей показник в якості критерію оцінки функціонального стану та якості м'язів у дітей та підлітків.

**Метою даного дослідження** було з'ясувати, чи відрізняється ФК у дітей та підлітків залежно від наявності у них ознак саркопенії.

**Матеріал і методи дослідження.** Дослідження було проведено на базі Закарпатського обласного дитячого санаторію «Малютко» з участю 94 дітей віком від 9 до 14 років (45 – дівчат та 49 хлопчиків). Всі діти на момент обстеження були здорові за даними клінічного огляду і фізикального обстеження. Критеріями виключення із дослідження була наявність генетичних синдромів, пов'язаних із ожирінням, ендокринних розладів, що призводять до ожиріння, медикаментозного ожиріння та нервово-м'язової патології, що впливає на якість та вміст м'язів. Дослідження було проведено з дотриманням основних біоетичних норм Гельсінської декларації, прийнятої Генеральною асамблеєю Всесвітньої медичної

асоціації про права людини, Міжнародного кодексу медичної етики та законів України.

Показники компонентного складу тіла отримували методом імпедансометрії за допомогою біоелектричного імпедансного аналізатора "TANITA MC-780 MA" (Японія). Вимірювання проводили за стандартною схемою у положенні пацієнта стоячи. Діти були одягнуті в спортивні костюми, вага яких була виміряна попередньо і вводилась в прилад з метою корекції вимірюваної маси тіла. Використовували 8 електродів (4 кругові та 4 ручні електроди). Для отримання результатів обстежувани ставали босими ногами на чотири кругові електроди прилада, а ручні електроди тримали в долонях з опущеними вниз руками.

Прилад в автоматичному режимі визначає такі показники: масу тіла (M, кг), індекс маси тіла (IMT, кг/м<sup>2</sup>), абсолютну масу м'язів кінцівок (ASM, кг). З метою корекції ASM відповідно до антропометричних даних розраховували індекс абсолютної маси м'язів кінцівок (IASM, кг/м<sup>2</sup>) за формулою:  $IASM = ASM / L^2$ . Зріст (L, м) вимірювали за допомогою ростоміра GIMA (Італія). Для кількісної оцінки ФК використовували його інтегральне значення в градусах, виміряне при частоті зондування струмом 50 кГц між верхніми та нижніми електродами (ФК, °).

В якості додаткового параметра, який дозво-

ляє виявити саркопенію, вимірювали силу скелетних м'язів за допомогою стандартизованого кистьового ізометричного теста з використанням цифрового кистьового динамометра Handexer Grip Strength Tester (США). Силу стискання рукоятки (F, кг) визначали у положенні сидячи для ведучої руки, при цьому плечова кістка розташовувалася збоку від тулуба, а лікоть був зігнутий на 90 градусів. Для кожного випробування учасникам обстеження було запропоновано стискати динамометр з максимальним зусиллям протягом двох-трьох секунд. Учасники виконували три послідовних підходи з кількома секундами відпочинку між кожним випробуванням. Вимірювалася сила стискання ведучою рукою за три спроби і фіксувався найкращий результат з цих трьох спроб.

Середні групові значення антропометричних показників, показників вмісту і сили скелетних м'язів та біоелектричного фазового кута в 2 вибірках обстежених представлені у таблиці 1. Зіставлення цих показників дозволило виявити статистично значущі відмінності між дівчатами та хлопчиками за IASM, F та ФК, які у хлопчиків перевищували аналогічні показники у дівчат відповідно на 11,79 % (p=0,002); 9,92 % (p=0,031) та 4,97 % (p=0,035). За антропометричними показниками та індексом маси тіла статистично вірогідних відмінностей між групами не виявлено.

Таблиця 1. Середні значення показників скелетних м'язів та фазового кута у обстежених вибірках (M±SD)

Показник	Дівчата (n=45)	Хлопчики (n=49)	P
M, кг	51,81±16,08	54,18±19,24	0,517
L, м	1,53±0,14	1,54±0,16	0,602
IMT, кг/м <sup>2</sup>	21,80±4,59	22,09±4,31	0,750
IASM, кг/м <sup>2</sup>	5,91±1,05	6,70±1,38	0,002
F, кг	20,34±2,82	22,58±2,96	0,031
ФК, °	5,180±0,533	5,451±0,689	0,035

Оскільки вміст скелетних м'язів, силові показники та фазовий кут у двох вибірках відрізнявся, то наступні порівняння ми здійснювали окремо в кожній вибірці.

