

## ВЛИЯНИЕ СЕРТОНИНА НА ПОКАЗАТЕЛИ СЕРДЕЧНОГО ВЫБРОСА ПРИ ТРЕНИРОВОЧНЫХ НАГРУЗКАХ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

**Р.Р. Абзалов**, 2902207@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4940-1502>  
**Н.И. Абзалов**, nailabzalov@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8428-2724>  
**Р.А. Абзалов**, abzalov2004@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1422-3742>  
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

**Аннотация. Цель.** Изучение влияния агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов в регуляции показателей сердечного выброса крыс при различных по интенсивности мышечных тренировках. **Материалы и методы.** В исследовании использовали 2 режима плавательных тренировок крыс: для развития быстроты движений и для развития выносливости. Лабораторным крысам различного уровня тренированности вводили агонист 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов и изучали сдвиги показателей сердечного выброса. **Результаты.** Частота сердечных сокращений у более возрастных крыс, а также крыс, подверженных мышечным тренировкам, особенно направленным на развитие выносливости, уменьшается. Показатели ударного объема крови и минутного объема кровообращения с возрастом и под влиянием мышечных тренировок увеличиваются. Чем моложе организм крыс, тем более выражены изменения сердечного выброса. Значения минутного объема кровообращения у крыс, тренированных к скорости движений, при введении агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов более выражены, чем при тренировке на выносливость. **Заключение.** Хронотропная реакция сердечного выброса у крыс на введение различных доз агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов с возрастом уменьшается, а инотропная реакция сердца на воздействие серотонином у крыс с возрастом и при мышечной тренировке возрастает. При тренированности организма крыс на выносливость данные изменения насосной функции сердца более выражены по сравнению с тренированными на развитие быстроты движений.

**Ключевые слова:** Агонист 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов, крысы, частота сердечных сокращений, ударный объем крови, минутный объем кровообращения, плавательные нагрузки различной интенсивности

**Для цитирования:** Абзалов Р.Р., Абзалов Н.И., Абзалов Р.А. Влияние серотонина на показатели сердечного выброса при тренировочных нагрузках различной интенсивности // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № 1. С. 50–55. DOI: 10.14529/hsm220107

Original article  
DOI: 10.14529/hsm220107

## EFFECT OF SEROTONIN ON CARDIAC OUTPUT DURING EXERCISE OF DIFFERENT INTENSITY

**R.R. Abzalov**, 2902207@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4940-1502>  
**N.I. Abzalov**, nailabzalov@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8428-2724>  
**R.A. Abzalov**, abzalov2004@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1422-3742>  
Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

**Abstract. Aim.** The paper aims to identify the effect of the serotonin 5-HT<sub>2</sub> receptor agonist on cardiac output in rats during exercise of different intensity. **Materials and methods.** Two types of swimming training sessions were used (endurance training, speed training). Laboratory rats of different performance levels received the serotonin 5-HT<sub>2</sub> receptor agonist, then changes in cardiac output were recorded. **Results.** There was a decrease in HR in older rats and in rats subjected to exercise, particularly that of endurance nature. The indices of stroke volume and minute volume increased with age and as a result

of exercise. The results indicated that the younger the rat the more pronounced changes were found in cardiac output. Rats subjected to speed training had higher values of minute volume after the administration of the serotonin 5-HT<sub>2</sub> receptor agonist. **Conclusion.** In rats, the chronotropic response of cardiac output to various doses of the serotonin 5-HT<sub>2</sub> receptor agonist decreases with age, while inotropic response increases with age and as a result of exercise. Endurance training results in more pronounced changes in the cardiac pump function compared with speed training.

**Keywords:** serotonin 5-HT<sub>2</sub> receptor agonist, rat, heart rate, stroke volume, minute volume, swimming exercise

**For citation:** Abzalov R.R., Abzalov N.I., Abzalov R.A. Effect of serotonin on cardiac output during exercise of different intensity. *Human. Sport. Medicine.* 2022;22(1):50–55. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm220107

**Введение.** Нами изучались влияние агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов и его реакция на показатели сердца у крыс, подверженных различным по интенсивности плавательным тренировкам. Под влиянием мышечных тренировок частота сердечных сокращений в покое уменьшается, а ударный объем крови и минутный объем кровообращения увеличиваются [1]. Лабильность показателей сердечного выброса у молодого организма более выражена [2].

