УДК 616-073.43:616-089.844
DOI https://doi.org/10.32782/2415-8127.2026.74.3

***Василюк Сергій Михайлович,***
*доктор медичних наук, професор,*
*завідувач кафедри абдомінальної та невідкладної хірургії,*
*Івано-Франківський національний медичний університет*
*surifnmu@gmail.com*
*https://orcid.org/0000-0002-6738-6951*
*м. Івано-Франківськ, Україна*

***Козлов Вадим Владиславович,***
*кандидат медичних наук,*
*доцент кафедри хірургії, анестезіології та*
*інтенсивної терапії післядипломної освіти,*
*Національний медичний університет імені О.О. Богомольця*
*agsem09@gmail.com*
*https://orcid.org/0000-0002-5454-4797*
*м. Київ, Україна*

***Бондарєв Ростислав Валентинович,***
*доктор медичних наук, професор,*
*завідувач кафедри хірургічних хвороб з курсом пластичної хірургії,*
*Перший Європейський університет*
*rosbond@ukr.net*
*https://orcid.org/0000-0002-7832-3999*
*м. Київ, Україна*

# Еластометрія черевної стінки як метод оцінки структурно-функціональних змін у пацієнтів із післяопераційними грижами

**Вступ**. В хірургії великих післяопераційних гриж виникла потреба в пошуку об'єктивних діагностичних підходів, які б дозволили оцінити ступінь еластичності м'язів черевної стінки.

**Мета роботи.** Оцінити швидкість зсувної хвилі м'язів передньолатеральної стінки живота у пацієнтів з післяопераційними грижами різного розміру.

**Матеріали.** В дослідження було включено 114 пацієнтів з великими післяопераційними вентральними грижами (W2-W3). Середній вік склав 58,01±8,54 років. Середній розмір грижових воріт в пацієнтів склав 10,17±3,94 см – від 7 до 23 см (медіана – 9,0).

**Результати.** Середній показник SWS у пацієнтів з великими серединними післяопераційними грижами знаходився в межах референтних показників. Знижена м'язова еластичність прямих м'язів живота відмічалася у 36,8 % випадків, зовнішнього косого м'яза – у 40,4 %, внутрішнього косого м'яза – у 36,8 %, поперечного м'яза – 32,5 %. Збільшення SWS прямих м'язів живота спостерігалася у 42,1 % спостережень, зовнішнього косого м'яза – у 36,8 %, внутрішнього косого м'яза – у 48,2 %, поперечного м'яза – 53,5 %.

**Висновок**. У пацієнтів з післяопераційними серединними грижами W2-W3 наявна біомеханічна неоднорідність черевної стінки: присутнє як зниження, так і підвищення еластичності передньолатеральних м'язів.

**Ключові слова:** вентральна грижа, черевна стінка, ультразвукова еластометрія, біомеханіка черевної стінки, герніопластика.

**Vasyliuk Serhii Mykhailovych,** Doctor of Medical Sciences, Professor, Head at the Department of Abdominal and Emergency Surgery, Ivano-Frankivsk National Medical University, surifnmu@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-6738-6951, Ivano-Frankivsk, Ukraine

**Kozlov Vadym Vladyslavovych,** Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Surgery, Anesthesiology and Intensive Care of Postgraduate Education, Bogomolets National Medical University, agsem09@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-5454-4797, Kyiv, Ukraine

**Bondariev Rostislav Valentynovych,** Doctor of Medical Sciences, Professor, Head at the Department of Surgical Diseases with a Course of Plastic Surgery, International European University, rosbond@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-7832-3999, Kyiv, Ukraine

# Abdominal Wall Shear Wave Elastography for the Assessment of Biomechanical Changes in Patients with Incisional Hernias

**Introduction.** In the surgical management of large incisional hernias, objective diagnostic methods are needed to assess the biomechanical properties of the abdominal wall musculature.

**Objective.** To evaluate shear wave velocity (SWS) in the anterolateral abdominal wall muscles in patients with incisional hernias of different sizes.

**Materials.** The study included 114 patients with large midline incisional hernias (W2-W3). The mean age was 58.01±8.54 years. The mean hernia defect size was 10.17±3.94 cm, ranging from 7 to 23 cm (median, 9.0 cm).

