

© Т.А.Барабанова, И.А.Михайлова, 2005  
УДК 611.127:615.849.19.001.5

*Т.А. Барабанова, И.А. Михайлова*

## ОСОБЕННОСТИ ДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ He-Ne ЛАЗЕРА НА МЕХАНИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ И РИТМОИНОТРОПНЫЕ ОТНОШЕНИЯ В МИОКАРДЕ КРЫС, ПОЛУЧАВШИХ ВОДУ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

*T.A.Brabanova, I.A.Mikhajlova*

## SPECIFIC EFFECTS OF HE-NE LASER IRRADIATION ON MECHANICAL ACTIVITY AND RHYTHMOINOTROPIC RELATIONS IN THE MYOCARDIUM OF RATS GIVEN WATER WITH DIFFERENT CONTENT OF MINERAL SUBSTANCES

Лаборатория клинической и экспериментальной кардиологии Института физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Центр лазерной медицины Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова, Россия

### РЕФЕРАТ

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Сравнительное исследование действия низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) с длиной волны 632,8 нм на механическую активность кардиомиоцитов крыс, получавших дефинитивное питание. **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ.** В условиях изометрического и физиологического режимов механических нагрузок проведен анализ влияния НИЛИ на сократимость миокарда крыс, получавших воду с нормальным и низким содержанием кальция и магния. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** При нормальном содержании кальция (125 мг/л) и магния (45 мг/л) в питьевой воде у крыс отмечалось увеличение сократимости миокарда, сопровождающееся замедлением релаксации при всех конечносистолических длинах по сравнению с параметрами, регистрируемыми у животных с низким содержанием кальция и магния (петербургская водопроводная вода). НИЛИ вызывало увеличение сократимости миокарда и рост скорости расслабления крыс с относительно низкой механической активностью (животные, получавшие петербургскую воду) и не влияло на сократимость миокарда крыс, характеризующихся относительно высокой исходной механической активностью (получавших воду с нормальным содержанием кальция и магния). **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Результаты исследования показали, что длительное потребление крысами воды с нормальным содержанием Ca и Mg в опытах *in vivo* и непосредственное облучение миокарда крыс, получавших воду с низким содержанием Ca и Mg, НИЛИ – опыты *in vitro*, дают один и тот же эффект. Механическая активность миокарда восстанавливается, обеспечивая классическую зависимость частота–сила. Кроме того, очевидно, что НИЛИ не изменяет оптимальные характеристики как механической активности миокарда, так и ритмоинотропные отношения у крыс, получавших воду с нормальным содержанием Ca и Mg. Очевидно, что миокард этих животных характеризуется активацией процессов транспорта  $\text{Ca}^{+2}$ , ответственных за эффект действия He-Ne лазера.

**Ключевые слова:** миокард, сократимость, релаксация, НИЛИ, дефицит кальция и магния, питьевая вода.

### ABSTRACT

**THE AIM** of the study was to perform a comparative investigation of effects of the low power laser irradiation (LPLI) with the wave length 632,2 nm on mechanical activity of cardiomyocytes of rats given definitive feeding. **MATERIAL AND METHODS.** An analysis of effects of LPLI on contractility of the myocardium of rats given water with normal and low content of calcium and magnesium under conditions of isometric and physiological regimens of mechanical loads. **RESULTS.** The rats given water with the normal content of calcium (125 mg/l) and magnesium (45 mg/l) demonstrated increased contractility of the myocardium followed by a relaxation at all end-systolic lengths as compared with the parameters registered in the animals with the low content of calcium and magnesium (Petersburg urban water). LPLI caused an increased contractility of the myocardium and growth of the relaxation rate in the rats with a relatively low mechanical activity (animals given the Petersburg urban water) and did not influence the contractility of the myocardium of the rats characterized by a relatively high initial mechanical activity (given water with the normal content of calcium and magnesium). **CONCLUSION.** The results of the investigation have shown that the continuous consumption by rats of water with normal content of Ca and Mg, in *in vivo* experiments and a direct irradiation of the myocardium of rats given water with the normal content of Ca and Mg, LPLI - experiments *in vitro*, give the same effect. The myocardium mechanical activity is recovered providing the classical dependence frequency. In addition, LPLI does not appear to change the optimal characteristics of both the myocardium mechanical activity and the rhythm-inotropic relations in the rats given water with normal content of Ca and Mg. Evidently, the myocardium of these animals is characterized by activation of the processes of  $\text{Ca}^{+2}$  transport responsible for the effect of the action of He-Ne laser.

