

ВЛИЯНИЕ ЭМИ КВЧ-ДИАПАЗОНА НА ЧАСТОТАХ МОЛЕКУЛЯРНОГО СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО КИСЛОРОДА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРОВИ БОЛЬНЫХ СТАБИЛЬНОЙ СТЕНОКАРДИЕЙ

Киричук В.Ф. *, Довгалецкий П.Я. **, Малинова Л.И. *, Майбородин А.В. ***, Курчатова Ю.А. ***, Креницкий А.П. ***, Тупикин В.Д. ***

* Саратовский государственный медицинский университет, кафедра нормальной физиологии человека,

** Саратовский НИИ кардиологии, *** ОАО Центральный научно-исследовательский институт измерительной аппаратуры, г. Саратов

Резюме

Представлены результаты исследования влияния электромагнитного излучения КВЧ-диапазона на частоте молекулярного спектра излучения и поглощения атмосферного кислорода (129 GHz) на реологические показатели крови больных стабильной стенокардией. Показано, что характер реакции реологических свойств крови больных стабильной стенокардией на указанное воздействие определяется временем облучения, величиной показателя гематокрита, уровнем фибриногена в крови, наличием или отсутствием артериальной гипертензии.

Ключевые слова: стенокардия, реология крови, КВЧ-терапия

Кровь представляет собой вязкую неомогенную жидкость с суспензированными в ней форменными элементами, обладающими способностями к агрегации и деформации. Вязкость – это характеристика внутреннего трения, материальное свойство жидкости, мера сопротивления элементов жидкости ламинарному течению [12, 13].

Как показали многочисленные исследования, вязкость плазмы определяется ее электролитным и липидным составом, концентрацией высокомолекулярных белков [5]. Вязкость же цельной крови зависит, в первую очередь, от клеточного состава и структурно-функциональных параметров ее форменных элементов, прежде всего - эритроцитов, ввиду их подавляющего преобладания среди всей клеточной популяции крови.

Повышение вязкости крови при различных клинических формах ИБС убедительно показано в ряде исследований [3, 8]. По некоторым данным, характеристики кровотока (реологические параметры) ассоциированы с риском тромботических осложнений, и модификация их может значительно снижать этот риск [17]. Таким образом, коррекция реологических свойств крови является патогенетическим направлением терапии ишемической болезни сердца и стабильных форм стенокардии, в частности.

В последнее время накоплен большой материал об использовании КВЧ-терапии в клинической практике, в том числе в рамках комплексного лечения стенокардии. Отмечается ее хорошая терапевтическая эффективность у больных с рефрактерностью к медикаментозной терапии нитратами, выражающаяся в прекращении или урежении приступов стенокардии, повышении толерантности к физической нагрузке, улучшении общего самочувствия больных [6].

Значительное количество исследователей отводит кислороду одно из центральных мест в реализации биологического эффекта электромагнитного излучения КВЧ-диапазона (ЭМИ КВЧ-диапазона) [1, 10]. Эта роль опосредо-

вана, в частности, за счет активации процессов перекисного окисления липидов вследствие образования и накопления под воздействием ЭМИ КВЧ-диапазона свободнорадикальных соединений, которое сопровождается увеличением проницаемости биологических мембран [1, 2], провоцированием гидродинамической неустойчивости среды вблизи межфазной поверхности и ускорением диффузии, а также иных механизмов трансмембранного транспорта [11].

Однако, исследований, освещающих влияние ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте молекулярного спектра излучения и поглощения атмосферного кислорода (МСИП O_2) на реологические свойства крови больных стабильной стенокардией, мы в доступной литературе не нашли.

В связи с этим, целью настоящего исследования явилось изучение влияния ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 (129 GHz) на вязкость цельной крови больных стабильной стенокардией II и III функциональных классов, агрегационную способность эритроцитов и их деформируемость.

Материал и методы

Проведено обследование 51 больного стабильной стенокардией II и III функциональных классов. Из них 37 – мужчины, средний возраст – 55 ± 6 лет, и 14 – женщины, средний возраст – 63 ± 6 года. Диагноз верифицирован клинически и инструментально (ЭКГ и ЭхоКГ, доплеровское исследование периферических сосудов, селективная коронарография).