С возрастом хронотропная реакция сердца на введение агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов уменьшается, а величины ударного объема крови и минутного объема кровообращения – увеличиваются [5]. Мышечная деятельность и спортивные тренировки также стимулируют данный процесс.

Влияние серотонина на изменение частоты сердечных сокращений с возрастом и при мышечной тренировке ослабевает, а на регуляцию ударного объема крови и минутного объема кровообращения увеличивается.

Существуют процессы, которые являются важной, неотъемлемой частью функционирования организма. Выработка серотонина в достаточной концентрации является одним из таких процессов. Влияние серотонина на физиологические функции организма чрезвычайно значимо, в организме он обеспечивает очень многие регуляторные процессы. Серотонин обладает центральными и периферическими эффектами. Периферический серотонин играет роль в регуляции частоты сердечных сокращений, ударного объема крови, минутной производительности сердца, сосудистого тонуса и артериального давления [3, 4].

В организме серотонин образуется из аминокислоты триптофан. Извне организм человека получает его вместе с питанием. Реакция преобразования триптофана в организ-

ме в серотонин хорошо протекает только при достаточном солнечном свете.

Мышечная деятельность и физические нагрузки также оказывают непосредственное влияние на процессы выработки серотонина организмом [8].

Актуальным представляется исследование влияния роли серотонина в регуляции сердечного выброса в условиях различного характера тренированности организма.

**Цель исследования.** Изучить влияние агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов в регуляции сердечного выброса при мышечных тренировках, направленных на развитие быстроты движений и выносливости.

**Организация и методы.** Были использованы в исследовании 2 режима плавательных тренировок крыс: для развития быстроты движений и для развития выносливости. Крысы подвергались плавательным тренировкам 6 дней в неделю, 4 раза в день по 3 минуты и с 3-минутным отдыхом между сеансами. Интенсивность тренировочного процесса достигалась последовательным увеличением массы отягощения от 5 до 16 % собственной массы каждого животного [2]. На развитие выносливости был использован режим плавательных тренировок, который ранее был разработан Р.А. Абзаловым [1].

Методика введения агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов: для определения изменений сердечного выброса крыс 21-, 70-, 100-суточного возрастов вначале наркотизировали уретаном (800 мг/кг массы тела). Оценивали изменения частоты сердечных сокращений, ударного объема крови и минутного объема кровообращения после введения 3 различных доз агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов (1, 10, 30 мкг/кг D-methyl-5-hydroxytryptaminmaleat) [6, 7]. Каждую последующую дозу агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых

рецепторов вводили в бедренную вену крыс через катетер через 10 минут после предыдущей инъекции.

**Результаты и обсуждение.** Частота сердцебиения до препаровки у 21-суточных крысят контрольной группы составила величину  $472,25 \pm 5,26$  уд./мин. При введении 1-й дозы препарата агониста 5-HT<sub>2</sub> рецептора серотонина, на исходе 10-й минуты уменьшение частоты сердечных сокращений (ЧСС) от исходной величины составило  $22,20$  уд./мин. После введения 2-й дозы препарата уже на 6-й минуте снижение ЧСС составило  $33,54$  уд./мин. Максимальный сдвиг частоты сердечных сокращений в сторону уменьшения, по сравнению с данными до препаровки в контрольной группе 21-суточных крысят, произошло после введения 3-й дозы препарата на исходе 10-й минуты. Показатель составил  $417,75 \pm 5,02$  уд./мин. В контрольной группе 70-суточных крыс показатели частоты сердечных сокращений до введения инъекций равнялись  $381,26 \pm 8,36$  уд./мин. В контрольной группе 70-суточных крыс при введении 3-й дозы агониста на исходе 10-й минуты наблюдалась максимальная реакция уменьшения частоты сердцебиения по сравнению с исходными данными до препаровки и разница составила  $85,68$  уд./мин. В группе 70-суточных крыс, тренированных на развитие быстроты движений, произошло значительное уменьшение показателей ЧСС в сравнении с данными в контрольной группе данного возраста. В группе 70-суточных крыс, тренированных на развитие выносливости, значение частоты сердечных сокращений до препаровки составило  $330,75 \pm 7,38$  уд./мин. После введения 3-й дозы агониста серотонина на исходе 10-й минуты нами регистрировалось максимальное уменьшение показателей ЧСС на  $50,03$  уд./мин, абсолютные же показатели частоты сердцебиения у них при этом составили  $280,72 \pm 3,73$  уд./мин. Максимальное уменьшение ЧСС в контрольной группе 100-суточных крыс между данными до препаровки и данными после введения 3-й дозы агониста на исходе 10-й минуты составила  $49,33$  уд./мин.