**Key words:** myocardium, contractility, relaxation, LPLI, deficit of Ca and Mg, drinking water.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы появились новые данные о механизмах действия низкоинтенсивного лазерно-

го излучения (НИЛИ) на клеточном и субклеточном уровнях, в частности, о его мембранотропном действии [1,2]. В ранее опубликованных работах

[3–5] обсуждались возможные механизмы действия НИЛИ на механическую активность миокарда в изометрическом режиме и физиологическом режиме механических нагрузок, позволяющем установить действие He-Ne лазера непосредственно на процессы расслабления. В условиях моделирования снижения синтеза NO в организме крыс было показано, что влияние НИЛИ в исследованной нами дозе (15 мВт/см<sup>2</sup>) на гладкомышечные клетки сосудов и миокард различны при действии на ткани, характеризующиеся различным исходным функциональным состоянием, обусловленным изменением клеточного метаболизма кальция [4,5].

Задачей настоящей работы был сравнительный анализ действия НИЛИ на механическую активность миокарда крыс, получавших воду с различным содержанием кальция и магния [6]. Интерес к этой проблеме обусловлен, во-первых, фактом влияния НИЛИ на проницаемость мембраны для Ca<sup>2+</sup> и обмен кальция в кардиомиоцитах [1,2], и, во-вторых, фактом различного функционального состояния и реактивности миокарда крыс, получавших дефинитивное питание [6].

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В опытах использовались крысы-самцы линии Вистар в возрасте 24–26 нед. С момента перехода к дефинитивному питанию животные содержались на стандартном пищевом рационе. Воду животные получали *ad libitum*: 1-я группа животных содержалась в течение двух месяцев на воде с низким содержанием Ca и Mg (8,0 и 3,0 мг/л соответственно) – петербургская водопроводная вода (n=10); 2-я группа получала воду с должной концентрацией в ней двухвалентных катионов Ca и Mg (120,0 и 45,0 мг/л соответственно) (n=10).

Механическую активность папиллярной мышцы исследовали в изометрическом и физиологическом режиме нагрузок, позволяющем одновременно регистрировать изменение длины и силы. Описание сервосистемы и деталей эксперимента дано ранее [7].

При регистрации сокращений в изометрическом режиме в качестве измеряемых параметров служили: максимум силы изометрических сокращений (P<sub>0</sub>), характерное время расслабления t<sub>30</sub>. Последний параметр отражает время расслабления изометрического сокращения до 30% от его максимальной амплитуды.

Для более полной оценки сократимости миокарда, а также его способности к расслаблению использовали физиологический режим. В последнем случае в качестве меры механической функции миокарда получали связь конечносистолическая длина (кс) – конечносистолическая сила (Ркс), а

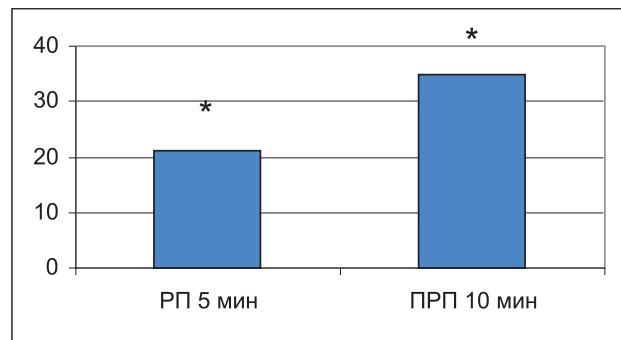


Рис.1. Влияние лазерного облучения на силу изометрических сокращений миокарда крыс, получавших воду с низким содержанием Ca и Mg, в % от исходного уровня. РП 5 мин – 5-минутное действие лазера. ПРП 10 мин – 10-минутный пострадиационный период.

