

УДК 616-005:612.821]:615.849.11:612.015:546.172.6]-0929(045)

## КОРРЕКЦИЯ НАРУШЕНИЙ ВНУТРИОРГАННОГО КРОВОТОКА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ВОЛНАМИ НА ЧАСТОТАХ ОКСИДА АЗОТА

Бугаева И.О., Куртукова М.О.

ГОУ ВПО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского»  
Минздрава России, Саратов, e-mail: curtukova.mascha@yandex.ru

Проведена оценка изменений внутриорганного кровотока головного мозга, сердца, легких, печени, почек, желудка и брыжейки тонкого кишечника крыс-самцов при длительном иммобилизационном стрессе, подвергнутых и не подвергавшихся действию терагерцевых волн на частотах оксида азота. Обнаружено, что у животных при длительном стрессе происходят значительные изменения внутриорганной гемодинамики, что проявляется нарушением кровенаполнения, проницаемости сосудистой стенки, агрегатного состояния крови в сосудах, а также кровоизлияниями. Полученные данные свидетельствуют, что электромагнитное излучение терагерцевого диапазона на частотах МСИП оксида азота 150,176–150,664 ГГц способно частично восстанавливать характерные для длительного стресса нарушения внутриорганной гемодинамики. Это проявляется снижением повышенной проницаемости сосудистой стенки, нормализацией агрегатного состояния крови, уменьшением ломкости капилляров и частоты кровоизлияний.

**Ключевые слова:** внутриорганная гемодинамика, терагерцевые волны, стресс, оксид азота

## CORRECTION OF INTRAORGAN BLOOD FLOW DURING PROLONGED STRESS BY ELECTROMAGNETIC WAVES AT FREQUENCIES OF NITRIC OXIDE

Bugaeva I.O., Kurtukova M.O.

Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov,  
e-mail: curtukova.mascha@yandex.ru

The intraorganic blood flow changes in brain, heart, lung, liver, kidney, stomach, small intestine and mesentery in male rats in a state of long-term immobilization stress, exposed and not exposed to terahertz waves at frequencies of nitric oxide were assessed. Significant changes of intraorganic hemodynamics were found in animals in a state of long-term stress. Changes of intraorganic hemodynamics were manifested by disorders of blood supply, vascular permeability, blood aggregation in blood vessels, and hemorrhages. The data evidenced a capability of terahertz electromagnetic radiation at nitric oxide frequencies 150,176–150,664 GHz to cause a partially restoration of intraorganic hemodynamics in brain, heart, lung, liver, kidney, stomach, small intestine and mesentery during long-term stress. It was found that terahertz waves induced normalization of blood supply, vascular permeability and blood aggregation in blood vessels as well as decreased capillary fragility and frequency of hemorrhage.

**Keywords:** intraorganic hemodynamics, terahertz waves, stress, nitric oxide

Нарушения внутриорганного кровотока являются неотъемлемой частью патогенеза широкого круга заболеваний. Коррекция нарушений внутриорганного кровотока с помощью фармакологических препаратов сопровождается возникновением нежелательных побочных эффектов, что обуславливает актуальность поиска новых немедикаментозных методов коррекции. Перспективным с точки зрения немедикаментозной регуляции кровотока является использование электромагнитного излучения субмиллиметрового диапазона частот [5]. При этом наибольший интерес вызывают терагерцевые волны (ТГц-волны) частот молекулярного спектра излучения и поглощения оксида азота, который является важным регулятором кровообращения [7, 8]. Терагерцевые волны на частотах молекулярного спектра излучения и поглощения (МСИП) оксида азота 150,176–150,664 ГГц показали высокую эффективность в кор-

рекции стрессорных изменений перфузии кожи, функциональной активности тромбоцитов, реологии крови [1].

В связи с этим целью настоящего исследования являлось изучение возможностей коррекции внутриорганных нарушений кровотока, вызванных длительным стрессом, у белых крыс терагерцевыми волнами на частотах МСИП оксида азота 150,176–150,664 ГГц.

### Материалы и методы исследования

Исследования проведены на 30 белых крысах-самцах массой 180–220 г, разделенных на две группы: группа сравнения – крысы-самцы, находящиеся в состоянии длительного иммобилизационного стресса, и опытная группа – крысы-самцы, подвергнутые курсу облучения терагерцевыми волнами на частотах МСИП оксида азота на фоне длительного стресса.

Длительный иммобилизационный стресс использовался в качестве модели нарушения внутриорганного кровотока и вызывался у экспериментальных животных путем ежедневной 3-часовой иммобилизации в положении на спине в течение 5 суток [9].

