

## **Заключение**

Преподавание гистологии студентам ФПСЗС требует от преподавателей подробного анализа материала учебных изданий на английском и русском языках для определения соответствий в изложении материала и методологических подходах разных гистологических школ, что на наш взгляд, является важным для более качественной подготовки специалистов для зарубежных стран.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Афанасьев, Ю. И.* Гистология: учебник / Ю. И. Афанасьев, Н. А. Юрина. — М.: Медицина, 1999. — 743 с.
2. *Ross, M. H.* Histology: A Text and Atlas: with Correlated Cell and Molecular Biology / M. H. Ross, Wojciech Pawlina. — Baltimore, Philadelphia. — Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business. — 2011. — 974 p.
3. *Luis, C. J.* Basic Histology / C. J. Luis, J. Carnerio, A. Lone Long. — USA. — Appleton-Century-Crofts, 1986. — 529 p.
4. Atlas of Histology with Functional and Clinical Correlations / M. S. Cui Dongmei [et al.]. — Baltimore, Philadelphia. — Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 2011. — 439 p.

УДК 616.155.194-008.851-053.2:537.533/534

## **ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДИСКОЦИТОВ ПРИ ИХ ТРАНСФОРМАЦИИ В СФЕРОЦИТЫ ДЛЯ ЭРИТРОЦИТОВ ПАЦИЕНТОВ С НАСЛЕДСТВЕННЫМ СФЕРОЦИТОЗОМ**

*Стародубцева М. Н.<sup>1,3</sup>, Мицура Е. Ф.<sup>2</sup>, Стародубцев И. Е.<sup>4</sup>,  
Челнокова И. А.<sup>3</sup>, Егоренков Н. И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»,

<sup>2</sup>Государственное учреждение

«Республиканский научно-практический центр  
радиационной медицины и экологии человека»,

<sup>3</sup>Государственное научное учреждение

«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»

г. Гомель, Республика Беларусь,

<sup>4</sup>Учреждение образования

«Белорусский государственный университет»

г. Минск, Республика Беларусь

## **Введение**

Наследственный сфероцитоз (НС) — гетерогенная группа гемолитических анемий, вызванных мутацией кодирующих синтез белков мембранного скелета эритроцитов генов. Механические свойства поверхности эритроцитов играют значительную роль в развитии осложнений НС. Так, прохождение патологических эритроцитов через селезенку вызывает их повышенный гемолиз, ведущий к анемии и спленомегалии, а нарушение микроциркуляции с их участием может приводить к хроническим язвам нижних конечностей.

В крови пациентов с НС доля эритроцитов в сфероидных формах значительна. Предполагают, что трансформация «дискоцит – сфероцит» имеет место при прохождении эритроцитов через селезенку вследствие везикуляции (отрыве при существенных сдвиговых нагрузках части мембраны у дискоидов и образовании внеклеточных везикул и сфероцитов).

## **Цель**

Сравнительный анализ структуры и механических свойств поверхностного слоя эритроцитов двух морфологических форм (дискоцитов и сфероцитов) при наследственном сфероцитозе методами атомно-силовой микроскопии.

