Дата публикации: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_15
УДК 611.839; 617.721.5

Publication date: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_15
UDC 611.839; 617.721.5

# ИЗМЕНЕНИЕ ЗРАЧКОВОГО СВЕТОВОГО РЕФЛЕКСА ПОСЛЕ ЛЕГКОЙ НАГРУЗКИ У СПОРТСМЕНОВ

**А.А. Мельников[1], А.В. Громова[1], В.Л. Бойков[2]**
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского», г. Ярославль, Россия

**Аннотация**. Пупиллометрия является современным методом диагностики функционального состояния нервной системы человека, однако показатели зрачкового светового рефлекса после легкой физической нагрузки у спортсменов остаются неизученными. Цель работы – изучить изменения показателей зрачкового светового рефлекса в ответ на легкую нагрузку у спортсменов. Для оценки зрачкового светового рефлекса в ответ на 20 приседаний у 18 спортсменов использован бинокулярный компьютеризированного пупиллометр («Нью Девайс», Москва). Легкая нагрузка не изменяла начальный, минимальный и конечный радиус зрачка, а также среднюю скорость расширения зрачка. Напротив, латентное время и скорость сужения зрачка увеличились. Таким образом, пупиллометрия зрачковой реакции на свет является чувствительной к легким физическим нагрузкам технологией, на основе которой необходимо разрабатывать полевые тесты для диагностики функционального состояния спортсменов.
**Ключевые слова:** пупиллометрия, зрачковый световой рефлекс, спортсмены, физическая нагрузка.

# CHANGES IN PUPILLARY LIGHT REFLEX AFTER LIGHT EXERCISE IN ATHLETES

**A.A. Mel'nikov[1], A.V. Gromova[1], V.L. Bojkov[2]**
[1]Russian University of Sports "GTSOLIFK", Moscow, Russia
[2]Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky, Yaroslavl, Russia

**Abstract.** Pupillometry is a modern method of diagnosing the functional state of the human nervous system. However, the parameters of the pupillary light reflex after light physical activity in athletes remain unexplored. The aim of the work is to study the reaction of the pupillary light reflex indices to light exercise in athletes. A binocular computerized pupilometer (New Device, Moscow) was used to evaluate the pupillary light reflex in response to 20 squats in 18 athletes. Light exercise did not change the initial, minimum and final pupil size, as well as the average rate of pupil dilation. On the contrary, the latency time and the rate of pupil constriction were increased. Thus, pupillometry of the pupillary light reflex is a technology sensitive to light physical activity, on the basis of which it is necessary to develop field tests to diagnose the functional state of athletes.
**Keywords:** pupillometry, pupillary light reflex, athletes, physical activity.

**Введение.** Контроль за функциональным состоянием спортсменов во время срочных физических нагрузок, а также в период срочного и отставленного восстановления составляет важную составляющую работы тренера и спортивного медицинского персонала в тренировочном процессе. Отсутствие адекватного контроля функционального состояния может вести к остановке в росте спортивного результата, а в ряде случаев – к хроническому переутомлению или перетренировке. Поэтому в спортивной медицине и физиологии идет непрерывный поиск более эффективных методов функционального контроля. Поскольку функциональное состояние человека изменяется с помощью вегетативной нервной системы, мониторинг состояния спортсмена на основе диагностики активности вегетативной нервной системы (ВНС) является актуальной и эффективной.

Одним из современных методов измерения активности ВНС является пупиллометрия – измерение диаметра зрачка в ответ

на различные стимулы, например, на вспышку света, так называемый зрачковый световой рефлекс (ЗСР). Метод оценки ЗСР используется в спортивной физиологии для оценки ВНС при физических нагрузках [1-3], он также коррелирует с показателями вариабельности сердечного ритма (ВСР) [1]. Исследование изменения размера зрачка при физических нагрузках возрастающей интенсивности [4] установило, что диаметр зрачка, начиная с некоторого порогового уровня, увеличивается вместе с ростом физических усилий, и что величина этой реакции отражает не только фактическую интенсивность нагрузки, но и субъективное восприятие выполняемого усилия испытуемыми. Также ученые выявили, что максимальная скорость сужения зрачка наиболее значимый показатель в оценке интенсивности физической нагрузки, ее внутренней составляющей [5].