**Results.** The mean SWS in patients with large midline incisional hernias was within the established reference range. Reduced elasticity of the rectus abdominis was observed in 36.8% of cases, of the external oblique in 40.4%, of the internal oblique in 36.8%, and of the transversus abdominis in 32.5% of cases. Increased SWS of the rectus abdominis was observed in 42.1% of cases, of the external oblique in 36.8%, of the internal oblique in 48.2%, and of the transversus abdominis in 53.5% of cases.

**Conclusion.** Patients with W2-W3 midline incisional hernias demonstrate biomechanical heterogeneity of the abdominal wall, characterized by both reduced and increased tissue stiffness in the anterolateral abdominal wall muscles.

**Key words:** incisional hernia, abdominal wall, shear wave elastography, biomechanics, hernia repair.

**Вступ**. Нині відомо, що післяопераційні грижі з великими дефектами мають більший ризик незадовільних результатів хірургічного лікування і пов'язані з вищою частотою рецидивів [1]. Часто ці незадовільні результати можуть бути спричинені латеральною м'язовою ретракцією, яка чинить надмірне навантаження на шви апоневрозу. З цією метою у передопераційній підготовці пацієнтів нині застосовують ін'єкції ботулотоксину, які визначені як потенційний передопераційний засіб для протидії натягу черевної стінки, зменшення розміру грижі та полегшення фасціального закриття [2]. Однак, цей підхід залишається суб'єктивним та визначається хірургом індивідуалізовано.

Незважаючи на досягнення сучасної хірургії, розробку сучасних підходів та матеріалів для закриття операційної рани, рівень післяопераційних гриж залишається високим. Це підкреслює важливість кращого розуміння ролі м'язового каркасу в розвитку дефектів черевної стінки і оцінки вентральної грижі, як біомеханічної патології з різноманітними факторами ризику [3, 4].

Черевна стінка є динамічною несучою структурою, яка щоденно піддається внутрішньочеревному тиску та механічному напруженню. Тому її основні біомеханічні властивості, зокрема еластичність та стійкість до різноманітних сил навантаження можуть визначати її реакцію на хірургічне втручання. Біла лінія живота є жорстким компонентом, який зазнає найбільшого напруження з боку черевних м'язів і може по різному реагувати на різні деформаційні впливи [5].

На нашу думку, в хірургії великих післяопераційних гриж виникла потреба в пошуку об'єктивних діагностичних підходів, які б дозволили оцінити ступінь еластичності м'язів черевної стінки.

Таким методом може бути УЗД-еластографія черевної стінки з визначенням швидкості зсувної хвилі (SWS). Ця неінвазійна методика може надати важливу та об'єктивну інформацію для передопераційної підготовки пацієнтів з післяопераційними грижами [6]. Однак, досліджень, які б оцінювали еластографію черевної стінки доволі мало, що спонукало нас оцінити її цінність у пацієнтів з великими серединними післяопераційними грижами.

**Мета роботи.** Оцінити швидкість зсувної хвилі м'язів передньолатеральної стінки живота у пацієнтів з післяопераційними грижами різного розміру.

**Методологія та методи дослідження.** В дослідження було включено 114 пацієнтів з великими післяопераційними вентральними грижами (W2-W3). До цієї когорти не були включені пацієнти з бічними грижами, пацієнти після лапароскопічних операційних втручань та пацієнти з високим анестезіологічним ризиком. У всіх пацієнтів проводилася корекція грижі нами самостійно, або разом з науковими консультантами. Середній вік склав 58,01±8,54 років, з розмахом 36-77 років (медіана – 57,0; КА – 0,02). Серед пацієнтів вірогідно (p=0,001) переважали жінки: 79,8 % проти 20,2 %.

Середній розмір грижових воріт в пацієнтів склав 10,17±3,94 см – від 7 до 23 см (медіана – 9,0; КА – 1,79). У основної частки пацієнтів грижові ворота мали від 7 до 10 см, і значно менша кількість спостережень була понад 14 см. Відмічалася слабка пряма позитивна кореляція (r=2,25) тенденції до збільшення розміру грижових воріт з вищим віком пацієнта, яка, однак, була невірогідною. У пацієнтів з грижовими воротами 7-10 см відмічалася значна варіабельність віку (35-74 роки), що вказувало на високу дисперсію. У діапазоні більше 14 см відмічалася тенденція до старшого віку, однак, без чіткої лінійності.