также Lkс- t<sub>30</sub> где t<sub>30</sub> – характерное время расслабления изолированного миокарда в фазу изометрического расслабления [8].

Источник лазерного излучения Шатл-1 (He-Ne, длина волны 632,8 нм, плотность мощности 15 мВт/см<sup>2</sup>, экспозиция 5 минут). Луч направлялся на папиллярную мышцу и фрагмент сосуда с расстояния 10 мм (диаметр пятна 1 см<sup>2</sup>).

Результаты исследований обрабатывались статистически с применением критериев Стьюдента и Уилкоксона. Все величины, указанные в работе, представлены как средние значения ± среднее квадратичное отклонение.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

*Действие НИЛИ на механическую активность миокарда крыс с низким содержанием Ca и Mg в питьевой воде (петербургская водопроводная вода).*

**ИЗОМЕТРИЧЕСКИЙ РЕЖИМ.** При действии на миокард НИЛИ в течение 5 мин наблюдалось увеличение максимальной силы сокращения (P<sub>0</sub>) в среднем на 20–25% по сравнению с исходными значениями. Одновременно с ростом силы сокращения регистрировалось незначительное уменьшение характерного времени расслабления t<sub>30</sub>, т.е. увеличение относительной скорости расслабления в среднем на 10–15%. При пятиминутном облучении миокарда регистрировался пострадиационный эффект, который превышал выраженность непосредственного действия лазерного облучения (рис. 1). Пострадиационный эффект – увеличение максимальной силы сокращений на 5-й минуте последствия – составлял в среднем 25–30%. Наибольший пострадиационный эффект наблюдался на 10-й минуте после пятиминутного облучения. Увеличение максимальной силы сокращения (P<sub>0</sub>) составило 30–35% по сравнению с исходным уровнем. При этом не наблюдалось достоверных изменений скорости изометрического расслабления.

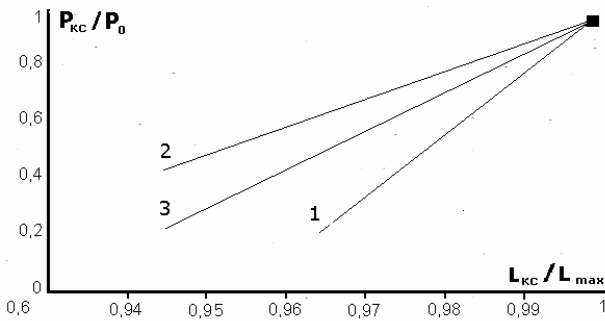


Рис. 2. Влияние лазерного облучения на связь длина-сила в миокарде. 1 - крысы, получавшие воду с низким содержанием Са и Mg. 2 - крысы, получавшие воду с нормальным содержанием Са и Mg. 3 - 5-минутное действие лазера на миокард крыс, получавших воду с низким содержанием Са и Mg.

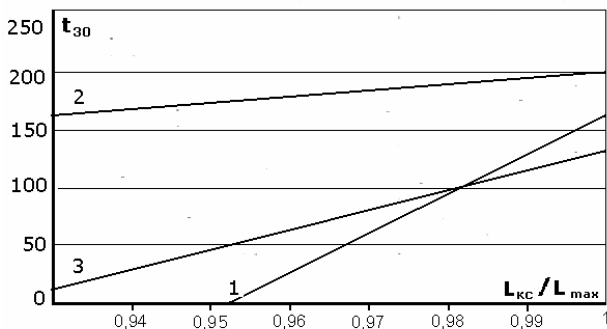


Рис. 3. Влияние лазерного облучения на характерное время расслабления миокарда крыс, получавших воду с низким содержанием Са и Mg. 1 - крысы, получавшие воду с низким содержанием Са и Mg. 2 - крысы, получавшие воду с нормальным содержанием Са и Mg. 3 - 5-минутное действие лазера на миокард крыс, получавших воду с низким содержанием Са и Mg.