Образцы крови больных забирались в стандартных условиях: утром, натощак, из кубитальной вены, экранированным металлической фольгой шприцем, стабилизировались 3,8% раствором цитрата натрия в соотношении 1:9. Подобный метод стабилизации крови был выбран в связи с тем, что, в отличие от гепарина, цитрат натрия существенно не влияет на структурно-функциональные свойства мембран форменных элементов крови [7]. Полученные образцы крови делились на опытные, подвергавшиеся облуче-

нию, и контрольные. В контрольных образцах проводилось определение количества форменных элементов крови, гематокрита, содержания гемоглобина на гемоанализаторе АВХ Micros, а также определялась концентрация фибриногена в плазме гравиметрическим способом [14]. Облучение опытных образцов крови осуществлялось при помощи КВЧ-генератора, впервые разработанного в ОАО ЦНИИИА (г. Саратов) – панорамно-спектрометрического комплекса с квазиоптическим рефлектометром, работающим в частотном диапазоне 118 – 600 GHz [9]. Частота излучения при проведении экспериментов соответствовала частоте молекулярного спектра излучения и поглощения атмосферного кислорода – 129 GHz, плотность потока мощности составила 2 мВт/см². Облучение проводилось в непрерывном режиме в течение 15, 30 и 60 минут.

В опытных и контрольных образцах крови осуществлялось определение кажущейся вязкости цельной крови на ротационном вискозиметре АКР-2. Рассчитывались показатели агрегационной способности эритроцитов и их деформируемость. В связи с тем, что исследуемые образцы крови имели разный гематокрит, а вязкость крови экспоненциально зависит от этой величины [7], полученные результаты были нормализованы по отношению к «стандартному» гематокритному числу (45%). Статистическая обработка осуществлялась при помощи стандартных программ Microsoft Excel 97 и STATISTICA '99 Edition.

Результаты и обсуждение

С целью выявления закономерностей влияния ЭМИ КВЧ-диапазона на реологические свойства крови больных стабильной стенокардией была изучена зависимость эффекта облучения цельной крови больных стабильной стенокардией II и III функциональных классов от времени облучения (частота 129 GHz, плотность потока мощности 2 мВт/см², в непрерывном режиме).

При облучении образцов крови на частоте МСИП O₂ на протяжении 15 минут была выявлена тенденция к снижению вязкости цельной крови при практически неизменных показателях агрегации и деформируемости эритроцитов (рис. 1). Выраженность этой тенденции при облучении на

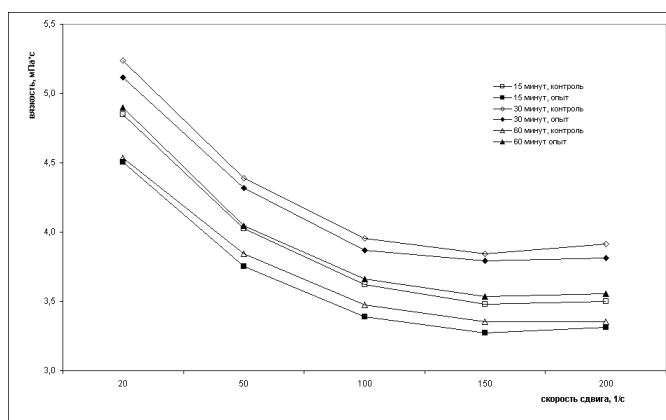


Рис. 1 Изменение вязкости цельной крови больных стабильной стенокардией II и III функционального класса под влиянием ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O₂ в зависимости от времени облучения.

протяжении 30 минут была менее значительной, изменения функциональных свойств мембран эритроцитов (агрегации и деформируемости) практически не происходило. В то же время, 60-ти минутное облучение сопровождалось повышением вязкости цельной крови, достигающим статистически достоверного уровня как на высоких (200, 150, 100 с⁻¹ – $p = 0,008; 0,04; 0,03$, соответственно), так и на низких (20 с⁻¹ – $p = 0,01$) скоростях сдвига. При облучении крови в течение 60 минут отмечалась тенденция к повышению агрегационных свойств эритроцитов, сопровождающаяся некоторым снижением их деформируемости.