У пацієнтів визначали еластичність м'язів черевної стінки, за допомогою ультрасонографії. Проводили вимірювання швидкості зсувної хвилі (shear wave speed (SWS)) основних м'язів черевної стінки: m. rectus abdominis (RA), m. obliquus externus (EO), m. obliquus internus (IO) та m. transversus abdominis (TrA). Результати були отримані за допомогою ультразвукової системи Siemens Acuson S2000, оснащеної лінійним перетворювачем з частотою від 4 до 9 МГц та програмним забезпеченням. Кількісні вимірювання швидкості зсувної хвилі в опорно-руховій системі подавалися як швидкість (м/с).

Статистичну обробку даних проводили з використанням програмного забезпечення Statistica 10.0 (TIBCO Software Inc., США). Нормальність розподілу кількісних змінних перевіряли за допомогою критерію Шапіро–Вілка. Дані, що відповідали нормальному розподілу, представлено у вигляді середнього значення ± стандартного відхилення (M±SD). Для ненормально розподілених змінних використовували медіану (межі 1-го та 3-го квартилів).

**Результати**. При аналізі отриманих даних, ми встановили, що середній показник SWS у пацієнтів з великими серединними післяопераційними грижами знаходився в межах референтних показників (табл. 2): для прямих м'язів – 1,47±0,60 м/с, для зовнішніх косих м'язів – 1,50±0,59 м/с, для внутрішніх м'язів – 1,46±0,61 м/с та для поперечних м'язів – 1,45±0,61 м/с. На перший погляд, це вказувало на нормальну еластограму у обстежених пацієнтів. Однак, аналіз коефіцієнта асиметрії та Shapiro-Wilk test (p<0,001) показав що розподіл показників був ненормальний.

Ймовірнісні графіки показали, що нульова гіпотеза про нормальний розподіл показників SWS могла бути відхилена (p<0,05) (рис. 1). Відмічалися ознаки дефор-

Таблиця 2

**SWS у пацієнтів з великими серединними післяопераційними грижами (n-114)**

| Показник | RA | EO | IO | TrA |
|---|---|---|---|---|
| Референтні дані SWS (м/с) | 1,2-1,8 | 1,3-1,9 | 1,2-1,7 | 1,1-1,6 |
| Середнє SWS (м/с) | 1,47±0,60 | 1,50±0,59 | 1,46±0,61 | 1,45±0,61 |
| Медіана | 1,68 | 1,68 | 1,67 | 1,67 |
| Мін-Макс | 0,37-2,38 | 0,42-2,54 | 0,37-2,38 | 0,28-2,36 |
| Коефіцієнт асиметрії | -0,33 | -0,23 | -0,33 | -0,36 |
| Shapiro-Wilk test | 0,897 | 0,917 | 0,895 | 0,894 |
| p | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |

*Примітка: RA – m. rectus abdominis, EO – m. obliquus externus, IO – m. obliquus internus, TrA – m. transversus abdominis.*

мації кривої з асиметрією праворуч та появою значень, які суттєво відрізнялися від основного розподілу даних і не відповідали типовому діапазону вибірки.

Це було свідченням біомеханічної неоднорідності черевної стінки у пацієнтів з великими післяопераційними грижами. Якщо у нормі м'язи черевної стінки функціонують як однорідна біомеханічна система, де при певних значеннях еластичності, напруження розподіляється рівномірно, то при появі значного грижового дефекту по серединній лінії, у значної частки пацієнтів з'являється як зниження, так і підвищення еластичності.

Аналізуючи варіанти SWS у пацієнтів з великими серединними післяопераційними грижами, ми встановили наступне (рис. 2). Знижена м'язова еластичність прямих м'язів живота відмічалася у 36,8 % випадків, зовнішнього косого м'яза – у 40,4 %, внутрішнього косого м'яза – у 36,8 %, поперечного м'яза – 32,5 %. Ці пацієнти були найбільш сприятливою групою для успішної корекції грижового дефекту.

Референтні показники прямих м'язів живота були у 21,1 % пацієнтів, зовнішнього косого м'яза – у 22,8 %, внутрішнього косого м'яза – у 14,9 %, поперечного м'яза – 38,1 %. Цих пацієнтів можна було розглядати, як оптимальних кандидатів на ретром'язове встановлення проленового протезу.