Таким образом, лазерное облучение папиллярной мышцы животных, получавших воду с низким содержанием Са и Mg, сопровождалось ростом максимальной силы изометрического сокращения ( $P_0$ ) и в период облучения, и в пострadiaционный период.

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ.** Исследование механической функции миокарда крыс при лазерном облучении в физиологическом режиме механических нагрузок предоставило дополнительные сведения. На рис. 2 приведены нормированные связи конечносистолическая длина – конечносистолическая сила ( $L_{KC}$ – $P_{KC}$ ) для препаратов миокарда крысы до лазерного облучения, 5 мин облучения и 10 мин последствия облучения.

Поскольку тангенс угла наклона нормированной связи  $L_{KC}$ – $P_{KC}$  отражает сократимость миокарда [8], по изменению этого параметра можно оценить влияние лазерного облучения на сократимость миокарда. Так, из рис.2 видно, что на 5-й мин облучения тангенс угла наклона связи  $L_{KC}$ – $P_{KC}$  увеличивается на 20% по сравнению с контролем, что свидетельствует об увеличении сократимости. При изучении связи конечносистолическая длина – характерное время расслабле-

ния  $t_{30}$  ( $L_{KC}$  –  $t_{30}$ ) было показано, что увеличению сократимости миокарда при облучении при всех конечносистолических длинах ( $L_{KC}$ ) сопутствует уменьшение параметра  $t_{30}$ , т.е. увеличение относительной скорости изометрического расслабления при больших конечносистолических длинах и увеличение параметра  $t_{30}$ , т.е. замедление релаксации при меньших  $L_{KC}$  (рис. 3).

Пострадиационный эффект пятиминутного облучения выражался в увеличении сократимости миокарда при лазерном облучении (632,8 нм) при всех фиксированных длинах. Однако выраженность эффекта в период последствия несколько ниже эффекта облучения. При изучении связи конечносистолическая длина – характерное время расслабления  $t_{30}$  ( $L_{KC}$ –  $t_{30}$ ) не наблюдалось достоверных изменений параметра  $t_{30}$  по сравнению с пятиминутным действием красного лазера. Пострадиационный эффект действия лазерного облучения на 5-й и 10-й минутах облучения был одинаковым.

Таким образом, при исследовании действия He-Ne лазера на механическую активность миокарда в физиологическом режиме нагружения получены дополнительные сведения: увеличение сократимости миокарда под действием облучения сопровождается увеличением относительной скорости изометрического расслабления при больших конечносистолических длинах и замедлением релаксации при меньших  $L_{KC}$ .

*Действие НИЛИ на механическую активность миокарда крыс, получавших воду с нормальным содержанием Са и Mg в питьевой воде.*

**ИЗОМЕТРИЧЕСКИЙ РЕЖИМ.** При исследовании механической функции миокарда крыс, получавших воду с нормальным содержанием Са и Mg, при постоянной частоте стимуляции наблюдалось увеличение максимальной силы сокращения ( $P_0$ ), регистрируемой в изометрическом режиме в среднем на 45,0% от уровня, регистрируемого у крыс, получавших воду с низким содержанием Са и Mg (петербургская водопроводная вода). Рост силы изометрического сокращения у крыс этой группы сопровождался увеличением характерного времени расслабления  $t_{30}$ , т.е. уменьшением относительной скорости изометрического расслабления на  $55,0 \pm 6,5\%$  по сравнению с результатами, регистрируемыми у крыс 1-й группы.

При 5-минутном облучении миокарда крыс этой группы НИЛИ не наблюдалось достоверных изменений силы сокращений и относительной скорости изометрического расслабления.