Облучение животных проводилось малогабаритным аппаратом «Орбита» (ОАО ЦНИИИА, Россия). Облучалась поверхность кожи над областью мечевидного отростка грудины (плотность мощности – 0,2 мВт/см<sup>2</sup>). Облучение проводили ежедневно в течение 30 минут после каждого сеанса иммобилизации.

Материал для гистологического исследования забирали после декапитации животных на 6-е сутки эксперимента. Образцы тканей головного мозга, сердца, легких, печени, почек, желудка и брыжейки тонкого кишечника фиксировали в 10%-м растворе нейтрального формалина. Препараты для морфологического исследования готовили по стандартной методике, окрашивали гематоксилином и эозином, а также гистохимическим методом ОКГ (оранжевый Ж, красный 2С, водный голубой), предложенным Марциусом и адаптированный Д.Д. Зербило и Л.Л. Лукаевич (1988).

### Результаты исследования и их обсуждение

Обнаружено, что у всех животных в состоянии длительного стресса происходят выраженные нарушения внутриорганоного кровотока. При этом в головном мозге у всех животных обнаружено полнокровие сосудов, расширение периваскулярных и перицеллюлярных пространств. Мягкая мозговая оболочка тонкая, полнокровная. В 86% случаев у животных выявлены диффузные кровоизлияния в мягкую мозговую оболочку, а у 80% животных отмечено полнокровие сосудистых сплетений желудочков. В 60% случаев обнаружены скопления мелкоочаговых периваскулярных кровоизлияний в белом веществе головного мозга. У всех животных данной группы обнаружены признаки сепарации крови в венах головного мозга. Сладжирование крови было выявлено в среднем в 21,4% вен.

При морфологическом исследовании препаратов сердца у животных данной группы выявлено резкое полнокровие миокарда. В 73,3% случаев преобладало полнокровие сосудов капиллярного и венозного русла. В сосудах сердца отмечаются явления сепарации крови, которые выявлялись в 14,5% артерий и 24,5% вен.

В легких у животных данной группы выявлены умеренное кровенаполнение артерий, выраженное полнокровие капилляров межальвеолярных перегородок. В 46,7% случаев у животных в мелких артериях отмечались участки фибриноидного набухания их стенок. Кроме того, у всех животных в сосудах легких отмечено разделение крови на плазму и форменные элементы и образование пристеночных тромбов. Сепарация крови выявлена в 23,6% артерий и 34,3% вен. В 80% случаях обнаружен интерстициальный отек. У всех животных отмечались мелкоочаговые внутриальвеолярные кровоизлияния.

При морфологическом исследовании препаратов печени животных при длительном стрессе в 53,3% случаев зарегистрированы полнокровие центральных вен, внутридольковых капилляров, умеренное кровенаполнение сосудов портальных трактов, а в 46,7% – преимущественное малокровие сосудов портальных трактов, внутридольковых капилляров. У 80% животных отмечено фибриноидное набухание в стенках портальных сосудов и в центральных венах. У животных в 4,5% случаев наблюдается феномен сепарации крови в отдельных венах.

В почках животных, находящихся в состоянии длительного стресса, отмечали выраженное полнокровие капилляров и вен, неравномерное кровенаполнение артерий, спазм стенок мелких артерий. В 21,4% вен наблюдали явления сепарации крови.

В слизистой оболочке желудка животных данной группы обнаружены полнокровие вен и капилляров, малокровие артерий, фибриноидное набухание стенок сосудов, лейкостазы в сосудах слизистой и подслизистой оболочек. В 9,5% вен выявлена сепарация крови. Наблюдаются полнокровие капилляров, вен, неравномерное кровенаполнение артерий, фибриноидное набухание сосудов брыжейки. В 46,7% случаев в брыжейке отмечены кровоизлияния.

При изучении препаратов головного мозга крыс-самцов, подвергнутых курсовому ТГЧ-воздействию на фоне длительного стресса, обнаружены менее выраженные нарушения в сосудистом русле по сравнению с группой животных, не подвергнутых ТГЧ-воздействию. Так, у 20% животных не отмечалось гистологических изменений, характерных для длительного стресса. У них было обнаружено лишь умеренное кровенаполнение сосудов головного мозга без признаков изменения их проницаемости. У 80% животных выявлено изменение кровенаполнения сосудов ткани мозга: полнокровие артерий и вен, неравномерное кровенаполнение капилляров, а также полнокровие сосудов мягкой мозговой оболочки. В 73,3% случаев из них отмечены нарушения проницаемости сосудов – расширение периваскулярных и отдельных перицеллюлярных пространств. При этом не отмечено грубых нарушений целостности микрососудов (кровоизлияний в мягкую мозговую оболочку или белое вещество мозга) и сепарации крови в отличие от животных группы сравнения.