Таким образом, можно сделать вывод о стадийности процесса взаимодействия ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O₂ (129 GHz) и цельной крови больных стабильной стенокардией. При облучении на протяжении 15 минут преимущественные изменения отмечались по показателям вязкости цельной крови и практически не изменялись функциональные свойства мембран эритроцитов (агрегация и деформируемость). Целесообразно предположить, что в начале взаимодействия ЭМИ и цельной крови эффект этого взаимодействия реализуется, в основном, на внеклеточной составляющей вязкости цельной крови. Возможно, что они обусловлены конформационными изменениями крупных биомолекул плазмы, в частности фибриногена.

Для установления влияния гематокритного числа на эффект облучения ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O₂ все исследуемые образцы крови, в зависимости от величины показателя гематокрита в контроле, были разделены на следующие группы: а) с гематокритным числом менее 0,9; б) с гематокритным числом более 0,9, но меньше 1,0; и в) с гематокритным числом больше 1,0.

Установлено, что при облучении на протяжении 15 минут наиболее значимое снижение вязкости цельной крови происходило при исходном гематокрите от 0,9 до 1,0 при всех исследуемых скоростях сдвига (рис. 2), при этом отмечалось статистически достоверное увеличение индекса агрегации ($p = 0,029$) и снижение деформируемости мем-

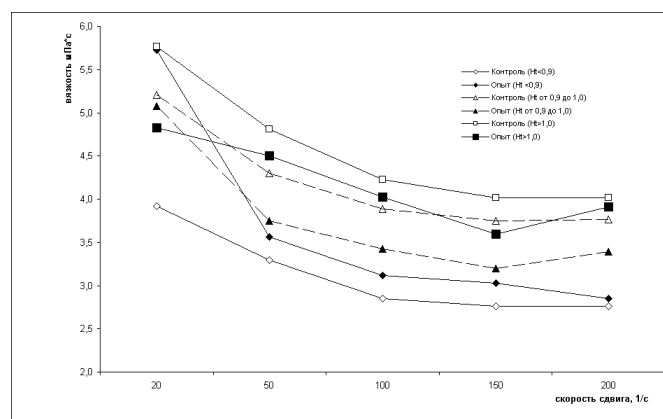


Рис. 2 Изменение вязкости цельной крови больных стабильной стенокардией II и III функциональных классов под воздействием ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O₂ в зависимости от величины гематокритного числа.

бран эритроцитов ($p = 0,022$). В образцах крови с исходным уровнем гематокрита менее 0,9 при облучении в течение 15 минут отмечалось незначительное увеличение вязкости, не достигающее уровня статистической достоверности, и тенденция к повышению деформируемости и агрегации эритроцитов. Направленность к снижению вязкости отмечается у образцов крови с исходным уровнем гематокрита более 1,0 при всех исследуемых скоростях сдвига, достигающая статистически достоверной значимости на высоких скоростях сдвига (200 с^{-1} ; $p = 0,022$) (рис. 2), сопровождающаяся увеличением жесткости эритроцитов и снижением их способности к агрегации.

В образцах, облучаемых в течение 30 минут, максимальное снижение вязкости цельной крови также происходило в группе с исходными значениями гематокрита 0,9–1,0. Однако, отмечалась тенденция к снижению агрегации и увеличение деформируемости мембран эритроцитов. При исходном уровне гематокрита менее 0,9 изменения вязкости практически не происходило, на фоне незначительного увеличения агрегационной способности и деформируемости эритроцитов. Изменений вязкости крови при исходном уровне гематокрита более 1,0 практически не происходило, отмечалось повышение агрегационной способности эритроцитов и снижение их деформируемости.

При облучении цельной крови на протяжении 60 минут отмечалось повышение вязкости ее, максимально выраженное у образцов с исходным гематокритом от 0,9 до 1,0, достигающее статистически значимого уровня на высоких скоростях сдвига (200 с^{-1} , 150 с^{-1} ; $p = 0,016$; $0,046$, соответственно). Подобная тенденция сохранялась и при исходном уровне гематокрита до 0,9. Изменения вязкости у облучаемых образцов крови с исходным уровнем гематокрита больше 1,0 практически не наблюдалось. Во всех группах отмечалась тенденция к снижению деформируемости эритроцитов с повышением их способности к агрегации.