Збільшення SWS (жорсткість м'язового каркасу) прямих м'язів живота спостерігалася у 42,1 % спостережень, зовнішнього косого м'яза – у 36,8 %, внутрішнього косого м'яза – у 48,2 %, поперечного м'яза – 53,5 %. Для хірургічної корекції у таких пацієнтів необхідно було розглядати сепарацію компонентів. Відсутність м'язового комплаєнсу – одна з найголовніших причин підвищення інтраабдомінального тиску в ранньому післяопераційному періоді та високого ризику рецидиву грижі у віддаленому періоді.

З огляду на високу частоту жорсткості поперечного м'язу, при виборі методу сепарації більш доцільним

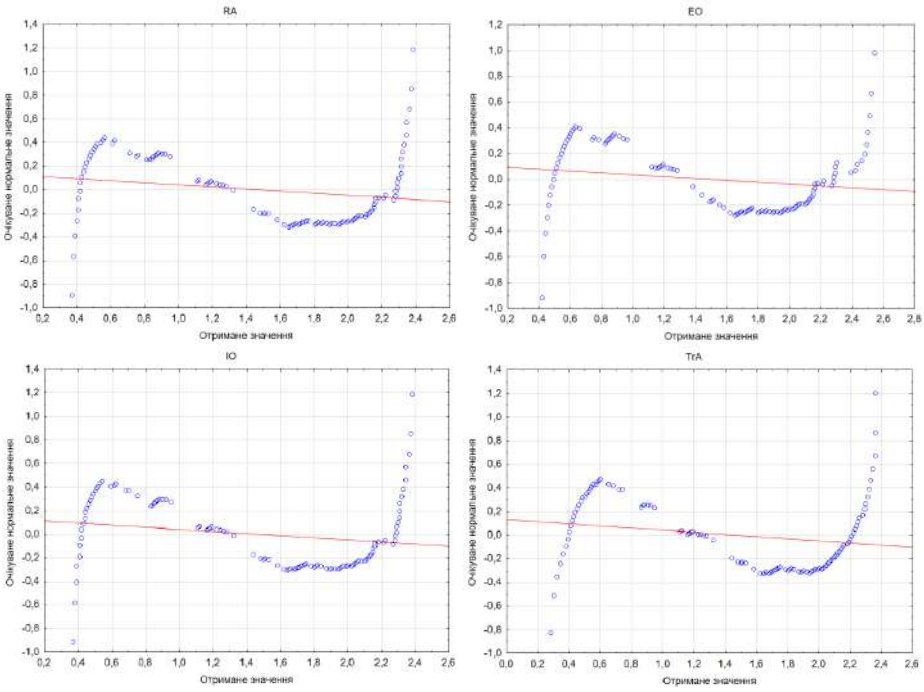



**Рис. 1. Статистична оцінка якості та структури даних SWS (RA – прямий м'яз, EO – зовнішній косий м'яз, IO – внутрішній косий м'яз, TrA – поперечний м'яз).**