В сердце крыс-самцов, подвергнутых курсовому ТГЧ-воздействию на фоне длительного стресса, обнаружено полнокровие артерий, капилляров и вен. Как в артериях,

так и в венах сердца признаков сепарации крови не выявлено в отличие от животных, находящихся в состоянии длительного стресса.

В легких крыс-самцов опытной группы наблюдались полнокровие сосудов, особенно капилляров межальвеолярных перегородок, мелкоочаговые внутриальвеолярные кровоизлияния, лейкостазы в капиллярах межальвеолярных перегородок. В отличие от животных группы сравнения, находящихся в состоянии длительного иммобилизационного стресса и не облученных терагерцевыми волнами, не выявлены фибриноидное набухание стенок сосудов, интерстициальный отек, сепарация крови.

В печени у животных данной группы также отмечено полнокровие сосудов, но не выявлено сладжирования крови и фибриноидного набухания стенок артерий.

Патологических изменений кровотока в почках у животных данной группы не зафиксировано.

В ткани желудка крыс-самцов, подвергнутых курсовому ТГЧ-воздействию на фоне длительного стресса, обнаружено полнокровие сосудов слизистой оболочки, в подслизистой оболочке имеются умеренный отёк, неравномерное кровенаполнение сосудов; в периваскулярных пространствах – небольшие скопления лейкоцитов, неравномерное кровенаполнение сосудов мышечной оболочки стенки желудка. Однако не выявлено малокровия артерий слизистой оболочки и лейкостазов в сосудах слизистой и подслизистой оболочек, что характерно для группы сравнения. В брыжейке тонкого кишечника у животных опытной группы по сравнению с группой животных, не подвергавшихся ТГЧ-воздействию, отсутствовали отек и кровоизлияния.

Проведенные исследования свидетельствуют, что электромагнитное излучение терагерцевого диапазона на частотах молекулярного спектра излучения и поглощения оксида азота 150,176–150,664 ГГц способно частично восстанавливать характерные для длительного стресса нарушения внутриорганной гемодинамики. Это проявляется нормализацией кровенаполнения в головном мозге, почках, желудке и брыжейке тонкого кишечника. Эти эффекты терагерцевых волн могут быть объяснены их влиянием на эндотелий сосудистой стенки. Известно, что терагерцевые волны указанных частот при стрессорной реакции у крыс эффективно нормализуют баланс вазоконстрикторных и вазодилаторных агентов, продуцируемых эндотелиальными клетками, в частности стимулируют синтез оксида азота и снижают синтез эндотелина I [2, 6].

Кроме того, влияние на эндотелий, вероятно, обуславливает снижение под действием терагерцевых волн повышенной проницаемости сосудов (снижение отека мягкой мозговой оболочки и головного мозга, интерстициального отека в легких, брыжейки тонкого кишечника, отсутствие фибриноидного набухания сосудов легких, печени, желудка и брыжейки тонкого кишечника), уменьшением ломкости капилляров и частоты кровоизлияний (отсутствие кровоизлияний в вещество головного мозга и мягкую мозговую оболочку).

Полученные данные свидетельствуют, что под влиянием ТГЧ-облучения происходит нормализация агрегатного состояния крови в сосудах различных органов. Это проявляется снижением частоты встречаемости явлений сепарации крови на плазму и формные элементы. Данный эффект может быть обусловлен снижением способности форменных элементов к агрегации под влиянием излучения терагерцевого диапазона на частотах молекулярного спектра излучения и поглощения оксида азота 150,176–150,664 ГГц [3, 4].

#### Заключение

Электромагнитное излучение терагерцевого диапазона на частотах МСИП оксида азота 150,176–150,664 ГГц оказывает выраженное нормализующее влияние на нарушения кровотока в различных органах у белых крыс при длительном стрессе. При длительном стрессе у животных терагерцевые волны данной частоты снижают повышенную проницаемость сосудистой стенки, нормализуют агрегатное состояние крови, уменьшают частоту кровоизлияний.

