

# **ВЛИЯНИЕ ГАЗОТРАНСМИТТЕРОВ НА МИКРОРЕОЛОГИЮ ЭРИТРОЦИТОВ И КИСЛОРОДТРАНСПОРТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КРОВИ**

*Муравьев А. В.<sup>1</sup>, Зинчук В. В.<sup>2</sup>, Михайлов П. В.<sup>1</sup>, Остроумов Р. С.<sup>1</sup>,*

*Тихомирова И. А.<sup>1</sup>, Петроченко Е. П.<sup>1</sup>, Волкова Е. Л.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ФГБОУ ВО Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, г. Ярославль, Россия*

<sup>2</sup>*Гродненский государственный медицинский университет, г. Гродно, Беларусь*

**Введение.** Транспорт кислорода в ткани определяется величиной объемного кровотока. Он в свою очередь зависит от сосудистых и реологических параметров. К последним относится вязкость крови как интегральная реологическая характеристика. На нее влияют макро- и микрореологические факторы: вязкость плазмы, гематокрит, потоковая деформация и агрегация эритроцитов. Роль микрореологии особо важна в обменных капиллярах, лишенных мышечных элементов. Зрелые эритроциты сохранили многие элементы сигнальных каскадов, на которые могут действовать регуляторные молекулы, в том числе газотрансммиттеры (ГТ), такие как оксид азота (NO), монооксид углерода (CO) и сульфид водорода (H<sub>2</sub>S). Были получены данные, свидетельствующие о положительном влиянии NO и стимулятора активности NO-синтазы (NOS) L- аргинина, а также сероводорода на деформируемость и агрегацию клеток крови.

**Цель** – исследование влияния газотрансммиттеров на микрореологию эритроцитов и кислородтранспортный потенциал крови.

**Материалы и методы исследования.** Протокол исследования включал две группы наблюдений. Первая группа – физически нетренированные лица (группа 1, n=22, мужчины, возраст – 28,2±1,8 года). Первая группа рассматривалась как группа сравнения. Вторая группа – это лица, занимающиеся спортом (группа 2, n=18, мужчины – спортсмены высокой квалификации, средний возраст – 26,4±1,8 года). У всех испытуемых регистрировали максимальное потребление кислорода (МПК) при нагрузочном тестировании на велоэргометре Monark 928 E (Швеция) с помощью метабологафа «Спиrolан-М» (модель ПТС-14П-01, Россия). Для оценки доставки O<sub>2</sub> в ткани регистрировали напряжение кислорода в коже предплечья (TspO<sub>2</sub>) методом чрескожной полярографии (Radiometer, TCM4, Дания). Метаболизм оксида азота определяли по содержанию в плазме крови конечных продуктов (нитраты/нитриты, NOx). В цельной крови регистрировали: вязкость крови, плазмы и суспензии эритроцитов на ротационном вискозиметре Брукфилда (модель DV2TLV). Гематокрит (Hct) определяли с помощью гематокритной центрифуги. Реологическую эффективность транспорта кислорода кровью оценивали отношением гематокрит/вязкость (Hct/η). Для исследования роли газотрансммиттеров (ГТ) в изменениях микрореологии эритроцитов клетки инкубировали с донорами NO и H<sub>2</sub>S (нитропруссидом натрия, НПН, 100 мкМ), гидросульфидом натрия, NaHS, 100 мкМ) и субстратом синтеза NO – L-аргинином (100 мкМ). После этого регистрировали деформируемость и агрегацию эритроцитов (АЭ). АЭ измеряли с помощью агрегометра Мутепе M1

(Германия). Для оценки деформируемости эритроцитов определяли их индекс удлинения (ИУЭ) в проточной микрокамере. На основе измерения длины ( $L$ ) и ширины ( $W$ ) вытянутых потоком клеток рассчитывали индекс их удлинения (ИУЭ) как показатель деформируемости эритроцитов:  $\text{ИУЭ} = L/W$  (отн. ед.).

Статистическую обработку проводили с определением средней величины ( $M$ ) и стандартной ошибки ( $m$ ). Проверку выборочного распределения выполняли с помощью теста Шапиро-Уилка. С учетом этого была использована непараметрическая статистика с применением программы "Statistica 10.0". Сравнение двух и более независимых групп проводили с помощью рангового дисперсионного анализа Крускала-Уоллиса. За уровень статистически значимых принимали различия при  $p < 0,05$  и  $p < 0,01$ . Гипотеза о взаимосвязи данных проверялась по коэффициентам параметрической корреляции Пирсона.

**Результаты.** Как видно из данных, приведенных в таблице, у лиц группы 2 МПК было достоверно (на 53%) ( $p < 0,01$ ) больше, чем у лиц группы 1. Что касается разницы локального напряжения кислорода ( $\text{ТсрO}_2$ ), то она составила (35%,  $p < 0,05$ ).