Однако не ясно, как ведут себя диаметр зрачка и показатели его реакции на свет после легких нагрузок. Данный аспект имеет интерес к совершенствованию функциональных тестов, поскольку значительная часть тестирования использует кратковременные и легкие физические нагрузки, например 10-30 приседаний, подъем на ступеньку, ортостатическую пробу и т.д. Литературные данные в этом отношении противоречивы. Так, в работе [6] было показано, что велоэргометрическая нагрузка с интенсивностью около 20-40% от максимального потребления кислорода ведет к первой фазе увеличения диаметра зрачка, а вторая фаза прироста происходит при интенсивности более 60% от МПК. Авторы полагают, что начальная дилатация зрачка при очень легкой нагрузке обусловлена собственной системой возбуждения нервной системы.

Однако показатели ЗСР во время нагрузок они не определяли. Напротив, в работе [5] при использовании американского пупиллометра PLR-3000 компании NeurOptics показано, что легкая велоэргометрическая нагрузка с частотой сердечных сокращений (ЧСС), равной 105-120 уд/мин, не вызывает существенных изменений исходного размера и показателей реакции зрачка на свет. Однако степень и максимальная скорость сужения зрачка проявили тенденцию к росту. Эти противоречия указывают, что световая реакция зрачка после легких физических нагрузок полностью не выяснена и нуждается в более подробном исследовании.

Цель исследования – изучить изменения показателей зрачкового светового рефлекса в ответ на легкую нагрузку у спортсменов.

**Методы и организация исследования.** В эксперименте добровольно с информированным письменным согласием участвовало 18 студентов-спортсменов РУС «ГЦОЛИФК». Добровольцы были здоровы и находились в хорошем функциональном состоянии.

Исследование проводилось в отдельном бесшумном кабинете с обычным световым освещением. Перед пупиллометрией испытуемый отдыхал в положении сидя 5 минут с открытыми глазами.

Реакцию зрачка на свет определяли с использованием бинокулярного компьютеризированного пупиллометра «Eye Tracker» (ООО «Нью Девайс». Москва. Россия). Вначале испытуемые определяли показатели ЗСР в положении сидя до физической нагрузки, затем испытуемый выполнял 20 приседаний до уровня угла в коленном суставе 90 градусов за 30 секунд. Сразу после выполненной нагрузки производилась еще одна пупиллометрия во время ЗСР. Полученная пупиллограмма (рис.) обрабатывалась в программе с расчетом следующих показателей зрачка: радиус начальный (мм), радиус минимальный после световой вспышки (мм), радиус на 2 с после вспышки (мм), соответствует радиусу восстановленного зрачка, латентное время реакции (с), скорость сужения зрачка (мм/с), скорость расширения зрачка за 2 с (мм/с). Поскольку левый и правый глаз показали совпадающие реакции, данные левого и правого глаза объединялись и обсчитывались совместно для повышения статистической мощности.

Данные в таблице представлены как средняя арифметическая (M) ± стандартное отклонение (σ). Поскольку распределение всех показателей было нормальным (тест Шапиро-Уилка), то реакции показателей зрачка на свет до и после нагрузки сравнивалась парным t-критерием Стьюдента. Расчеты выполнены в программе Statistica v12.

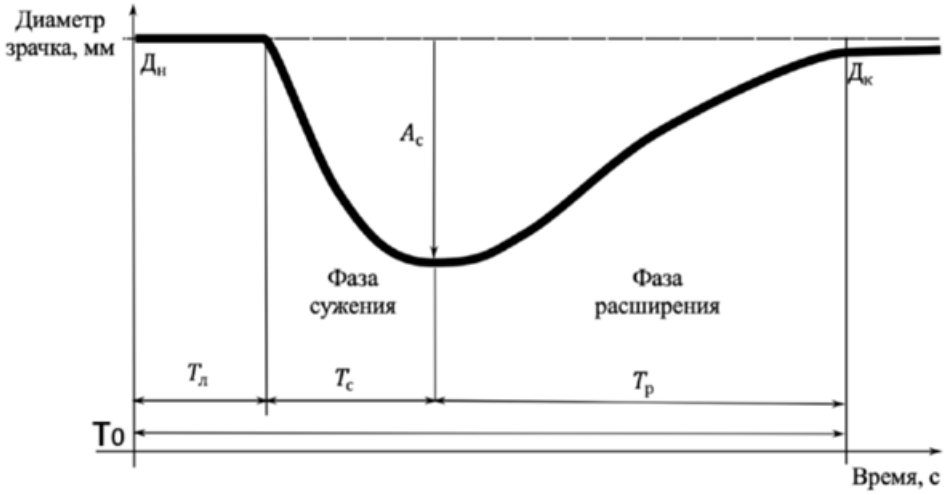



Рис. Схема пупиллограммы, описывающая реакцию зрачка на свет

Примечание: $T_o$ – время вспышки; $T_a$ – латентное время реакции; $T_c$ – время сужения зрачка; $T_p$ – время расширения зрачка; $A_c$ – амплитуда сокращения; $Д_н$ – начальный диаметр зрачка; $Д_к$ – конечный диаметр зрачка.