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ.** При исследовании механической функции миокарда крыс,

получавших воду с нормальным содержанием Са и Mg в физиологическом режиме механических нагрузок, наблюдалось увеличение тангенса угла наклона связи Лкс–Ркс на 30% по сравнению с результатами, регистрируемыми у крыс 1-й группы (см. рис. 3). Поскольку тангенс угла наклона нормированной связи Лкс–Ркс отражает сократимость миокарда [8], можно говорить о значительном увеличении сократимости миокарда крыс, получавших воду с нормальным содержанием кальция и магния.

При изучении связи конечносистолическая длина – характерное время расслабления  $t_{30}$  (Лкс-  $t_{30}$ ) было показано, что увеличению сократимости миокарда у крыс 1-й группы при всех конечносистолических длинах (Лкс) сопутствует увеличение параметра  $t_{30}$ , т.е. уменьшение относительной скорости изометрического расслабления при всех фиксированных длинах (Лкс) (см. рис. 3).

При облучении НИЛИ миокарда крыс этой группы в течение 5 минут не наблюдалось достоверных изменений силы сокращений и скорости расслабления как в период облучения, так и в пострадиационный период.

Таким образом, облучение НИЛИ миокарда крыс с относительно высокой сократимостью кардиомиоцитов (крысы, получавшие воду с нормальным содержанием Са и Mg) не оказывает влияния на механическую активность миокарда, в то время, как при относительно низкой исходной сократимости миокарда (животные, получавшие петербургскую водопроводную воду), НИЛИ вызывает увеличение силы сокращений и скорости расслабления миокарда.

*Сравнительное исследование влияния НИЛИ на ритмоинотропные отношения в миокарде крыс, получавших воду с нормальным и с низким содержанием Са и Mg.*

При исследовании **связи частота–сила** поступали следующим образом. Препарат «вработывался» при базовом интервале между стимулами 3 с – 30 мин. После достижения стационарной амплитуды сокращений с базового периода стимуляции переключали стимулятор на новый период стимуляции (1 с) и записывали переходный процесс сокращений, т.е. динамику величин сокращений до достижения нового стационарного уровня. После установления стационарного уровня сокращений при новом периоде сокращений ступенчато переключали стимулятор на базовый ритм и вновь записывали переходный период. Таким образом, осуществляли следующую программу изменения межимпульсного интервала: 3 с, 1 с, 3 с.

Рис. 4 иллюстрирует изменение силы сокращений препаратов миокарда крыс, получавших петер-

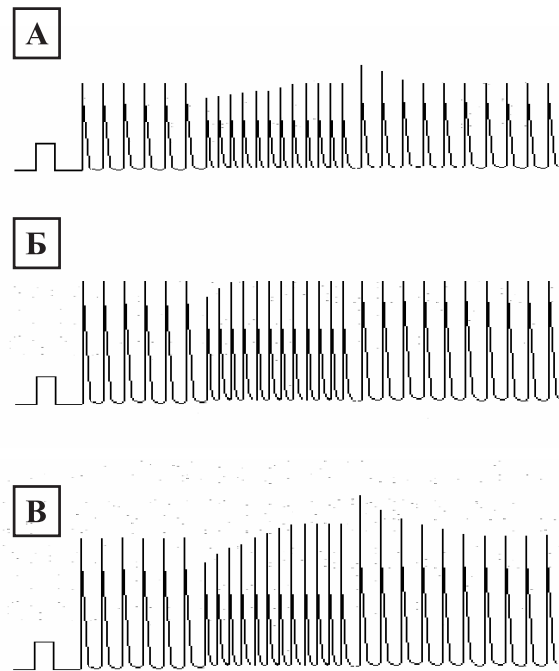


Рис. 4. Переходные процессы при изменении частоты стимуляции. Калибровка-100 мг. А - крысы, получавшие воду с низким содержанием Са и Mg. Б - 5-минутное действие лазера на миокард крыс, получавших воду с низким содержанием Са и Mg. В - крысы, получавшие воду с нормальным содержанием Са и Mg.