Статистичний аналіз розподілу показників IASM та F у вибірці дівчат показав, що він відповідає критерію «нормального розподілу». Медіана кривої розподілу показника IASM склала 5,94 кг/м<sup>2</sup>; 25 перцентиль – 5,25 кг/м<sup>2</sup>; 75 перцентиль – 6,71 кг/м<sup>2</sup>. Для показника F у дівчат медіана кривої розподілу склала 20,65 кг; 25 перцентиль – 17,52 кг; 75 перцентиль – 23,16 кг. До підгрупи осіб з саркопенією у цій вибірці нами були віднесені ті дівчата, у яких показник IASM та F знаходився у діапазоні нижче 25 перцентиля відповідного показника одночасно. Таких дівчат виявило-

ся 11 із 45. Решта дівчат (34 обстежених) склали підгрупу осіб без ознак саркопенії.

Статистичний аналіз показників IASM та F у вибірці хлопчиків також відповідав критерію «нормального розподілу». Медіана кривої розподілу показника IASM у цій групі склала 6,42 кг/м<sup>2</sup>; 25 перцентиль – 5,69 кг/м<sup>2</sup>; 75 перцентиль – 7,65 кг/м<sup>2</sup>. Для показника F у хлопчиків медіана кривої розподілу склала склала 22,43 кг; 25 перцентиль – 19,62 кг; 75 перцентиль – 25,54 кг. До підгрупи осіб з саркопенією у цій вибірці нами були віднесені ті хлопчики, у яких показник IASM та F знаходився у діапазоні нижче 25 перцентиля відповідного показника одночасно. Таких осіб виявилось 12 із 49. Решта хлопчиків (37 обстежених) склали підгрупу осіб без ознак саркопенії.

Зіставлення показників ФК у виділених підгрупах з використанням критерію Стьюдента для незалежних вибірок продемонструвало статистично значимі відмінності, як у дівчат, так і у хлопчиків. Так, у підгрупі дівчат з саркопенією середнє значення ФК склало  $4,607 \pm 0,411^\circ$ , а в підгрупі без ознак саркопенії –  $5,113 \pm 0,822^\circ$ . Різниця між підгрупами за цим показником склала  $0,506^\circ$  ( $p=007$ ) на користь дівчат без саркопенії. Схожі результати отримані у вибірці хлопчиків. У підгрупі хлопчиків із саркопенією середнє значення ФК склало  $4,992 \pm 0,387^\circ$ , а в підгрупі без ознак саркопенії –  $5,600 \pm 0,703^\circ$ . Різниця між підгрупами за цим показником склала  $0,608^\circ$  ( $p=001$ ) на користь хлопчиків без саркопенії. Середні значення ФК для обох підгруп у кожній вибірці показані на рисунку 1.

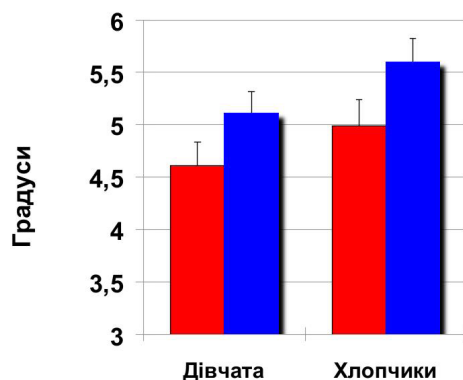


Рис. 1. Фазовий кут у підгрупах дівчат та хлопчиків з саркопенією та без ознак саркопенії.

