

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДБОР ЧАСТОТЫ КВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ММВ-ТЕРАПИИ С ПОМОЩЬЮ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТА IN VITRO

В статье отражены результаты исследования положительного влияния ЭМИ с частотой 53,53 ГГц на реологические свойства крови человека с патологиями мозгового кровообращения.

Ключевые слова: реологические параметры крови, агрегация тромбоцитов, агрегация эритроцитов, ЭМИ (частота: $\nu=53,53$ ГГц).

Введение. В процессе старения эритроцитов происходит снижение функционального уровня их реологических свойств, что выражается в увеличении вязкости кровяных телец, снижении концентрации гемоглобина, ослаблении гемолитической резистентности и уменьшении продолжительности гемолиза. Аналогичная картина крови наблюдается при выполнении тяжелой физической нагрузки и при возникновении травм. Все эти изменения требуют быстрого восстановления функции крови и ухода организма от патологических последствий. Одним из методов, не нарушающих целостности организма и действующих на кровь извне, является КВЧ-терапия. Этот метод относится к неинвазивным, т.к. излучатель устанавливается на расстоянии до 10 мм от поверхности кожи. Выбранную зону возможно облучать через сухую марлевую или гипсовую повязку толщиной до 10 мм, а наличие металлических конструкций в зоне облучения не является противопоказанием для проведения процедуры. Используя различные комбинации частотных спектров КВЧ-излучения можно получить разные биологические эффекты, которые сегодня представлены в клинической практике 3 направлениями:

- классическая КВЧ-терапия применяет устройства с фиксированной частотой излучения 42,2; 53,5; 60,1 ГГц, длина волны 7,1; 5,6; 4,9 мм, одинаковой для всех пациентов;

- микроволновая резонансная терапия (МРТ), в последнее время – микроволновая пунктура, применяет устройства, обладающие плавной перестройкой частоты излучения в диапазоне 52-78 ГГц, которая для пациента подбирается индивидуально;

- информационно-волновая терапия (ИВТ) связана с применением шумового источника излучения КВЧ-диапазона с позиций иглорефлексотерапии.

Исследования на изолированных клетках являются одним из главных направлений изучения первичных звеньев реакции организма на действие многих физических факторов, в том числе и ЭМИ миллиметрового диапазона. Клетки крови удобны для тестирования различных физических воздействий. Они служат удобными модельными системами для изучения биологических эффектов ЭМИ, т.к. в большой степени сохраняют физиологические функции, легкодоступны для различных биохимических манипуляций, упрощают анализ результатов и допускают возможность точной дозиметрии излучения. Для доказательной физиологии целесообразно проведение экспериментов на модельных экземплярах крови, прежде чем будет проведено воздействие КВЧ-терапии на спортсмена, получившего травму.

Цель работы: изучение воздействия ЭМИ миллиметрового диапазона с разной частотой на реологические показатели крови модели in vitro для последующего выбора эффективной частоты для ММВ-терапии спортсменов, получивших травмы во время выполнения физических упражнений.

Материалы и методы. В качестве моделей была использована кровь людей с патологией ишемического инсульта (ИИ) и дисциркуляторной энцефалопатией (ДЭ), у которых отмечен диапазон изменений крови как при спинальной травме.

У каждого донора из локтевой вены утром натощак производился забор крови в количестве 10 мл. Кровь стабилизировалась 3,8%-ным раствором цитрата натрия в соотношении 9:1. При центрифугировании в течение 5 мин при 1500 об/мин кровь разделяли на плазму, богатую тромбоцитами и эритроцитарную массу [1].

Агрегацию тромбоцитов (АТ) изучали методом светорассеяния по Born в модификации O'Brien с регистрацией на агрегометре "SOLAR AP-2110" [2, 3]. В качестве агрегирующего агента использовали $5,0 \cdot 10^{-6}$ М раствор адреналина (в соотношении к плазме 1:9). Вычисляли коэффициент спонтанной агрегации тромбоцитов (АТсп., %) и коэффициент индуцированной агрегации на 2 (АТ2, %) и 8-ой минуте (АТ8, %).

