

ском полете с использованием носимых флоуметров микроциркуляторно-тканевой системы (МТС) человека.

Материал и методы. Проведен космический эксперимент SFP-MCS “ЛАЗМА” по исследованию микроциркуляции крови и флуоресценции биотканей в условиях невесомости (микрогравитации) на борту МКС во время её посещения (8–20.12.2021) двумя космическими туристами с бортинженером (профессиональным космонавтом). Выполнены наземные (9 дней – до и 5 дней – после полёта) и бортовые (9 дней) сеансы измерений в течение 8 мин с использованием 2 носимых анализаторов “ЛАЗМА-ПФ” (ООО НПП “ЛАЗМА”, РФ). ЛДФ-канал с длиной волны зондирования 850 нм регистрирует перфузию, позволяя анализировать 5 осцилляций микрокровотока (эндотелиальные, нейрогенные, миогенные, дыхательные, сердечные), тогда как канал флуоресцентной спектроскопии с длиной волны возбуждения 365 нм регистрирует нормированную амплитуду интенсивности флуоресценции биомаркера окислительного метаболизма кофермента НАДН. Измерения проводились попарно в 4 зонах – на висках головы, предплечьях рук и средних пальцах рук, больших пальцах ног.

Результаты: Анализ показал снижение средней перфузии (>2 раза) в ногах у космонавта из-за перераспределения крови в верхнюю часть тела в первые 2–3 дня полёта с дальнейшей адаптацией в виде увеличения нутритивной составляющей. При этом у космического туриста на фоне специального браслета (бандажа) на бедрах, компенсирующего перемещение крови от нижних конечностей к верхним, отмечаются высоко амплитудные колебания с частотой около 1/мин (НО-зависимые). У космонавта на фоне естественной адаптации отмечаются высоко амплитудные эндотелиальные вазомоции с меньшей частотой (1 колебание в 3–4 мин), что обусловлено действием гиперполяризирующего эндотелиального фактора. Анализ показателя окислительного метаболизма выявил увеличение его значений при нахождении в невесомости в пальцах рук и запястьях, а в пальцах ног наблюдается уменьшение данного параметра, что, вероятно, связано с перераспределением микрокровотока и ухудшением функционального состояния МТС в процессе адаптационной перестройки.

Заключение: Впервые разработана методика исследования и получены данные о состоянии микроциркуляторно-тканевых систем

космонавтов в период острой адаптации к условиям микрогравитации и реадaptации после завершения космического полета.

ЛАЗЕРНАЯ ИНДУКЦИЯ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА КАК РЕАЛИЗАЦИЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ БЕЗ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ

Л.В. Ератова, В.В. Дрёмин, И.Н. Маковик
Орловский государственный университет
им. И.С. Тургенева, Орел

Цель: Показатель смертности от злокачественных новообразований не перестает расти, несмотря на развитие диагностических возможностей раннего выявления. Данная ситуация может быть связана с проводимой противоопухолевой терапией онкологии, которая сегодня характеризуется целым перечнем противопоказаний и побочных эффектов. Одним из современных методов лечения неоплазм, набирающим популярность, является фотодинамическая терапия (ФДТ), основанная на влиянии синглетного кислорода (СК) на опухолевые клетки и питающее их сосудистое русло. Однако использование цитотоксических фотосенсибилизаторов и возможная индукция окислительного стресса во время процедуры заставляет усомниться во вкладе СК в процесс деструкции опухоли. Для усовершенствования технологии ФДТ требуется изучение непосредственного влияния СК на функционирование опухолевых клеток и гемоциркуляцию без использования фотосенсибилизаторов.

Материал и методы: Помимо применения фотосенсибилизаторов, возможна продукция СК посредством возбуждения триплетного кислорода лазером на длине волны его поглощения. С применением установки лазерно-индуцированной генерации СК на длине волны 1267 нм, метода конфокальной микроскопии и методов оптической неинвазивной диагностики (видеокапилляроскопии (ВКС), лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС)) проведены *ex vivo* и *in vivo* исследования возможностей прямой оптической генерации СК.