З фізичного погляду, ФК вважається відносно мірою в'язкопружних властивостей біологічних тканин, який теоретично коливається в діапазоні від  $0^\circ$  (повністю резистивні) до  $90^\circ$  (повністю ємнісні) [9]. В організмі людини ФК зазвичай коливається від  $1^\circ$  до  $12^\circ$  і детермінується співвідношенням електричного опору та ємнісних властивостей тканинних структур. Хоча біологічне значення ФК не до кінця зрозуміле, цей первинний параметр біоімпедансометричного обстеження широко використовується як неінвазивний інструмент оцінки стану клітинних мембран та внутрішньо- і позаклітинних рідин, які суттєво змінюються при патологічних станах організму людини. Наявні літературні дані свідчать про те, що нижчі значення ФК пов'язані зі зменшенням клітинної маси тіла та порушенням функції селективної проникності клітинних мембран, що, в свою чергу, є причиною зниження м'язової сили [10]. Отримані нами результати обстеження дітей та підлітків повністю підтверджують ці дані. Саме особи з саркопенією, як у групі дівчат, так і хлопчиків, продемонстрували статистично вірогідно менші значення ФК, по-

рівняно з обстеженими без ознак саркопенії. Очевидно, що саркопенія пов'язана як із зменшенням кількості м'язових волокон, так і з дефіцитом скоротливих білків, що й зумовлює в кінцевому підсумку низькі показники кистьової динамометрії.

З іншого боку, підвищений вміст скелетних м'язів, за нашими даними, асоціюється із вищими значеннями ФК та кращими показниками динамометричного тесту в обох обстежених вибірках. Ці результати узгоджуються із дослідженням Sardinha та Rosa [11], які вивчали вплив тренувань з опором на показник ФК в контексті клітинних механізмів м'язової гіпертрофії. Ці автори встановили, що гіпертрофія м'язів призводить до збільшення об'єму м'язових клітин і тканин за рахунок накопичення білка з помітним збільшенням внутрішньоклітинної води і глікогену. Гіпертрофія супроводжується змінами в резистивних та ємнісних властивостях людського тіла, які безпосередньо впливають на ФК.

Ще одним перспективним напрямком використання ФК є його вимірювання у випадку локальних пошкоджень опорно-рухового апарату. При цьому використовують розміщення електродів на травмованій і контралатеральній неушкодженій ділянці. Експериментально встановлено, що локальний ФК є чутливим індикатором пошкодження м'язової мембрани, що підтверджується рентгенологічними даними [12].

Таким чином, дослідження біоелектричного фазового кута в дитячій популяції є доступним неінвазивним методом оцінки функціонального стану м'язової системи, який дозволяє кількісно оцінити наявність і ступінь саркопенії. Однак залишаються нез'ясованими граничні значення цього показника у дітей різного віку та статі залежно від вмісту та функціональних характеристик скелетних м'язів. В зв'язку з цим необхідні подальші дослідження з участю більшої кількості обстежених.

**Висновки.** 1. У здорових дітей віком від 9 до 14 років існують статеві відмінності за показником біоелектричного фазового кута, який у хлопчиків на  $4,97\%$  перевищує відповідний показник у дівчат з вірогідністю на рівні  $p=0,035$ .

2. Біоелектричний фазовий кут дозволяє відрізнити дітей з ознаками саркопенії, як у вибірці дівчат, так і хлопчиків. У дівчат з саркопенією фазовий кут на  $0,506^\circ$  ( $p=007$ ) менший, ніж у дівчат без саркопенії. У хлопчиків із саркопенією значення фазового кута на  $0,608^\circ$  ( $p=001$ ) нижче, ніж у хлопчиків без саркопенії.