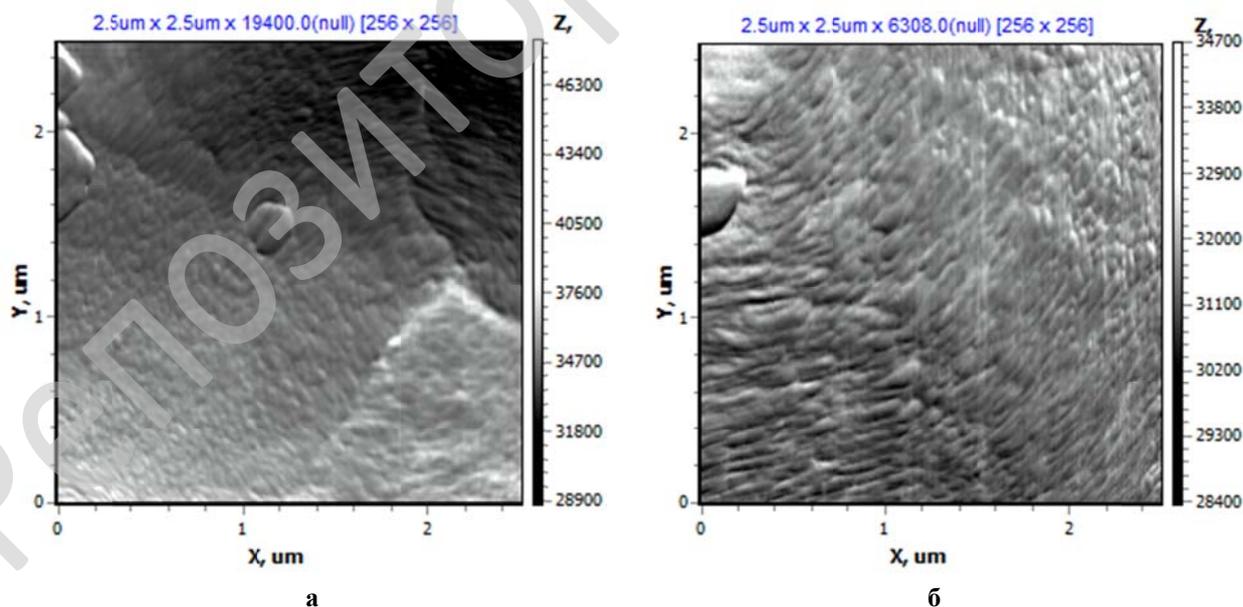
## **Материал и методы исследования**

В работе исследованы эритроциты периферической крови пациентов РНПЦ радиационной медицины и экологии человека с наследственным сфероцитозом (НС). Венозную кровь забирали в пробирки с антикоагулянтом ЭДТА. Эритроциты фиксировали глутаровым альде-

гидом (1 % раствор) в течение 15, 30 или 60 мин (37 °С), отмывали три раза раствором Хэнкса и два раза дистиллированной водой, затем помещали на стеклянные пластины и высушивали на воздухе при комнатной температуре. Анализ морфологии эритроцитов проводили с помощью световой микроскопии. АСМ-исследования поверхности клеток проводили на атомно-силовом микроскопе «НТ-206» («Микротестмашины», Беларусь) в режиме записи карт рельефа и карт латеральных сил при контактном методе сканирования иглой-зондом («MikroMasch», Эстония) CSC38: уровень В, коэффициент жесткости 0,03 Н/м (22 ± 5 °С, влажность воздуха 55 ± 10 %. Сканировали участки поверхности клеток размером от 0,7 × 0,7 мкм до 10 × 10 мкм с разрешением 256 × 256 пикселей и 128 × 128 пикселей. Обработку АСМ-данных осуществляли с помощью программы «Surface Explore 1.3.11» («Микротестмашины», Беларусь) и специально разработанного нами для этих целей программного комплекса [1]. Оценивали силы трения (скольжения) ( $F_f$ ) и шероховатость ( $R_q$ ) карт сил трения на участках поверхности размером 2,5 × 2,5 мкм, модуль Юнга ( $E$ ) (глубина индентирования 10 нм). Силы трения рассчитывали как полуразность латеральных сил при прямом и обратном проходе иглы-зонда по исследуемой поверхности. Для карт латеральных сил рассчитывали параметры спектрограммы, полученной с помощью дискретного преобразования Фурье. Для каждой линии сканирования АСМ-изображения были построены периодограммы  $R(\omega)$ , используя дискретное преобразование Фурье. Сгладив полученные периодограммы окном Даниэля размером  $m = 11$ , получали оценки спектральной плотности  $R_m(\omega)$ . Усредненную для каждой частоты по всем линиям сканирования кривую оценок  $R_m'(\omega)$  аппроксимировали несколькими функциями Гаусса.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В работе изучено распределение значений механических свойств поверхностного слоя эритроцитов на участках поверхности (2,5 × 2,5 мкм) дискоцитов и сфероцитов, которые преобладают в крови пациентов с НС (рисунок 1). Крупные единичные гранулы, присутствующие на представленных рисунках (картах) для обоих типов эритроцитов, соответствуют везикулам (отделившимся от клеток, предположительно, при механических нагрузках, действующих на клетки в процессе приготовления образцов).