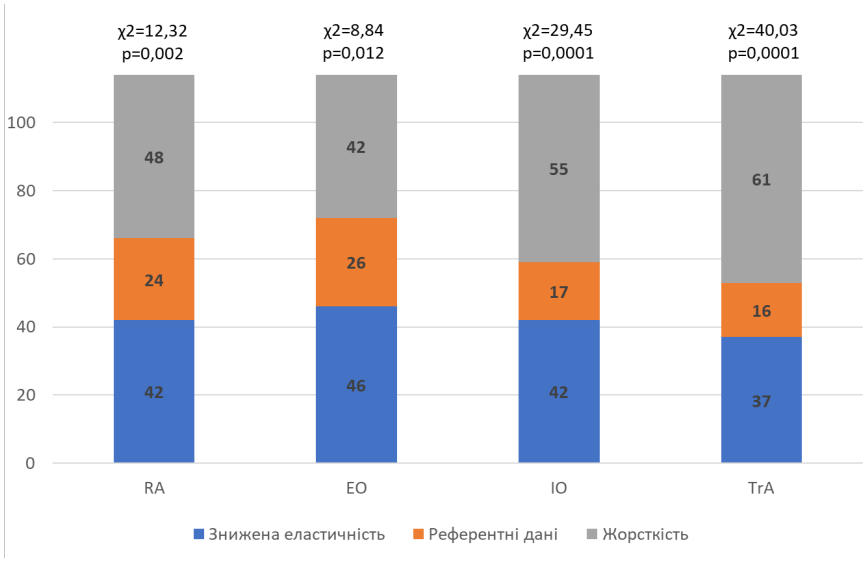



**Рис. 2. Варіанти SWS у пацієнтів з великими серединними післяопераційними грижами (n-114)**

і обґрунтованим була техніка сепарації заднього компоненту – вивільнення поперечного м'язу.

М'язи черевної стінки перестають працювати, як єдина система, що забезпечує стабільність тулуба. Виникають зони м'язового перевантаження, що може спричиняти нерівномірний розподілу тиску на різні ділянки черевної стінки під час повсякденної фізичної активності. Це могло призводити до прогресування грижового дефекту.

Для визначення залежності між усередненим показником SWS м'язів тулуба і розміром грижових воріт, ми провели ROC-аналіз (рис. 3).

ROC-крива показала помірну діагностичну ефективність показника SWS (AUC = 0,76), з оптимальним пороговим значенням 1,99. В значної частки пацієнтів з грижовими воротами ≥ 9 см спостерігалася підвищена еластичність м'язів тулуба (жорсткість). Однак, у вибірці були й пацієнти, в яких на фоні великих грижових воріт спостерігалася знижена еластичність м'язів тулуба.

**Обговорення**. Наше дослідження показало, що концепція біомеханічної неоднорідності при великих серединних післяопераційних грижах може бути результатом комбінації підвищеної жорсткості м'язового каркасу (фіброз, ретракція) чи його зниження (атрофія, дегенерація). Необхідно відмітити, що на розмір грижових воріт вірогідно впливала еластичність м'язів черевної стінки.

Нині з'являються дослідження, де виконують оцінку товщини та швидкість зсувної хвилі м'язів передньолатеральної стінки живота при післяопераційних грижах. При цьому вказують, що товщина м'язів не є надійним

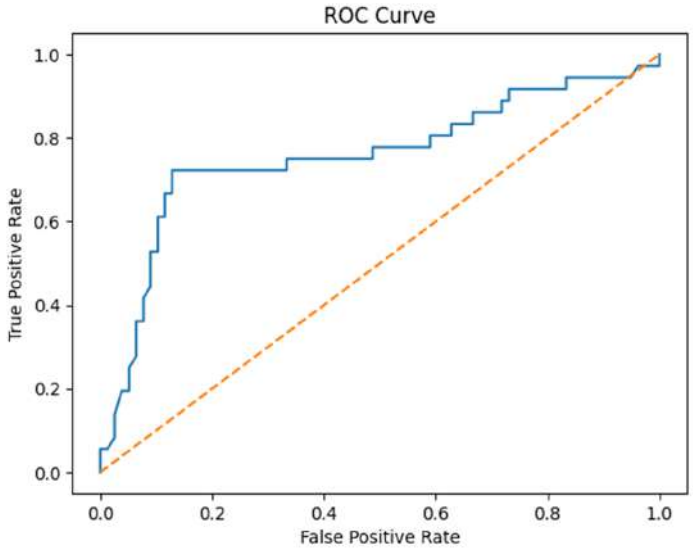



**Рис. 3. ROC-крива усередненого показника SWS для диференціації пацієнтів із розміром грижових воріт (медіана 9 см). Площа під кривою (AUC) 0,76 (95%). Оптимальне порогове значення (індекс Youden) 1,99**

показником, який безпосередньо відображає біомеханічні зміни м'язів черевної стінки у пацієнтів з післяопераційною гриже, тоді як швидкість зсувної хвилі може точно виміряти жорсткість м'язів черевної стінки та інтуїтивно оцінити її біомеханічні властивості [7].

Інші роботи вказують на статистичну різницю в товщині м'язів у групі пацієнтів з післяопераційною грижею, ніж у здорових людей контрольної групи ($p<0,05$). Однак, цей показник має важливе значення швидше для оцінки планів реабілітації, щодо покращення м'язової сили у післяопераційному періоді [8].