#### Список литературы

1. Влияние КВЧ-НО-облучения на функции тромбоцитов и эритроцитов белых крыс, находящихся в состоянии стресса / В.Ф. Киричук, А.Н. Иванов, О.Н. Антипова и др. // Цитология. – 2005. – Т. 47, № 1. – С. 64–70.
2. Влияние электромагнитного излучения терагерцевого диапазона на частотах оксида азота на концентрацию нитритов в плазме крови белых крыс, находящихся в состоянии иммобилизационного стресса / В.Ф. Киричук, А.Н. Иванов, Е.Г. Кулапина и др. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2010. – Т. 149, № 2. – С. 132–134.
3. Иванов А.Н. Реакция тромбоцитов на электромагнитное излучение частотой молекулярного спектра излучения и поглощения оксида азота // Тромбоз, гемостаз и реология. – 2006. – № 3. – С. 51–57.
4. Иванов А.Н. Электромагнитные волны терагерцевого диапазона на частотах молекулярного спектра оксида азота 150,176–150,664 ГГц в коррекции экспериментальных гемодинамических изменений: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Саратов, 2012. – 49 с.
5. Киричук В.Ф., Иванов А.Н., Кириязи Т.С. Восстановление микроциркуляторных нарушений электромагнитным излучением терагерцевого диапазона на частотах

оксида азота у белых крыс при остром стрессе // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2011. – Т. 151, № 3. – С. 259–262.

6. Механизм действия терагерцовых волн на частотах оксида азота с физиологической точки зрения / В.Ф. Киричук, А.Н. Иванов, А.А. Цымбал, Е.В. Андронов // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2009. – № 1–2. – С. 47–55.

7. Оксид азота и микроциркуляторное звено системы гемостаза / В.Ф. Киричук, Е.В. Андронов, А.Н. Иванов, Н.В. Мамонтова // Тромбоз, гемостаз и реология. – 2007. – № 4. – С. 14–21.

8. Роль оксида азота в регуляции микроциркуляторного звена системы гемостаза / Е.В. Андронов, В.Ф. Киричук, А.Н. Иванов, Н.В. Мамонтова // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2007. – Т. 3, № 3. – С. 39–44.

9. Electromagnetic radiation of the terahertz range at the nitric oxide frequency in correction and prophylaxis of functional activity disorders in thrombocytes of white rats under long-term stress / V.F. Kirichuk, A.N. Ivanov, O.N. Antipova et al // Цитология. – 2007. – Т. 49, № 6. – С. 484–490.

### References

1. Kirichuk V.F., Ivanov A.N., Antipova O.N., Krenitskiy A.P., Mayborodin A.V., Tupikin V.D., Betskiy O.V. Tsitologiya, 2005, Vol. 47, no. 1, pp. 64–70.

2. Kirichuk V.F., Ivanov A.N., Kulapina E.G., Krenitskiy A.P., Mayborodin A.V. Bulletin of Experimental Biology and Medicine, 2010, Vol. 149, no 2, pp. 132–134.

3. Ivanov A.N. Tromboz, gemostaz i reologiya, 2006, no. 3, pp. 51–57.

4. Ivanov A.N. Avtoref. dis. dokt. med. Nauk. Saratov, 2012. 49 p.

5. Kirichuk V.F., Ivanov A.N., Kirijazi T.S. Correction of microcirculatory disturbances with terahertz electromagnetic radiation at nitric oxide frequencies in albino rats under conditions of acute stress. Bulletin of Experimental Biology and Medicine, 2011, Vol. 151, no. 3, pp 259–262.

6. Kirichuk V.F., Ivanov A.N., Tsimbal A.A., Andronov E.V. Millimetrovye volny v biologii i medicine, 2009, no. 1–2, pp. 47–55.

7. Kirichuk V.F., Andronov E.V., Ivanov A.N., Mamontova N.V. Tromboz, gemostaz i reologiya, 2007, no. 4, pp. 14–21.

8. Andronov E.V., Kirichuk V.F., Ivanov A.N., Mamontova N.V. Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal, 2007, Vol. 3, no. 3, pp. 39–44.

9. Kirichuk V.F., Ivanov A.N., Antipova O.N., Krenitskiy A.P., Mayborodin A.V., Tupikin V.D., Beckiy O.V. Tsitologiya, 2007, Vol. 49, no. 6, pp. 484–490.

### Рецензенты:

Пучиньян Д.М., д.м.н., профессор, заместитель директора, ФГБУ «Саратовский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии» Минздрава России, г. Саратов;

Масляков В.В., д.м.н., профессор, заместитель директора, НГОУ ВПО Саратовский медицинский институт «РЕАВИЗ», г. Саратов.

Работа поступила в редакцию 25.12.2014.