**Рисунок 1 — Типичные карты распределения значений механических свойств (карт латеральных сил) на участках поверхности дискоцитов (а) и сфероцитов (б) пациентов с НС**

Периодограммы, полученные для карт латеральных сил с помощью дискретного преобразования Фурье, были аппроксимированы двумя или тремя функциями Гаусса, что соответствует наличию в структуре карт структурных элементов двух или трех классов (таблица 1).

Таблица 1 — Параметры пространственного распределения значений механических свойств на участках поверхности дискоцитов и сфероцитов пациентов с НС

Клетки	Me, нм	Пика Гаусса и его вклад	R <sup>2</sup>
Дискоциты	88	69 нм (70 %), 136 нм (30 %)	98,5
		53 нм (37 %), 92 нм (53 %), 201 нм (10 %)	99,3
Сфероциты	102	76 нм (66 %), 143 нм (34 %)	99,2
		76 нм (66 %), 136 нм (33 %), 250 нм (1 %)	99,5

*Примечание:* Me — медиана пространственных периодов периодограмм. Кривые спектральных оценок аппроксимированы суммой двух и трех функций Гаусса. R<sup>2</sup> — коэффициент смешанной корреляции.

Проведенный пространственно-спектральный анализ показал, что с приблизительно одинаковым уровнем достоверности можно рассматривать карты распределения значений механических свойств поверхности дискоцитов как структуру, состоящую из разномасштабных элементов трех классов, а сфероцитов — только двух классов. При этом средние размеры структурных элементов поверхностного слоя для сфероцитов больше размеров соответствующих элементов для дискоцитов. Полученные данные свидетельствуют, что карты распределения значений механических свойств поверхностного слоя сфероцитов, характеризующие структуру мембранного скелета эритроцитов (актин-спектриновая сеть), более однородны в сравнении с картами для дискоцитов. Можно также заключить, что средние расстояния между соседними центрами соединения актин-спектриновой сети с мембраной эритроцитов увеличиваются при переходе «дискоцит-сфероцит», т. е. актин-спектриновая сеть сфероцита находится в более «натянutom» состоянии в сравнении с цитоскелетом дискоцита. Эти изменения структуры поверхностного слоя соответствуют представлению о трансформации патологических дискоцитов в сфероциты через везикуляцию. В дискоцитах пациентов с НС имеются нарушения пространственной упорядоченности актин-спектриновой сети и расположения мест связывания цитоскелета с мембраной из-за аномалии структур белков цитоскелета. Участки поверхности дискоцитов, слабо связанные с цитоскелетом, при прохождении дискоцитом селезенки, когда они подвергаются значительным механическим напряжениям, отделяются от клетки в виде внеклеточных везикул (микровезикул). Удаление участков мембраны, слабо связанных с цитоскелетом (крупномасштабные пробелы в структуре цитоскелетной сети), приводит к уменьшению степени неоднородности структуры поверхностного слоя эритроцитов. Изменение соотношения объема клетки к площади ее поверхности ведет к формированию сфероцитов с растянутой сетью цитоскелета из актина и спектрина. Наблюдаемые изменения структуры поверхностного слоя эритроцитов при НС, связанные с трансформацией «дискоцит-сфероцит», оказывают влияние на интегральные параметры механических свойств участков поверхности этих клеток. Как показано на рисунке 2, при трансформации «дискоцит-сфероцит» увеличивается модуль Юнга, медианные силы трения скольжения и уменьшается шероховатость карт сил трения скольжения.

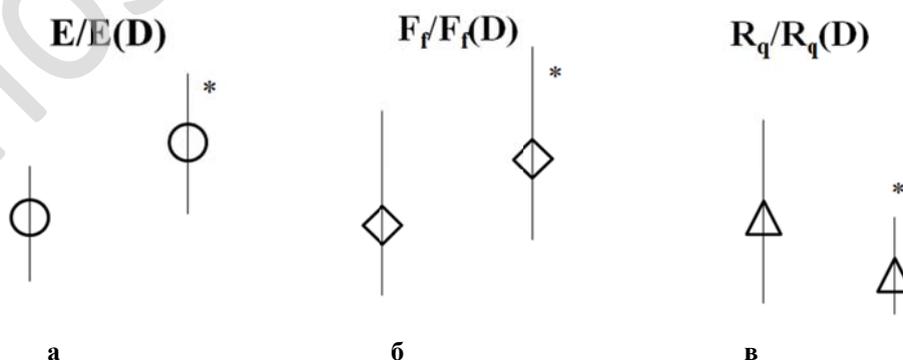


Рисунок 2 — Модуль Юнга (E), средние значения сил трения (F<sub>f</sub>) и шероховатость (R<sub>q</sub>) карт сил трения для участков поверхности дискоцитов и сфероцитов при НС