бургскую водопроводную воду и воду с нормальным содержанием Са и Mg, при переходе от стимуляции с межимпульсным интервалом 3,0 с к стимуляции с межимпульсным интервалом 1,0 с. На рис. 4А показан переходный процесс до облучения лазерным светом. При переходе с базового периода стимуляции на период стимуляции с интервалом 1,0 с выраженность лестницы Боудича незначительна: величина стационарной амплитуды сокращений при высокой частоте стимуляции практически равна ее величине на базовой частоте. Рост диастолического тонуса отсутствует.

При переходе с высокой частоты стимуляции при межимпульсном интервале 1,0 с на базовую частоту, когда интервал равен 3,0 с, первое сокращение на базовой частоте незначительно изменялось по сравнению с величиной первого сокращения на базовой частоте до изменения периода стимуляции. Разность между величиной первого сокращения после перехода с высокой частоты на базовую и стационарной величиной сокращения на базовой частоте составляет 5–7%.

На рис. 4Б представлен переходный процесс, наблюдающийся на 5-й минуте облучения препарата миокарда крыс, получавших воду с низким содержанием кальция и магния, He-Ne лазером. При увеличении частоты стимуляции сила сокращения вначале падает, а затем растет, однако ста-



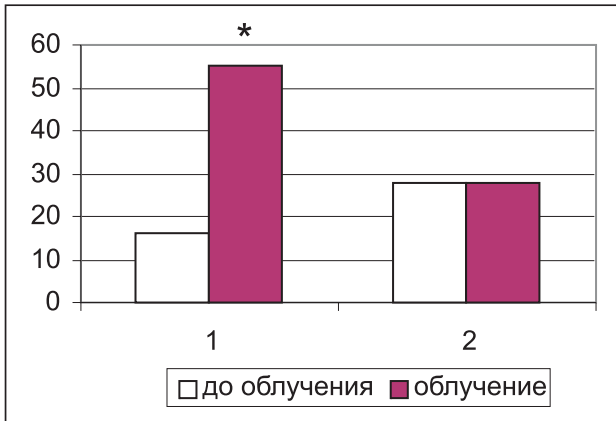


Рис. 5. Влияние 5-минутного лазерного облучения на потенциацию покоем в % от исходного уровня. 1 - крысы, получавшие воду с низким содержанием Са и Mg. 2 - крысы, получавшие воду с нормальным содержанием Са и Mg.

ционные сокращения при высокой частоте стимуляции не превосходят величину сокращений при базовой частоте. Переходный процесс с хорошо выраженной лестницей Боудича быстрый, его крутизна достаточно большая, требуется всего 8-10 сокращений, чтобы достичь стационарного уровня, не наблюдается рост диастолического напряжения. При переходе с высокой частоты стимуляции при межимпульсном интервале 1,0 с на базовую частоту, когда интервал равен 3,0 с, наблюдалась хорошо выраженная постстимуляционная потенциация (ПСП). Разность между величиной первого сокращения после перехода с высокой частоты на базовую и стационарной величиной сокращения на базовой частоте составляет 28%.

На рис. 4В представлен переходный процесс, наблюдающийся в миокарде крыс, получавших воду с нормальным содержанием кальция и магния. При 5-минутном облучении препарата He-Ne лазером переходные процессы не изменялись.

Таким образом, полученные результаты показывают, что облучение He-Ne лазером миокарда крыс, получавших воду с низким содержанием Са и Mg, в течение 5 минут приводит к нормализации связи частота–сила, восстановлению сглаженной частотной зависимости силы сокращений, регистрируемой до действия облучения и не влияет на связь частота–сила в миокарде крыс, получавших воду с нормальным содержанием Са и Mg.