Виходячи з цього, характеристика механічних властивостей шарів черевної стінки є важливою для передопераційної підготовки пацієнтів та є першим кроком до персоналізованого лікування [9].

**Висновки.**

1. У пацієнтів з післяопераційними серединними грижами W2-W3 наявна біомеханічна неоднорідність черевної стінки: присутнє як зниження, так і підвищення еластичності передньолатеральних м'язів.

2. Знижена м'язова еластичність прямих м'язів живота відмічалася у 36,8 % випадків, зовнішнього косого м'яза – у 40,4 %, внутрішнього косого м'яза – у 36,8 %, поперечного м'яза – 32,5 % (ці пацієнти були найбільш сприятливою групою для успішної корекції грижового дефекту), а підвищена прямих м'язів живота спостерігалася у 42,1 % спостережень, зовнішнього косого м'яза – у 36,8 %, внутрішнього косого м'яза – у 48,2 %, поперечного м'яза – 53,5 % (для хірургічної корекції у таких пацієнтів необхідно було розглядати сепарацію компонентів).

3. Перспективним в плані подальших наукових досліджень є напрацювання критеріїв для вибору методу герніопластики, залежно від показників еластометрометрії.

**Інформація про конфлікт інтересів.** Конфлікту інтересів немає.

**Інформація про фінансування.** Автори гарантують, що вони не отримували жодних винагород у будь-якій формі, здатних вплинути на результати роботи.

**Особистий внесок кожного автора у виконання роботи:**

Василюк С.М. – ідея, мета роботи, аналіз отриманих результатів;

Козлов В.В. – збір матеріалу дослідження, аналіз отриманих результатів;

Бондарєв Р.В. – статистична обробка матеріалу, підготовка тексту статті.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Bondarev RV, Kozlov VV, Vasyliuk SM. Chronology Of Incisional Hernia Development: Key Risk Periods. Khark. Surg. Sch. 2025;(2):134-9. https://doi.org/10.37699/2308-7005.2.2025.21

2. Ali IM, Shetty K S, Shetty V. A Clinical Study of Anterior Abdominal Wall Hernias and Its Management: A Medical College Experience. Cureus. 2024;16(8):e67209. https://doi.org/10.7759/cureus.67209

3. Joppin V, Masson C, Bendahan D, Bege T. A review of ventral hernia biomechanics. J Mech Behav Biomed Mater. 2026 Jan;173:107159. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2025.107159

4. Kozlov VV, Bondarev RV, Vasyliuk SM. Clinical assessment of patients with incisional ventral hernias. Khark. Surg. Sch. 2025 Feb. 20;0(1):52-7. https://doi.org/10.37699/2308-7005.1.2025.09

5. He K, Zhou X, Zhu Y, Wang B, Fu X, Yao Q, Chen H, Wang X. Muscle elasticity is different in individuals with diastasis recti abdominis than healthy volunteers. Insights Imaging. 2021 Jun 29;12(1):87. https://doi.org/10.1186/s13244-021-01021-6

6. Shkaraban VP, Bulyk II, Vasyliuk SM, Prudnikov OV, Labyak IR, Bitska SV, Pavliuk NM. Modern approach to inguinal hernia surgery. Khark. Surg. Sch. 2023 Feb. 26;0(1-2):151-6. https://doi.org/10.37699/2308-7005.1-2.2023.31

7. Wang B, He K, Zhu Y, Fu X, Yao Q, Chen H, Wang X. Quantitative Analysis of Abdominal Muscles Using Elastography in Female Patients With Incisional Hernia. Front Surg. 2022 Apr 12;9:831184. https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.831184

8. Wang X, He K, Zhu Y, Fu X, Huang Z, Ding R, Yao Q, Chen H. Use of Shear Wave Elastography to Quantify Abdominal Wall Muscular Properties in Patients With Incisional Hernia. Ultrasound Med Biol. 2020 Jul;46(7):1651-1657. https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2020.03.027.

9. Zemzemi C, Catheline S, Turquier F. Shear wave elastography biases in abdominal wall layers characterization. Phys Med Biol. 2021 Oct 11;66(20). https://doi.org/10.1088/1361-6560/ac29cd.

Дата першого надходження статті до видання: 16.06.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.07.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0