Регуляторное влияние серотонина на показатели ЧСС в раннем постнатальном развитии выражено значительно и с взрослением ослабевает. Режим мышечных тренировок играет важную роль в урежении показателей частоты сердечных сокращений у крыс, спо-

собствует замедлению темпов уменьшения регуляторного влияния серотонина на хронотропную реакцию сердца.

В условиях воздействия агониста 5-HT<sub>2</sub> рецептора серотонина в контрольной группе 21-суточного возраста крысят показатели систолического объема крови до препаровки равнялись  $0,071 \pm 0,004$  мл. Эффект уменьшения значений ударного объема крови (УОК) нами регистрировался у 21-суточных крысят контрольной группы во время введения 3-й дозы агониста на исходе 10-й минуты по сравнению с данными до препаровки, и составил  $0,038 \pm 0,005$  мл. У 70-суточных крыс контрольной группы по сравнению с 21-суточными регистрировалось значительное увеличение показателей УОК в состоянии до препаровки, что нами расценивалось как возрастное развитие сократительной способности сердца. Максимальный эффект снижения УОК в контрольной группе 70-суточных крыс мы наблюдали после введения 3-й дозы агониста на исходе 10-й минуты, и он составил  $0,016$  мл. У 70-суточных крыс, тренированных на развитие выносливости, произошло уменьшение показателей ударного объема крови на  $0,015$  мл, что в пять раз больше, чем в группе 70-суточных крыс, тренированных на развитие быстроты движений. Самые выраженные изменения показателей систолического объема крови в виде их уменьшения произошли при введении 3-й дозы препарата на исходе 6-й минуты в группе 70-суточных крыс, тренированных на развитие выносливости, и абсолютные их значения составили  $0,271 \pm 0,012$  мл. Выраженное увеличение значений УОК произошло в группе 100-суточных крыс, тренированных на развитие выносливости, по сравнению с показателями ударного объема крови в группе 70-суточных крыс, тренированных на развитие выносливости, и это увеличение составило  $0,055$  мл. Эффект уменьшения показателей систолического объема крови у 100-суточных крыс нами наблюдался в контрольной группе при введении 3-й дозы агониста 5-HT<sub>2</sub> рецептора серотонина на исходе 10-й минуты ( $0,058$  мл), а в группе крыс, тренированных на развитие выносливости, – при введении 2-й дозы препарата на исходе десятой минуты и составил  $0,109$  мл.

Таким образом, максимальный эффект снижения УОК на введение агониста серотониновых рецепторов у 100-суточных крыс

регистрировался в группе крыс, тренированных на развитие выносливости. Чуть меньшее снижение наблюдалось нами у крыс, тренированных на развитие быстроты движений, и ещё меньший эффект у крыс контрольной группы этого же возраста.

Минутный объем кровообращения (МОК) является интегративным показателем, зависит от ударного объема крови и частоты сердечных сокращений. При этом составляющие этих компонентов различны и зависят от характера выполняемой мышечной нагрузки организма.

У 70-суточных крыс контрольной группы значения МОК до препаровки были в 3 раза больше, чем у 21-суточных крысят контрольной группы, и составили значение  $99,12 \pm 6,55$  мл/мин. У 100-суточных крыс контрольной группы эти значения до препаровки равнялись  $102,83 \pm 6,52$  мл/мин. Чем моложе организм крыс, тем более выражены изменения показателей минутной производительности сердца на воздействие агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов.

После введения 3-й дозы препарата на исходе 10-й минуты в контрольной группе 70-суточных крыс уменьшение показателей МОК составило 27,00 мл/мин и равнялось абсолютному значению  $72,12 \pm 5,44$  мл/мин. У 70-суточных крыс, тренированных на развитие быстроты движений, показатели МОК по мере введения последующих доз препарата агониста уменьшаются. В группе 70-суточных крыс, тренированных на развитие выносливости, происходит более значимое уменьшение величин минутной производительности сердца по сравнению с уменьшением МОК 70-суточных крыс, тренированных на развитие быстроты движений.