Таким образом, для проявления максимального биологического эффекта облучения ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 на реологические свойства цельной крови необходимо определенное соотношение форменных элементов крови и плазмы.

Для установления зависимости эффекта облучения ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 на реологические свойства крови от исходного уровня фибриногемии все исследуемые образцы крови были разделены на образцы с нормальной (1,5–3,5 г/л) и повышенной – от 3,5 до 4,5 г/л и выше 4,5 г/л концентрациями фибриногена в плазме крови.

Установлена максимальная выраженность изменений у группы с исходным уровнем фибриногена от 3,5 до 4,5 г/л – снижение вязкости цельной крови при облучении на протяжении 15 и 30 минут и повышение вязкости цельной крови при облучении в течение 60 минут (рис. 3). При этой концентрации фибриногена функциональные свойства эритроцитов практически не изменялись. При концентрациях фибриногена более 4,5 г/л и нормальных значениях изменения вязкости практически не происходили во всех временных группах (15, 30, 60 минут облучения). Значитель-

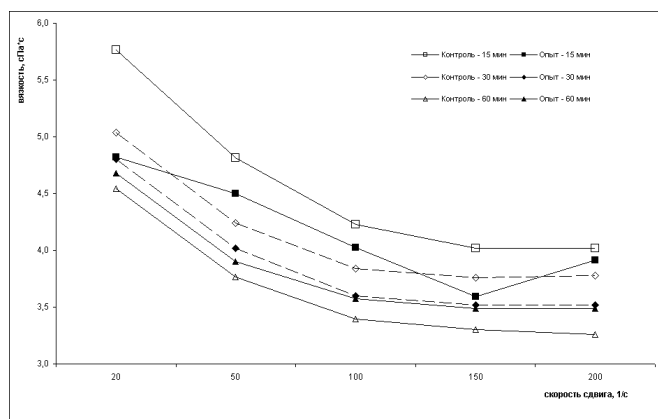


Рис. 3 Изменение вязкости цельной крови больных стабильной стенокардией II и III функциональных классов под воздействием ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 , при исходной фибриногемии 3,5–4,5 г/л.

ных изменений агрегационной способности эритроцитов и их деформируемости не выявлено.

Наши результаты, возможно, свидетельствуют о влиянии крупномолекулярных соединений крови, в том числе фибриногена, при воздействии ЭМИ КВЧ-диапазона на реологические показатели цельной крови. Можно предположить, что первоначальное изменение вязкости цельной крови происходит именно за счет взаимодействия с крупномолекулярными соединениями, при интактности мембран форменных элементов.

По оценке различий влияния облучения ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 на показатели гемореологии, в зависимости от особенностей клинической картины у больных стабильной стенокардией, были выделены группы пациентов с нормальным и повышенным артериальным давлением.

При этом обращали на себя внимание исходно более высокие показатели вязкости крови в группе больных ста-

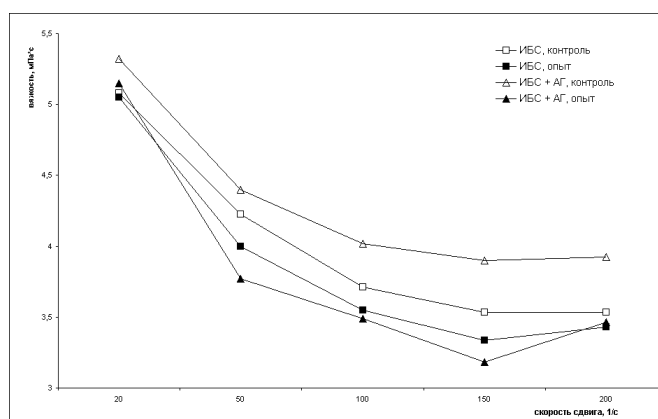


Рис. 4 Изменение вязкости цельной крови под влиянием 15 минутного облучения ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 у больных стабильной стенокардией с/без артериальной гипертензии (ИБС – ишемическая болезнь сердца, АГ – артериальная гипертензия).