3. Для встановлення граничних значень фазового кута, які могли б бути використані в якості критерію саркопенії, необхідні подальші дослідження з участю великої кількості обстежених.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mangus R. S. Severe Sarcopenia and Increased Fat Stores in Pediatric Patients With Liver, Kidney, or Intestine Failure / R. S. Mangus // *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. – 2017. – Vol. 65, No. 5. – P. 579–583. DOI: 10.1097/mpg.0000000000001651.
2. Lurz E. Sarcopenia in Children With End-Stage Liver Disease / E. Lurz // *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. – 2018. – Vol. 66, No. 2. – P. 222–226. DOI: 10.1097/mpg.0000000000001792.
3. Hanai T. Rapid skeletal muscle wasting predicts worse survival in patients with liver cirrhosis / T. Hanai // *Hepatology Research*. – 2016. – Vol. 46, No. 8. – P. 743–751. DOI: 10.1111/hepr.12616.
4. Englesbe M. J. Sarcopenia and Mortality after Liver Transplantation / M. J. Englesbe // *Journal of the American College of Surgeons*. – 2010. – Vol. 211, No. 2. – P. 271–278. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2010.03.039.
5. Fuller N. J. Segmental bioelectrical impedance analysis in children aged 8–12 y: 2. The assessment of regional body composition and muscle mass / N. J. Fuller // *International Journal of Obesity*. – 2002. – Vol. 26, No. 5. – P. 692–700. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801989.
6. Kim K. Reference Values of Skeletal Muscle Mass for Korean Children and Adolescents Using Data from the Korean National Health and Nutrition Examination Survey 2009-2011 / Kirang Kim, Sangmo Hong, Eun Young Kim // *PLOS ONE*. – 2016. – Vol. 11, No. 4. DOI: 10.1371/journal.pone.0153383.
7. da Silva Bruna Ramos Exploring the potential role of phase angle as a marker of oxidative stress: a narrative review / Bruna Ramos da Silva // *Nutrition*. – 2021. DOI: 10.1016/j.nut.2021.111493.
8. Ward L. C. Electrical bioimpedance: from the past to the future / L. C. Ward // *Journal of Electrical Bioimpedance*. – 2021. – Vol. 12, No. 1. – P. 1–2. DOI: 10.2478/joeb-2021-0001.
9. Cole K. S. Dispersion and absorption in dielectrics I. Alternating current characteristics / K. S. Cole, R. H. Cole // *The Journal of chemical physics*. – 1941. – Vol. 9 (4). – P. 341–351.
10. Lukaski H. C. Phase angle as an index of physiological status: validating bioelectrical assessments of hydration and cell mass in health and disease / Henry C. Lukaski, Antonio Talluri // *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. – 2022. DOI: 10.1007/s11154-022-09764-3.
11. Sardinha L. B. Phase angle, muscle tissue, and resistance training / Luís B. Sardinha, Gil B. Rosa // *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. – 2023. DOI: 10.1007/s11154-023-09791-8.
12. Nescolarde L. Phase angle in localized bioimpedance measurements to assess and monitor muscle injury / L. Nescolarde // *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. – 2023. DOI: 10.1007/s11154-023-09790-9.