В контрольной группе крыс 100-суточной возрастной периодизации наблюдается уменьшение величин МОК после введения каждой последующей дозы агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов. У 100-суточных крыс,

тренированных на развитие быстроты движений и тренированных на развитие выносливости, происходит уменьшение показателей минутного объема кровообращения по мере введения последующих доз препарата агониста серотонина. Но эти уменьшения показателей МОК более выражены в группе крыс, тренированных к выносливости, по сравнению со 100-суточными крысами контрольной группы.

Таким образом, уменьшения показателей минутного объема кровообращения при воздействии агонистом серотониновых рецепторов у 100-суточных крыс, тренированных на развитие быстроты движений, оказались чуть менее выражены, чем эти же сдвиги у 100-суточных крыс, тренированных на развитие выносливости. Регуляторное влияние серотонина на показатели МОК с возрастом у половозрелых крыс уменьшается.

**Заключение.** Результаты наших исследований позволяют утверждать, что:

– частота сердечных сокращений у более возрастных крыс, а также крыс, подверженных мышечным тренировкам, особенно направленным на развитие выносливости, уменьшается. Показатели ударного объема крови и минутного объема кровообращения с возрастом и под влиянием мышечных тренировок увеличиваются. Чем моложе организм крыс, тем более выражены изменения сердечного выброса;

– хронотропная реакция сердечного выброса у крыс на введение различных доз агониста 5-HT<sub>2</sub> серотониновых рецепторов с возрастом уменьшается;

– инотропная реакция сердца на воздействие серотонином у крыс с возрастом и при мышечной тренировке возрастает;

– у крыс, тренированных на выносливость, данные изменения насосной функции сердца более выражены по сравнению с тренированными на развитие быстроты движений.

### Список литературы

1. Абзалов, Н.И. Взаимосвязь двигательных качеств юных спортсменов и резервных возможностей насосной функции сердца / Н.И. Абзалов, Р.Р. Абзалов, Р.А. Абзалов // *Человек. Спорт. Медицина.* – 2020. – Т. 19, № S2. – С. 18–22. <https://doi.org/10.14529/hsm19s202>.
2. Адаптация насосной функции сердца к мышечной деятельности / Р.Р. Абзалов, Н.И. Абзалов, Р.А. Абзалов, А.А. Гуляков // *Человек. Спорт. Медицина.* – 2017. – Т. 17, № S. – С. 7–11.

3. Кириллова, В.В. Фармакологическая десимпатизация изменяет реакцию инотропной функции сердца на серотонин в постнатальном онтогенезе крыс / В.В. Кириллова, Р.Р. Нигматуллина // *Рос. физиол. журнал им. И.М. Сеченова*. – 2007. – № 93 (10). – С. 1132–1142.

4. Роль агониста 5-HT<sub>2B</sub>-рецепторов серотонина в регуляции насосной функции сердца / Р.А. Абзалов, Р.Р. Абзалов, А.М. Валеев и др. // *Бюл. эксперимент. биологии и медицины*. – 2015. – № 3. – С. 278–281.

5. Якупова, А.Ф. Роль серотониновых рецепторов в регуляции сократимости миокарда новорожденных крыс / А.Ф. Якупова, В.Ф. Ахметзянов, Р.Р. Нигматуллина // *Физиол. механизмы адаптации растущего организма: тез. X юбилейн. Всерос. науч. конф. с междунар. участием*. – Казань, 2010. – С. 216–217.

6. *Aerobic interval exercise training induces greater reduction in cardiac workload in the recovery period in rats* / J.P. Borges, G.S. Masson, E. Tibiriçá, M.A. Lessa // *Arq. Bras. Cardiol.* – 2014. – Vol. 102, no. 1. – P. 47–53.

7. Hoyer, D. A proposed new nomenclature for 5-HT receptors / D. Hoyer, J.T. Humphrey, P.P. Hartig // *Trends Pharmacol. Sci.* – 1993. – Vol. 14. – P. 233–236.