Агрегация эритроцитов (АЭр.,%) изучалась по методике И. Я. Ашкинази [4], деформируемость эритроцитов (ДЭр,у.е.) – по модифицированному методу С. Tannert и W. Lux [5]. по определению фильтруемости эритроцитарной суспензии. Данный метод оценки деформируемости эритроцитов позволяет наиболее точно воспроизвести в пробирке существующие в сосудистом русле условия микроциркуляции эритроцитов [6].

Плазму и эритроцитарную массу объемом 1 мл и толщиной слоя ≈ 1 мм раздельно облучали во фторопластовых кюветках при помощи аппарата "Прамень П14ТВ" в течение 30 мин. При облучении использовались две рабочие частоты аппарата: 53,53 ГГц ($\lambda = 5,6$ мм) и 42,19 ГГц ($\lambda = 7,1$ мм) в режиме непрерывного излучения с интенсивностью 30 мВт с качанием частоты в пределах $\pm 0,025$ ГГц. При выполнении процедур ММВ-облучения рупорный излучатель диаметром 10 мм устанавливали над фторопластовой кюветкой с пробой. Контроль составили образцы крови тех же доноров, но без облучения. Анализ результатов производили отдельно для крови, каждой группы доноров и для каждой частоты ЭМИ.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований установлено, что в крови людей с патологией – ИИ (табл. 1) облучение компонентов крови in vitro ЭМИ с рабочей частотой аппарата: $\nu=53,53$ ГГц

привело к достоверному снижению спонтанной и индуцированной агрегации тромбоцитов ($p < 0,05$), агрегации эритроцитов ($p < 0,05$) и увеличению деформируемости эритроцитов ($p < 0,01$).

Таблица 1

Реологические показатели крови человека при облучении ее in vitro ЭМИ с рабочей частотой аппарата: $\nu=53,53$ ГГц

Показатели	ИИ (n = 22)		ДЭ (n = 16)	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
АТсп, %	48,72±1,65*	51,67±1,55	45,73±2,35	46,57±1,42
АТ2, %	52,75±1,55*	58,40±1,47	53,55±2,32	57,05±2,07
АТ8, %	62,84±1,95**	72,37±2,50	62,57±2,31*	71,43±3,17
АЭр, %	74,50±1,63*	79,51±1,13	76,59±1,47*	81,21±1,20
ДЭр, у.е	1,86±0,07**	1,58±0,05	1,84±0,11**	1,45±0,07

Облучение крови людей с патологией – дисциркуляторная энцефалопатия (ДЭ) ЭМИ с рабочей частотой аппарата: $\nu=53,53$ ГГц in vitro также привело к достоверному снижению индуцированной на 8-й минуте агрегации тромбоцитов ($p < 0,05$) и эритроцитов ($p < 0,05$), увеличению деформируемости эритроцитов ($p < 0,01$). Небезынтересно отметить, что в крови больных ИИ при облучении ее in vitro наблюдаются более выраженные сдвиги реологических параметров, чем в крови больных ДЭ.

При облучении in vitro компонентов крови людей, с патологией ИИ ЭМИ с рабочей частотой аппарата: $\nu=42,19$ ГГц (таблица 2), не обнаружено достоверных различий в опытной и контрольной группах для всех изучаемых реологических показателей.

Не выявлено существенных различий для этих показателей в опытной и контрольной группах и у людей с патологией ДЭ.

Таблица 2

Реологические показатели крови человека при облучении ее in vitro ЭМИ с рабочей частотой аппарата: $\nu=42,19$ ГГц

Показатели	ИИ (n = 20)		ДЭ (n = 13)	
	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль
АТсп, %	45,74±1,55	44,82±1,44	46,57±1,20	46,87±1,39
АТ2, %	56,65±1,71	56,31±1,67	56,77±0,62	57,65±0,38
АТ8, %	69,76±2,84	70,38±2,51	73,34±2,77	74,30±2,74
АЭр, %	77,58±1,50	77,26±1,52	74,07±1,77	76,11±1,66
ДЭр, у.е.	1,43±0,08	1,54±0,08	1,47±0,09	1,53±0,06

На рисунке 1 и 2 представлены тромбоцитарные агрегатограммы опытных образцов плазмы крови людей с патологией ишемического инсульта (ИИ) и дисциркуляторной энцефалопатией (ДЭ).