Результаты: В процессе *ex vivo* исследований на культуре опухолевых клеток (B16) и клеток здоровых тканей (Fibroblast, Vero) установлено селективное влияние лазерно-индуцированного СК (доза свыше 200 Дж/см²) на опухо-

левые клетки, проявляющееся в запуске процесса программируемой клеточной гибели (апоптоза), и отсутствие отрицательных побочных эффектов в отношении клеток здоровых тканей. *In vivo* исследования на лабораторных животных методом ВКС выявили снижение кровенаполнения в сосудистом русле ввиду вазоконстрикции сосудов под действием СК. Дальнейшие исследования методом ЛДФ активирующихся при прямой оптической генерации СК механизмов регуляции сосудистой сети здоровых волонтеров позволили установить, что лазерная индукция СК приводит к перераспределению вклада активных колебаний кровотока во время воздействия и после его прекращения. Разделение волонтеров на группы по превалирующему ответу позволило обнаружить статистическую разницу с $p < 0,05$ между этапами исследования. Предполагается, что СК приводит к перераспределению кровотока, проявляющегося в усилении шунтового кровотока, и последующей компенсаторной NO-зависимой дилатации сосудов после прекращения продукции СК.

Заключение: Таким образом, генерация СК без использования фотосенсибилизаторов приводит к аналогичному ответу со стороны опухолевых клеток и сосудистого русла – к запуску гибели клеток и уменьшению питания в облучаемой области, при этом отсутствуют отрицательные побочные эффекты в отношении клеток здоровых тканей. Наблюдаемые эффекты при прямой оптической генерации СК могут лечь в основу модернизированной ФДТ.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №21-75-00086.

ПОРТАТИВНЫЕ УСТРОЙСТВА ЛАЗЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ В ДИАГНОСТИКЕ РАССТРОЙСТВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО КРОВОТОКА У ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 2 ТИПА

*Е.В. Жарких, А.В. Дунаев
Орловский государственный университет
им. И.С. Тургенева, Орел*

Цель: Система микроциркуляции крови (МЦК) является одним из первых звеньев в патогенезе различных заболеваний, включая ишемическую болезнь сердца, артериальную гипертензию, ревматические заболевания и др.

Системные микроциркуляторные нарушения играют ключевую роль в патогенезе осложнений сахарного диабета 2-го типа (СД). Исследования показывают, что длительная гипергликемия может повреждать кровеносные сосуды и нервные окончания, и что микрососудистые аномалии могут появиться уже на доклинических стадиях СД. В этом свете актуальной является разработка новых методов и средств, позволяющих осуществлять неинвазивную, безопасную и методически простую (без применения нагрузочных проб) диагностику расстройств периферического кровотока при СД на ранних стадиях развития нарушений, что и явилось целью настоящей работы.

Материал и методы: Предложена методика, основанная на применении распределенной системы портативных устройств лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и креплении анализаторов на верхних и нижних конечностях (подушечки пальцев рук и ног, тыльная сторона запястий) с последующей регистрацией показателя микроциркуляции крови (ПМ) 10 мин без оказания какой-либо функциональной нагрузки на систему микроциркуляции крови. В дальнейшем осуществлялся вейвлет-анализ зарегистрированных ЛДФ-грамм и на его основе рассчитывались значения амплитуд колебаний кровотока, значение нутритивного кровотока ($M_{\text{нутр}}$). В исследовании приняли участие контрольная (31 условно-здоровый доброволец, 51 ± 10 лет), и основная (26 пациентов с диагнозом СД 2 типа, 56 ± 13 лет) группы.

Результаты: Выявлены сниженные значения ПМ и $M_{\text{нутр}}$ у пациентов ($14,0 \pm 3,7$ пф.ед. и $5,3 \pm 2,5$ пф.ед.) в области нижних конечностей по сравнению с контрольной группой ($18,0 \pm 6,4$ пф.ед. и $8,1 \pm 4,0$ пф.ед.), что может быть связано с развитием расстройств периферического кровотока у пациентов. Также зарегистрированы более высокие значения ПМ в руках у пациентов ($9,2 \pm 1,2$ пф.ед.) по сравнению с контролем ($6,2 \pm 2,1$ пф.ед.), что может быть связано с развитием диабетической полинейропатии или с попыткой организма пациента скомпенсировать развивающиеся в периферическом кровотоке нарушения. На основе метода линейного дискриминантного анализа синтезирован классификатор, который выявляет наличие или отсутствие расстройств периферического кровотока с вероятностью ложноотрицательного результата менее 0,2.

Заключение: Новый метод диагностики расстройств периферического кровотока при