8. The effect of oral 5-HTP administration on 5-HTP and 5-HT immunoreactivity in monoaminergic brain regions of rats / C.P. Lynn-Bullock, K. Welshhans, S.L. Pallas, P.S. Katz // *J Chem Neuroanat.* – 2004. – Vol. 27, no. 2. – P. 129–138.

#### References

1. Abzalov N.I., Abzalov R.R., Abzalov R.A. The Relationship Between the Motor Qualities of Young Athletes and the Reserve Capabilities of the Pumping Function of the Heart. *Human. Sport. Medicine*, 2020, vol. 19, no. S2, pp. 18–22. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm19s202

2. Abzalov N.I., Abzalov R.R., Abzalov R.A., Gulyakov A.A. Adaptation of the Pumping Function of the Heart to Muscle Activity. *Human. Sport. Medicine*, 2017, vol. 17, no. S, pp. 7–11. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm170501

3. Kirillova V.V., Nigmatullina R.R. [Pharmacological Desympathization Changes the Response of the Inotropic Function of the Heart to Serotonin in the Postnatal Ontogenesis of Rats]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal imeni I.M. Sechenova* [Russian Physiological Journal named after I.M. Sechenov], 2007, no. 93 (10), pp. 1132–1142. (in Russ.)

4. Abzalov R.A., Abzalov R.R., Valeyev A.M. et al. [The Role of Serotonin 5-HT<sub>2B</sub> Receptor Agonist in the Regulation of the Pumping Function of the Heart]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine], 2015, no. 3, pp. 278–281. (in Russ.)

5. Yakupova A.F., Akhmetzyanov V.F., Nigmatullina R.R. [The Role of Serotonin Receptors in the Regulation of Myocardial Contractility in Newborn Rats]. *Fiziologicheskiye mekhanizmy adaptatsii rastushchego organizma: tezisy X yubileynoy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Physiological Mechanisms of Adaptation of a Growing Organism. Abstracts of the 10th Anniversary All-Russian Scientific Conference with International Participation], 2010, pp. 216–217. (in Russ.)

6. Borges J.P., Masson G.S., Tibiriçá E., Lessa M.A. Aerobic Interval Exercise Training Induces Greater Reduction in Cardiac Workload in the Recovery Period in Rats. *Arq. Bras. Cardiol.*, 2014, vol. 102, no. 1, pp. 47–53. DOI: 10.5935/abc.20130230

7. Hoyer D., Humphrey J.T., Hartig P.P. A Proposed New Nomenclature for 5-HT Receptors. *Trends Pharmacol. Sci.*, 1993, vol. 14, pp. 233–236. DOI: 10.1016/0165-6147(93)90016-D

8. Lynn-Bullock C.P., Welshhans K., Pallas S.L., Katz P.S. The Effect of Oral 5-HTP Administration on 5-HTP and 5-HT Immunoreactivity in Monoaminergic Brain Regions of Rats. *J Chem Neuroanat*, 2004, vol. 27, no. 2, pp. 129–138. DOI: 10.1016/j.jchemneu.2004.02.003

***Информация об авторах***

**Абзалов Рустем Ринатович**, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры теории и методики физической культуры, спорта и лечебной физической культуры Института фундаментальной медицины и биологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет. Россия, 420008, Казань, Кремлевская ул., д. 18.

**Абзалов Наиль Ильясович**, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой теории и методики физической культуры, спорта и лечебной физической культуры Института фундаментальной медицины и биологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет. Россия, 420008, Казань, Кремлевская ул., д. 18.

**Абзалов Ринат Абзалович**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры теории и методики физической культуры, спорта и лечебной физической культуры Института фундаментальной медицины и биологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет. 420008, Казань, Кремлевская ул., д. 18.

***Information about the authors***

**Rustem R. Abzalov**, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Theory and Methods of Physical Education, Sport and Physical Therapy, Institute of Basic Medicine and Biology, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia.

**Nail' I. Abzalov**, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Theory and Methods of Physical Education, Sport and Physical Therapy, Institute of Basic Medicine and Biology, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia.

**Rinat A. Abzalov**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Theory and Methods of Physical Education, Sport and Physical Therapy, Institute of Basic Medicine and Biology, Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia.

***Статья поступила в редакцию 24.12.2021***

***The article was submitted 24.12.2021***