В результате проведенных исследований было выявлено, что из двух частот ($\nu=53,53$ ГГц и $\nu=42,19$ ГГц) аппарата "Прамень П14ТВ" достоверное положительное влияние на реологические свойства крови больных с ИНМК оказывает излучение с частотой 53,53 ГГц.

ЭМИ миллиметрового диапазона не разрушает меж- и внутримолекулярные ковалентные связи, однако молекулы поглощают энергию этого излучения. Вполне вероятно, что миллиметровые волны могут влиять на слабые электростатические связи (водородные, полярные, гидрофобные), которым принадлежит ведущая роль в поддержании пространственной структуры (конформации) биологических молекул и надмолекулярных структур. Через модификацию слабых взаимодействий они могут изменять физико-химические свойства белков, липидов, каталитические свойства ферментов, прочность (стабильность) липопротеиновых и других комплексов. Предполагается, что миллиметровое излучение нетепловых интенсивностей способно индуцировать структурные перестройки в мембранах, что сопровождается изменением функционирования ионных каналов [7].

Процесс агрегации тромбоцитов является результатом сложной серии реакций, в котором различают три фазы: адгезию, первичную агрегацию и реакцию освобождения, вызывающую вторичную агрегацию. Рассматривая гипоагрегационный эффект миллиметрового излучения, при воздействии его на тромбоцитарную плазму in vitro, можно предположить, что ЭМИ с рабочей частотой аппарата: $\nu=53,53$ ГГц изменяет конформацию активных центров в рецепторах к агрегантам, и, стабилизируя мембраны тромбоцитов, препятствует реакции освобождения биологически активных соединений (АДФ, серотонина, тромбосана).



Рис. 1. – Агрегатограммы тромбоцитов человека с патологией ИИ при облучении тромбоцитарной плазмы ЭМИ с частотой 53,53 ГГц *in vitro*.

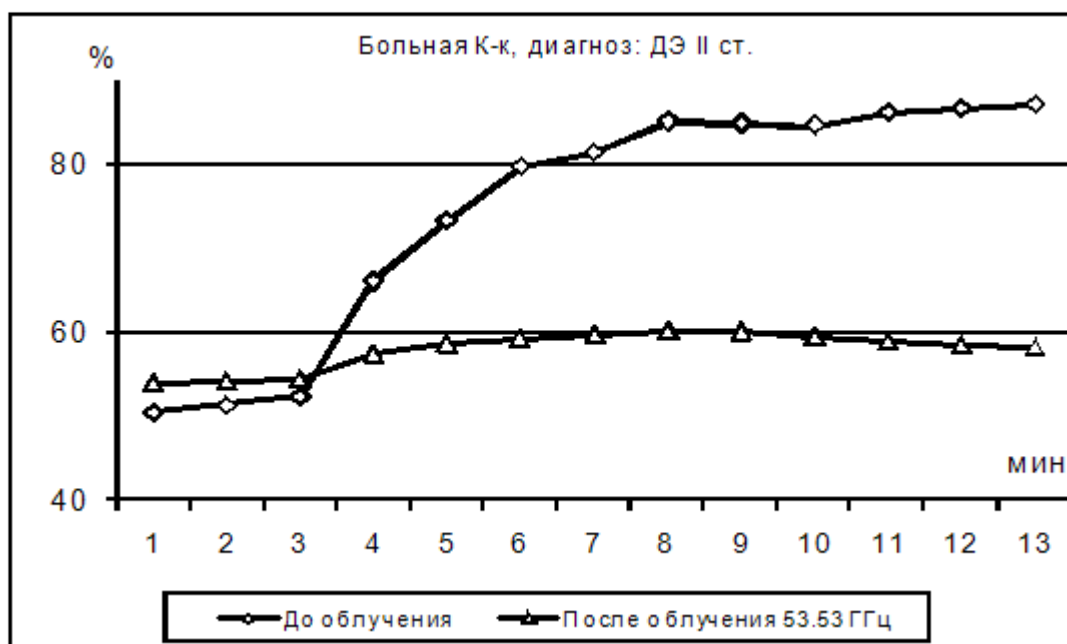


Рис. 2. – Агрегатограммы тромбоцитов человека с патологией ДЭ при облучении тромбоцитарной плазмы ЭМИ с частотой 53,53 ГГц *in vitro*