бильной стенокардией с артериальной гипертензией. После облучения крови на протяжении 15 минут как в группе с нормальным, так и в группе с повышенным артериальным давлением, происходило снижение вязкости цельной крови, однако, более значимое уменьшение происходило в группе больных стабильной стенокардией с артериальной гипертензией (рис. 4). Изменения функциональных свойств эритроцитов были сходны в этих группах – увеличение агрегации со снижением деформируемости, более выраженные в группе образцов крови больных с артериальной гипертензией (рис. 3).

При облучении в течение 30 минут у больных стабильной стенокардией с повышенным артериальным давлением также отмечалось снижение вязкости цельной крови, но сопровождающееся статистически достоверным увеличением жесткости мембран эритроцитов ($p = 0,037$), тогда как в группе больных стенокардией с нормальным артериальным давлением изменения вязкости цельной крови и функциональных параметров эритроцитов практически не происходило.

После облучения крови больных в течение 60 минут отмечается повышение ее вязкости, более выраженное в группе больных стабильной стенокардией с нормальным артериальным давлением, достигающее уровня статистической достоверности на высоких скоростях сдвига (200 с^{-1} , $p = 0,041$). В обеих группах отмечалось повышение агрегационных свойств эритроцитов и снижение их деформируемости.

Полагаем, что изменения показателей реологических свойств крови больных стабильной стенокардией при облучении ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 могут быть обусловлены несколькими причинами. Так, в ряде работ подчеркивается влияние процессов перекисного окисления липидов на инициацию и течение атеросклеротического процесса [4, 15]. Образующиеся в процессе перекисного окисления липидов гидроперекиси, ненасыщенные альдегиды и малоновый диальдегид обладают выраженной цитотоксичностью, подавляют активность гликолиза, ингибируют глюкозо-6-фосфатазу [4]. Допускается, что окисленные липиды и продукты окислительной деструкции липоперекисей вступают в реакцию с аминокислотными группами протеинов, образуют прочные межмолекулярные «сшивки», что сопровождается образованием сложных пространственных структур в системе эритроциты – макромолекулы плазмы, особенно у больных с наличием артериальной гипертензии [16]. Последнее может быть фактором, обуславливающим изменение вязкостных свойств и способности эритроцитов к агрегации как результат реакции крови на воздействие ЭМИ КВЧ-диапазона на частотах МСИП O_2 .

Литература

1. Андреев В.Е., Бецкий О.В., Ильина С.А. и др. Ускорение перекисного окисления липидов в липосомах под действием миллиметрового излучения // Сб. «Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты», М.: ИРЭ АН СССР, 1981
2. Бецкий О.В., Казаринов К.Д., Путвинский А.В. и др. Конвективный перенос растворенных в воде веществ как возмож-

Таким образом, вероятные изменения в структурно-функциональных отношениях форменных элементов и плазмы крови у больных стабильной стенокардией с артериальной гипертензией существенно влияют на изменение реологических свойств крови под воздействием облучения ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 .

Выводы

1. При облучении образцов цельной крови больных стабильной стенокардией II и III функциональных классов в условиях *in vitro* ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 (129 GHz), выявлена зависимость изменений вязкости цельной крови от времени облучения, отражающая стадийность процесса взаимодействия ЭМИ КВЧ-диапазона и цельной крови.
2. При исследовании зависимости изменения вязкости цельной крови под влиянием ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 (129 GHz) от величины показателя гематокрита, выявлена максимальная выраженность изменений вязкости цельной крови при исходном уровне гематокрита облучаемого образца от 0,9 до 1,0.
3. При исследовании зависимости изменения вязкости цельной крови под влиянием ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 (129 GHz) от концентрации фибриногена в плазме, выявлена максимальная выраженность изменений вязкости цельной крови при исходном уровне фибриногенемии облучаемого образца от 3,5 до 4,5 г/л.
4. При исследовании зависимости изменения вязкости цельной крови под влиянием ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 (129 GHz) от особенности клинической картины заболевания выявлена максимальная выраженность изменений вязкости у образцов крови больных стабильной стенокардией II и III функционального класса с артериальной гипертензией.
5. Наибольшее нормализующее влияние на повышенную вязкость крови у больных стабильной стенокардией с наличием артериальной гипертензии при гематокритном числе от 0,9 до 1,0 и концентрации фибриногена в крови в пределах 3,5 – 4,5 г/л оказывало 15-ти минутное облучение ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 .
6. ЭМИ КВЧ-диапазона на частоте МСИП O_2 в течение 60 минут оказывало неблагоприятное влияние на реологические свойства крови у больных стабильной стенокардией с нормальным артериальным давлением при исходном показателе гематокрита 0,9 – 1,0 и уровне фибриногена в крови от 3,5 до 4,5 г/л: повышалась вязкость крови, возрастала агрегационная способность эритроцитов.