*Примечание.* E, F<sub>f</sub>, R<sub>q</sub> — параметры, оцененные для выборки сфероцитов (n = 45–52); E(D), F<sub>f</sub>(D), R<sub>q</sub>(D) — параметры, оцененные для выборки дискоцитов (n = 80–89).

Данные представлены в виде медианы и интерквартильного интервала.

\*p < 0,05 Манн — Уитни U тест

Эти изменения интегральных параметров участков поверхности клеток соответствуют изменениям их структуры карт механических свойств на наноуровне. Удаление пробелов в сети мембранного цитоскелета и упрощение его структуры (уменьшение степени неоднородности структуры) при трансформации эритроцитов («дискоцит-сфероцит») у пациентов с НС способствует усилению упругих и фрикционных свойств поверхности эритроцитов.

#### **Заключение**

С помощью АСМ выявлены наномасштабные изменения структуры распределения значений механических свойств поверхностного слоя эритроцитов и соответствующие им изменения интегральных механических параметров поверхности эритроцитов, связанных с трансформацией «дискоцит-сфероцит» при НС. Полученные данные согласуются с гипотезой о трансформации «дискоцит-сфероцит» с помощью везикуляции [2].

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Стародубцев, И. Е. Метод анализа АСМ-изображений поверхностей биологических клеток на основе спектральных плотностей / И. Е. Стародубцев, Ю. С. Харин // Молодежь в науке — 2017: сб. материалов Междунар. конф. молодых ученых; Минск, 30 окт. — 2 нояб. 2017 г.; в 2 ч. Ч. 2. / НАН Беларуси, Совет мол. ученых; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. — Минск: Беларуская навука, 2018. — С. 216.
2. Red blood cell vesiculation in hereditary hemolytic anemia / A. Alaarg [et al.] // *Frontiers in Physiology*. — 2013. — Vol. 4. — P. 365.

УДК 796:[378.4:61-055/2]

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ПОВТОРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ РАЗВИТИИ СИЛЫ МЫШЦ КИСТИ У СТУДЕНТОК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕДИЦИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РУЧНОГО ЭКСПАНДЕРА**

*Столбицкий В. В.*

**Учреждение образования  
«Витебский государственный медицинский университет»,  
г. Витебск, Республика Беларусь**

#### **Введение**

Важное место в системе физической подготовки будущих медиков занимает проблема оптимизации учебно-тренировочного процесса, направленного на развитие силовых качеств, так как силу всегда ставят на первое место среди двигательных качеств. Под силой как двигательным качеством понимается способность человека преодолевать внешнее сопротивление или противодействовать ему путем мышечных усилий.

Сила мышц является одним из показателей физического развития организма человека [2, 3]. Как отмечают специалисты в области физического воспитания, сила мышц с возрастом увеличивается и наиболее интенсивный прирост происходит в подростковом возрасте. С 18 лет рост силы замедляется и 25–26 годам заканчивается. В этой связи студенческий возраст является оптимальным для силовой подготовки.

Однако проведенные нами исследования позволили установить, что силовой индекс у студентов ВГМУ находится на низком уровне [1].

Для развития силы существует много методик и средств. Одним из таких средств при развитии силы мышц кисти является кистевой экспандер. В имеющейся методической литературе рассматриваются лишь общие положения по развитию силы мышц кисти. Однако до настоящего времени еще слабо изучена специфика использования кистевого экспандера при развитии силы и неотработана методика ее использования.

#### **Цель**

Разработка и экспериментальное обоснование использования кистевого экспандера при развитии силы мышц кисти методом повторного воздействия.

#### **Материал и методы исследования**

Для реализации поставленной цели были использованы следующие методы исследования: тестирование, методы математической статистики, педагогический эксперимент.