Агрегация эритроцитов является обратимым процессом и происходит в результате взаимодействия сил межмолекулярных связей, возникающих между отдельными эритроцитами, и сил электростатического отталкивания. Равенство зазора между эритроцитами длине молекулы фибриногена также оказывает значительное влияние на агрегационную способность эритроцитов [4]. Агрегация эритроцитов, сблизившихся на расстояние, не превышающее 25 нм, обусловлена мостиковым механизмом, а предшествующее сближение эритроцитов имеет гидродинамическую природу. Уменьшение способности эритроцитов к агрегации при воздействии ЭМИ с рабочей частотой аппарата: $\nu=53,53$ ГГц может быть обусловлено, как изменением конформации молекул фибриногена, так и изменением мембранного потенциала с усилением электростатического отталкивания.

Способность к деформации у эритроцитов обеспечивается несжимаемым липидным бислоем и постоянством его взаимосвязи с белковыми структурами клеточной мембраны. Ведущую роль в этом взаимодействии играет спектрин-актиновая сеть эритроцитарной мембраны. С участием протеинкиназ

мембраны и АТФ происходит фосфорилирование спектрина. Фосфорилированный спектрин в свою очередь активирует процессы взаимодействия в спектрин-актиновом комплексе, приводя к сокращению или сгибанию эритроцитарной мембраны [8]. Описанные процессы позволяют эритроцитам приспосабливаться к силам потока в кровяном русле как капле жидкости и в зависимости от его характера изменять свою форму, а эритроцитная мембрана при этом может вращаться вокруг содержимого клетки как "гусеница танка". Возможно, при облучении эритроцитов ЭМИ модулирует активность мембранных протеинкиназ, что в свою очередь влияет на процессы фосфорилирования спектрина, и тем самым уменьшает жесткость эритроцитов.

Заключение. Результаты исследований согласуются с работами по изучению действия миллиметрового ЭМИ на мембранные системы невозбудимых клеток (эритроцитов, тромбоцитов, лимфоцитов). Такие исследования основаны на том, что при облучении организма, его реакция связана с действием ЭМИ на клетки крови в кожной капиллярной сети, поскольку излучение проникает лишь в самые поверхностные слои кожи. Эритроциты, циркулирующие в капиллярном русле, меняя свои барьерные свойства при действии излучения, могут оказывать регуляторное действие на весь организм в целом. [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кручинский Н.Г. Экспресс оценка реологических свойств крови и методы коррекции их нарушений у пациентов с атеросклерозом / Н.Г. Кручинский, А.И. Тепляков, В.Н. Гапанович и др. // Метод. реком., Могилев: Медицина, 2000. – 11 с.
2. Born G. Nature. – 1962. – Vol. 194. – P. 927-929.
3. O'Brien F. J. Clin. Path. – 1962. – Vol. 15. – №4. – 446 p.
4. Ашкинази И.Я. Клинические и экспериментальные аспекты регуляции агрегатного состояния крови / Ашкинази И.Я. // Сб. науч. тр. – Саратов: Наука, 1984. – С. 74-79.
5. Tannert C., Lux M. Acta biol. Med. Germ., – 1981. – Vol. 40. – №6. – P. 739-742.
6. Бецкий О.В. Современные представления о механизмах воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на биологические объекты / О.В. Бецкий, Н.Н. Лебедева // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2001. – №3. – С. 5-19.
7. Девятков Н.Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н.Д. Девятков, М.Б. Голант, О.В. Бецкий. – М.: Радио и связь, 1991. – 174 с.
8. Голант М.Б. Некоторые закономерности действия электромагнитных излучений миллиметрового диапазона на микроорганизмы / Голант М.Б. // Сб. статей "Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине". – М.: ИРЭ АН СССР, 1985. – С. 157-161.
9. Голант М.Б. Ультраструктурное обеспечение возможности электромагнитной связи в системах живых клеток / М.Б. Голант // Тез. докл. VI всесоюз. семинара "Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине". – М.: Радио и связь, 1986. – С. 62.

Подано до редакції 02.07.12