ный механизм ускорения мембранных процессов под действием миллиметрового излучения // Сб. «Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты», М.: ИРЭ АН СССР, 1983

3. Борисюк М.В., Зинчук В.В. Методы исследования и клиническое значение деформируемости эритроцитов // Здравоохранение Белоруссии, 1989, № 7, С. 18 – 21.

4. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Медицина, 1972, 212с.
5. Галенок В.А. Гостинская Е.В., Диккер В.Е. Гемореология при нарушениях углеводного обмена. Новосибирск: Наука, 1987, 262с.
6. Киричук В.Ф., Паршина С.С., Головачева Т.В. ЭМИ ММД в лечении стенокардии: отдаленные результаты // Мат. XI Рос. симп. с межд. уч. «Миллиметровые волны в медицине и биологии», М., 1997, С. 20 – 22.
7. Кручинский Н.Г., Тепляков А.И., Гапанович В.Н. и др. Экспресс-оценка реологических свойств крови и методы коррекции их нарушений у пациентов с атеросклерозом // Метод. реком, Могилев, 2000, 11с.
8. Люсов В.А., Савенков М.П. Современные проблемы нарушений реологических свойств крови у больных ишемической болезнью сердца // Кардиология, 1988, № 5, С. 5–9.
9. Майбородин А.В., Креницкий А.П., Тупикин В.Д., Киричук В.Ф., и др. Комплекс для исследования тонких структур молекулярных спектров физических и биологических сред // Матер. VII Междунар. конф. «Радиолокация - навигация - связь» Воронеж, 2001, С. 21 – 38.
10. Маринов Б.С., Чайлахян Л.М. Регуляция активности супероксиддисмутазы сверхвысокочастотным излучением. Механизм действия СВЧ // ДАН РФ, 1997, Т. 356, №6, С. 268–271.
11. Полников И.Г., Казаринов К.Д., Шаров В.С. и др. Гидродинамическая неустойчивость на межфазной границе при поглощении ММ-излучения низкой интенсивности // Сб. «Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты», М.: ИРЭ АН СССР, 1985
12. Ройтман Е.В., Фирсов Н.Н., Дементьева М.Г. и др. Термины, понятия и подходы к исследованиям реологии крови в клинике // Тромбоз, гемостаз и реология, 2000, №3, С. 5–12.
13. Сивухин Д.В. Общий курс физики. М.: Наука, 1979. – Т. «Механика». – 520с.
14. Рутберг Р.А. Простой и быстрый метод одновременного определения скорости рекальцификации и фибрина крови // Лаб. дело, 1961, № 5, С. 6 – 7.
15. Jilal I., Devaraj S. The role of the oxidized low density lipoprotein in atherogenesis // J. Nutr., 1996, Vol. 142, P. 1053–1057.
16. London M. The role of blood rheology in regulation blood pressure // Clin. Hemorheol. Microcirc., 1997. – N. 17. – P. 93 – 105.
17. Lowe G.D. Rheological influence on thrombosis // Baillieres Best Pract. Res. Clin. Haematol., 1999. – Vol. 12. – P. 384-435.

Abstract

The results of studying main features of influence of electromagnetic radiation of atmosphere oxygen molecular spectra of irradiation and absorption frequencies on whole blood rheology of patients with stable angina pectoris were present.

The changes of rheological properties of whole blood samples of the patients with stable angina pectoris irradiated with electromagnetic radiation of atmosphere oxygen molecular spectra of irradiation and absorption frequencies depend on the time of treating, initial haematocrit level, fibrinogen concentration and arterial blood pressure.

Keywords: angina pectoris, blood rheology, KWC-radiation.

Поступила 03/06-2001

* * *