Таблица – Показатели микрореологии эритроцитов, содержания NOx в крови и величины МПК и  $\text{pO}_2$  в коже у лиц с разным кислородным обеспечением организма ( $M \pm m$ )

| Показатели                   | Группа 1 (n=22)  | Группа 2 (n=18)   |
|------------------------------|------------------|-------------------|
| МПК, мл $\text{O}_2$ /кг/мин | 38,9 $\pm$ 1,6   | 59,4 $\pm$ 2,4**  |
| $\text{pO}_2$ , мм рт. ст.   | 33,02 $\pm$ 2,12 | 44,57 $\pm$ 3,36* |
| NOx, мкмоль/л                | 39,8 $\pm$ 1,2   | 34,1 $\pm$ 1,5*   |
| ВК, мПа·с                    | 4,18 $\pm$ 0,34  | 3,80 $\pm$ 0,28*  |
| ИУЭ, отн. ед.                | 2,0 $\pm$ 0,02   | 2,14 $\pm$ 0,02*  |
| АЭ, отн. ед.                 | 16,88 $\pm$ 1,46 | 12,49 $\pm$ 1,29* |
| ВС, мПа·с                    | 4,14 $\pm$ 0,10  | 3,85 $\pm$ 0,08*  |
| Нст/ $\eta$ , отн. ед.       | 11,08 $\pm$ 0,18 | 13,20 $\pm$ 0,20* |

Примечания – \* – различия по сравнению с показателями группы 1 достоверны при  $p < 0,05$ ; \*\*при  $p < 0,01$ ; МПК – максимальное потребление кислорода; NOx – соотношение нитраты/нитриты; ВК – вязкость крови; Нст –гематокрит; ИУЭ – индекс удлинения эритроцитов; АЭ – показатель агрегации эритроцитов; ВС – вязкость суспензии эритроцитов; Нст/ $\eta$  – отношение гематокрита к вязкости крови ( $\eta$ ) как показатель ее транспортного потенциала.

Вязкость крови была на 9% ( $p < 0,05$ ) снижена у лиц группы 2 (таблица). Поэтому из-за более низкой вязкости крови ее соотношение с гематокритом (показатель транспортного потенциала крови, Нст/ $\eta$ ) было выше, чем у испытуемых группы 1, – на 19% ( $p < 0,01$ ). При этом выявлена положительная корреляция между МПК и Нст/ $\eta$ : в группе 1 – 0,57 и в группе 2 – 0,72 ( $p < 0,01$ ). Разница в более высоком кислородном обеспечении организма кислородом лиц группы 2 сочеталась с более эффективной микрореологией эритроцитов. Так, ИУЭ в группе 2 был на 7% ( $p < 0,01$ ) выше, чем в группе 1, агрегация эритроцитов на 26% ( $p < 0,05$ ) меньше (таблица). Деформируемость эритроцитов

положительно коррелировала с величиной МПК, с коэффициентом, равным  $r=0,51$  ( $p<0,05$ ) – в группе 1 и  $r=0,66$  ( $p<0,01$ ) – в группе 2. Найдена достоверная корреляция между NOx и ИУЭ (0,47 – группа 1 и 0,49 – группа 2,  $p<0,05$ ).

Установлено, что у лиц группы 1 НПН повышал ИУЭ на 5% ( $p<0,01$ ), тогда как у лиц 2 группы – на 7%. При инкубация эритроцитов с NaHS наблюдали прирост ИУЭ в обеих группах ( $p<0,05$ ). Однако у лиц группы 2 он составил 8%, а в группе 1 только 5%. Сходными были микрореологические ответы эритроцитов на инкубацию с L-аргинином. Более существенная разница между группами наблюдалась в снижении АЭ под влиянием двух ГТ. Так, в группе 1 АЭ уменьшалась на 25% ( $p<0,05$ ), в группе 2 – на 34%. Донор  $H_2S$ , NaHS в большей степени снижал АЭ (на 40%;  $p<0,05$ ) у лиц группы 2, тогда как в 1 группе агрегационный ответ составил только 21%.

**Заключение.** Результаты исследования показали, что у лиц с высоким обеспечением организма кислородом эритроциты имели более эффективные микрореологические характеристики: сниженную агрегацию и вязкость суспензии эритроцитов при повышенной их деформируемости. Наличие достоверных корреляций между величиной МПК и рядом макро- и микрореологических характеристик эритроцитов свидетельствует о заметной роли реологии крови в транспорте кислорода, особенно это было характерно для лиц с высоким МПК. Нитропруссид натрия, L-аргинин и гидросульфид водорода умеренно повышали деформируемость эритроцитов и существенно снижали их агрегацию. При этом установлено, что у лиц с высоким уровнем обеспеченности организма кислородом микрореологические ответы на ГТ были более существенными.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках Международного научного проекта Российского фонда фундаментальных исследований «БРФФИ–РФФИ-2020» (№ 20-515-00019- РФФИ) и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и (№ M20P-428 – БРФФИ)*

## **ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРЕПОДАВАНИИ МЕДИЦИНСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ В МЕДИЦИНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Наумюк Е. П., Копыцкий А. В., Завадская В. М.**

*УО «Гродненский государственный медицинский университет»,  
г. Гродно, Беларусь*

Медицинское образование – одно из немногих, которое нельзя получить заочно. Опыт дистанционного онлайн-обучения, приобретенный в результате пандемии COVID-19, становится неотъемлемой частью медицинского образования.

**Цель работы** – поделиться опытом дистанционного обучения при изучении медицинской и биологической физики, сформулировать основные преимущества и недостатки такого обучения. Актуальность темы обусловлена