REFERENCES

1. Mangus, R.S., Bush, W.J., Miller, C., & Kubal, C.A. (2017). Severe Sarcopenia and Increased Fat Stores in Pediatric Patients With Liver, Kidney, or Intestine Failure. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*, 65(5), 579-583. DOI: 10.1097/MPG.0000000000001651.
2. Lurz, E., Patel, H., Frimpong, R.G., Ricciuto, A., Khar, M., Wales, P.W., Towbin, A.J., Chavhan, G.B., Kamath, B.M., & Ng, V.L. (2018). Sarcopenia in Children With End-Stage Liver Disease. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*, 66(2), 222-226. DOI: 10.1097/MPG.0000000000001792.
3. Hanai, T., Shiraki, M., Ohnishi, S., Miyazaki, T., Idate, T., Kochi, T., Imai, K., Suetsugu, A., Takai, K., Moriwaki, H., & Shimizu, M. (2016). Rapid skeletal muscle wasting predicts worse survival in patients with liver cirrhosis. *Hepatology research : the official journal of the Japan Society of Hepatology*, 46(8), 743-751. DOI: 10.1111/hepr.12616.
4. Englesbe, M.J., Patel, S.P., He, K., Lynch, R.J., Schaubel, D.E., Harbaugh, C., Holcombe, S.A., Wang, S.C., Segev, D.L., & Sonnenday, C.J. (2010). Sarcopenia and mortality after liver transplantation. *Journal of the American College of Surgeons*, 211(2), 271-278. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2010.03.039.
5. Fuller, N.J., Fewtrell, M.S., Dewit, O., Elia, M., & Wells, J.C. (2002). Segmental bioelectrical impedance analysis in children aged 8-12 y: 2. The assessment of regional body composition and muscle mass. *International journal of obesity and related metabolic disorders : journal of the International Association for the Study of Obesity*, 26(5), 692-700. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801989.
6. Kim, K., Hong, S., & Kim, E.Y. (2016). Reference Values of Skeletal Muscle Mass for Korean Children and Adolescents Using Data from the Korean National Health and Nutrition Examination Survey 2009-2011. *PLoS One*, 11(4). DOI: 10.1371/journal.pone.0153383.
7. da Silva, B.R., Gonzalez, M.C., Cereda, E., & Prado, C.M. (2022). Exploring the potential role of phase angle as a marker of oxidative stress: A narrative review. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 93. DOI: 10.1016/j.nut.2021.111493.
8. Ward, L.C. (2021). Electrical Bioimpedance: From the Past to the Future. *Journal of electrical bioimpedance*, 12(1), 1-2. DOI: 10.2478/joeb-2021-0001.
9. Cole, K.S., & Cole, R.H. (1941). Dispersion and absorption in dielectrics I. Alternating current characteristics. *The Journal of chemical physics*, 9(4), 341-351.
10. Lukaski, H.C., & Talluri, A. (2023). Phase angle as an index of physiological status: validating bioelectrical assessments of hydration and cell mass in health and disease. *Reviews in endocrine & metabolic disorders*, 24(3), 371-379. DOI: 10.1007/s11154-022-09764-3.
11. Sardinha, L.B., & Rosa, G.B. (2023). Phase angle, muscle tissue, and resistance training. *Reviews in endocrine & metabolic disorders*, 24(3), 393-414. DOI: 10.1007/s11154-023-09791-8.
12. Nescolarde, L., Talluri, A., Yanguas, J., & Lukaski, H. (2023). Phase angle in localized bioimpedance measurements to assess and monitor muscle injury. *Reviews in endocrine & metabolic disorders*, 24(3), 415-428. DOI: 10.1007/s11154-023-09790-9.

## BIOELECTRIC PHASE ANGLE AS A MARKER OF SARCOPENIA IN CHILDREN AND ADOLESCENTS

©O. S. Palamarchuk<sup>1</sup>, O. M. Horlenko<sup>1</sup>, S. V. Lukashchuk<sup>1</sup>, S. N. Vadzyuk<sup>2</sup>

*Uzhhorod National University<sup>1</sup>*

*I. Horbachevsky Ternopil National Medical University<sup>2</sup>*

**SUMMARY.** The article examines the use of the bioelectric phase angle (PA) as a non-invasive method of assessing the state of the muscular system in children and adolescents. Bioelectric phase angle, which is interpreted as an indicator of the functional state of cell membranes. Unlike indicators of the component composition of the body, which are obtained using prognostic mathematical models that take into account the weight, height, gender and age of the patient, PA is a direct physical parameter that depends only on the electrical properties of tissues.

**The aim** – to study of the relationship between the values of the bioelectric phase angle and the presence of sarcopenia in children aged 9 to 14 years.

**Material and Methods.** The study was conducted on the basis of a children's sanatorium with the participation of 94 children who underwent bioelectrical analysis and hand dynamometric test. Indicators of the component composition of the body were obtained by the impedance method using the bioelectrical impedance analyzer "TANITA MC-780 MA" (Japan). A bioelectrical impedance analyzer was used to determine PA, and skeletal muscle strength was measured using a standardized hand isometric test using a Handexer Grip Strength Tester digital hand dynamometer (USA).

**Results.** The study showed gender differences in PA values and its influence on the presence of sarcopenia. Boys had higher PA values than girls, and they also had higher muscle mass. Children with signs of sarcopenia demonstrated statistically significantly lower PA values compared to those without signs of this condition.

**Conclusions.** The use of PA can be an effective method for assessing the state of the muscular system in children and adolescents. Low PA values may indicate the presence of sarcopenia, which is important for diagnosis and monitoring of physical development in the target group. Further studies should establish PA cut-off values for accurate diagnosis of sarcopenia and development of optimal treatment strategies.

**KEY WORDS:** phase angle; sarcopenia; bioimpedance analysis; children; skeletal muscles; muscle mass.

Отримано 05.03.2024

Електронна адреса для листування: olga.palamarchuk@uzhnu.edu.ua