#### *Действие облучения He-Ne лазером на потенциацию покоем.*

В ряде случаев переходные процессы в миокарде изучаются после предварительной паузы. При этом первое после паузы сокращение в сердцах некоторых животных, в частности крыс, оказывается высокоамплитудным, что носит название потенциации покоем.

По методике, описанной выше, оценивали изменения прироста амплитуды сокращений миокарда после 3-минутного периода покоя. До облучения препарата лазером, после трехминутного периода покоя амплитуда первого сокращения миокарда крыс 1-й группы составила 116% (рис. 5). При действии лазера в течение 5 мин, после трехминутного прекращения стимуляции амплитуда первого сокращения составила 155 %. Потенциация покоем, наблюдаемая при 10-минутного последствии пятиминутного облучения, практически не изменялась по сравнению с приростом амплитуды сокращения после периода покоя при пятиминутном облучении.

Таким образом, облучение He-Ne лазерным светом в течение 5 мин миокарда крыс, получавших петербургскую водопроводную воду, и его 10-минутное последствие вызывало ярко выраженную потенциацию покоем.

Полученные результаты показывают, что сглаженные ритмоинотропные явления (связь частота–сила, ПСП, потенциация покоем) в миокарде крыс этой группы до облучения красным лазером становятся значительно более выраженными при действии лазера.

У крыс, получавших воду с нормальным содержанием Са и Mg после трехминутного периода покоя, амплитуда первого сокращения составила  $128,0 \pm 7,0\%$ . НИЛИ не оказывало влияния на потенциацию покоем у животных данной группы.

При сравнении ритмоинотропных отношений крыс 1-й группы после 5-минутного действия НИЛИ (см. рис. 4) с таковыми у животных 2-й группы, получавших воду с нормальным содержанием кальция и магния, отличий не наблюдалось. Следовательно, можно говорить, что действие НИЛИ в исследуемой дозе на миокард крыс, получавших воду с нормальным содержанием кальция и магния, не приводило к изменению хорошо выраженных ритмоинотропных отношений. В случае незначительной выраженности лестницы Боудича, отсутствия постстимуляционной стимуляции у крыс, получавших петербургскую воду с низким содержанием кальция и магния, НИЛИ в исследуемой дозе восстанавливало ритмоинотропные отношения до нормальной связи частота–сила.

#### **ОБСУЖДЕНИЕ**

Влияние исследуемой дозы облучения He-Ne лазером на механическую функцию миокарда животных, получавших дефинитивное питание, было различным. Очевидно, что НИЛИ оказывает действие на уровень и кинетику внутриклеточного кальция в миокарде, который характеризуется относительно низкой сократимостью и недостаточ-

но выраженной связью частота–сила (животные, получавшие воду с низким содержанием кальция и магния).

Результаты исследований, приведенные на рис. 1 и 2, указывают на влияние Са-Mg диеты и НИЛИ на уровень и кинетику внутриклеточного кальция в кардиомиоцитах крыс питомника Колтуши (Санкт-Петербург), которые находятся в условиях низкой минерализации воды [6]. Об этом косвенно свидетельствуют характерные изменения тангенса угла наклона нормированной связи Лкс–Ркс и выраженный положительный инотропный эффект у крыс, получавших воду с нормальным содержанием Са и Mg.

Было показано также, что увеличению сократимости миокарда у крыс 2-й группы при всех конечносистолических длинах (Лкс) сопутствует увеличение параметра  $t_{30}$ , т.е. замедление релаксации при всех Лкс (см. рис. 2) по сравнению с результатами, регистрируемыми у крыс 1-й группы, получавших воду с низким содержанием Са и Mg.

Можно полагать, что содержание животных на питьевой воде с должной концентрацией в ней двухвалентных катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  приводит к росту силы сокращения и замедлению релаксации при всех конечносистолических длинах путем фосфорилирования тропонина, увеличения сродства тропонина к кальцию и замедления распада кальций-тропонинных комплексов.

При анализе действия НИЛИ на механическую активность миокарда крыс, содержащихся на петербургской воде с низким содержанием кальция и магния, обращает на себя внимание практически полное повторения эффекта действия 2-х месячного содержания животных на воде с нормальным содержанием Са и Mg. Видимо, и в том и в другом случае: при действии НИЛИ на миокард крыс первой группы или при получении животными, выросшими на петербургской воде, воды с нормальным содержанием Са и Mg (2-я группа) происходит мобилизация дополнительного ионизированного кальция из комплекса кальсеквестрин-кальций, находящегося в терминальных цистернах саркоплазматического ретикула. Об этом свидетельствуют и изменения ритмоинотропных отношений у крыс 2-й группы: ритмоинотропные явления (связь частота–сила, ПСП, потенциация покоем) более выражены у животных, получавших воду с нормальным содержанием Са и Mg.

Учитывая, что ключевую роль в ритмоинотропии миокарда выполняет саркоплазматический

ретикулум (СР), можно дать интерпретацию полученных нами данных. Появление «положительной лестницы» у крыс, получавших воду с нормальным содержанием Са и Mg, или при действии НИЛИ на миокард 1-й группы, обусловлено увеличением входа  $\text{Ca}^{+2}$  по кальциевым каналам и нагружением СР.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что длительное потребление крысами воды с нормальным содержанием Са и Mg в опытах *in vivo* и непосредственное облучение миокарда крыс, получавших воду с низким содержанием Са и Mg, НИЛИ – опыты *in vitro*, дают один и тот же эффект. Механическая активность миокарда восстанавливается, обеспечивая классическую зависимость частота–сила. Кроме того, очевидно, что НИЛИ не изменяет оптимальные характеристики как механической активности миокарда, так и ритмоинотропные отношения у крыс, получавших воду с нормальным содержанием Са и Mg. Очевидно, что миокард этих животных характеризуется активацией процессов транспорта  $\text{Ca}^{+2}$ , ответственных за эффект действия He-Ne лазера.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спасов АА, Недогода ВВ, Островский ОВ, Куаме Конан. Мембранотропное действие низкоэнергетического лазерного облучения крови. *Бюлл Эксп Биол Мед* 1998; 126 (10): 412-415
2. Brill AG, Brill GE, Shenkman B et al. Low power laser irradiation of blood inhibits platelet function: role of cyclic GMP. *SPIE* 1998; 3569: 4-9
3. Барабанова ТА, Михайлова ИА, Петрищев НН. Влияние излучения He-Ne лазера на механическую активность миокарда крыс с хронической почечной недостаточностью. *Российский Физиол журн им. И.М.Сеченова* 2001; 87 (5): 659-664
4. Барабанова ТА, Петрищев НН, Смирнов АВ. Влияние излучения He-Ne лазера на механическую активность миокарда крыс. *Нефрология* 2003; 7 (1): 91-97
5. Барабанова ВВ, Михайлова ИА, Чефу СГ, Петрищев НН. Влияние излучения He-Ne лазера на функциональную активность сосудистых гладкомышечных клеток воротной вены крыс. *Российский Физиол журн им. И.М.Сеченова*. 2002; 88 (7): 865-872
6. Барабанова ТА, Чурина СК. Механическая активность, ритмоинотропные отношения в миокарде крыс и дефицит минеральных веществ в питьевой воде. *Нефрология* 2003; 7 (4): 71-75
7. Барабанова ТА, Мархасин ВС, Никитина ЛВ, Чурина СК. Особенности влияния паратиреоидного гормона на механическую активность миокарда крыс при дефиците кальция и магния в питьевой воде. *Физиол Журн СССР им. И.М.Сеченова* 1992; 78(7):71-77.
8. Бляхман ФА, Изаков ВЯ, Мих АД. Метод задания физиологического режима в изолированных полосках миокарда (имитация сердечного цикла). *Физиол Журн СССР им. И.М.Сеченова* 1984; 70(11):1581-1583

Поступила в редакцию 07.09.2004 г.