**Результаты исследования и их обсуждение.** После физической нагрузки из 20 приседаний мы не выявили существенных изменений начального, минимального и конечного радиуса, зарегистрированного на 2 с после вспышки и средней скорости расширения зрачка (табл.). Однако нагрузка вызвала увеличение латентного времени реакции (p=0,003) и увеличение скорости сужения зрачка (p=0,013).

Таблица

Показатели реакции зрачков на свет до и после 20 приседаний
у студентов-спортсменов (n=36)

| Показатели | До | После | P< |
|---|---|---|---|
| Радиус начальный, мм | 2,821±0,411 | 2,799±0,392 | 0,644 |
| Радиус минимальный, мм | 1,930±0,284 | 1,929±0,264 | 0,947 |
| Радиус на 2 с, мм | 2,499±0,345 | 2,519±0,311 | 0,501 |
| Латентное время реакции, с | 0,176±0,098 | 0,229±0,030 | 0,003 |
| Скорость сужения зрачка, мм/с | 1,522±0,308 | 1,638±0,275 | 0,013 |
| Скорость расширения зрачка за 2 с, мм/с | 0,285±0,055 | 0,294±0,053 | 0,177 |

Полученные данные противоречат некоторым работам, в которых установили увеличение радиуса зрачка после легкой нагрузки [6], что связывают с активацией симпатической нервной системы [3] и/или норадренергической возбуждающей системы голубого пятна ствола мозга [6]. Однако наши данные об отсутствии изменений начального и конечного диаметра зрачка и увеличении скорости сужения зрачка согласуются с данными работы [5]. Увеличение латентного времени реакции зрачка на свет после нагрузки может объясняться повышенным уровнем симпатической активности, которая может притормаживать активацию парасимпатической системы световой вспышкой, что может быть логичным. Однако причины увеличения скорости сужения зрачка, реакции опосредуемой парасимпатической активностью (которая должна быть заторможена после нагрузки) остаются не ясными. Это может быть связано как с методическими особенностями проведения ЗСР, так и с активирующим влиянием симпатической системы на сократительные свойства мышц-сфинктеров зрачка. Возможно, что амплитуда зрачковой реакции регулируется парасимпатическими влияниями, а само сокращение мышц может усиливаться симпатическими эффектами. Выяснение данного факта требует дополнительных исследований.

**Заключение.** После субмаксимальной нагрузки в виде 20 приседаний мы не выявили увеличения исходного, минимального и конечного радиуса зрачков в ответ на

вспышку. Однако выявлено удлинение латентного времени и увеличение скорости сужения зрачка. Таким образом, легкая физическая нагрузка приводит к некоторым существенным изменениям реакции зрачка на свет, однако данные изменения требуют выяснение физиологических механизмов. В дальнейшем предстоит выяснить, как связана ЗСР с функциональным состоянием спортсмена. Полученные данные о чувствительности ЗСР к легкой физической нагрузке позволяют разработать тесты на основе пупиллометрии для диагностики функционального состояния спортсменов с целью оптимизации тренировочного процесса и предупреждения состояний переутомления.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Computerized dynamic pupillometry as a screening tool for evaluation of autonomic activity / A. Venkata Sivakumar, M. Kalburgi-Narayana, M. Kuppusamy [et al.] // Neurophysiol Clin. – 2020. – Vol. 50. – No. 5. – P. 321-329. DOI: 10.1016/j.neucli.2020.09.004.
2. Assessment of autonomic function in high level athletes by pupillometry / J.A. Filipe, F. Falcão-Reis, J. Castro-Correia, H. Barros // Autonomic Neuroscience. – 2003. – Vol. 104. – No. 1. – P. 66-72. DOI: 10.1016/s1566-0702(02)00268-0.
3. Hsu, C.H. Application of Pupillometry in Neurocritical Patients / C.H. Hsu, L.T. Kuo // J of Personalized Medicine. – 2023. – Vol.13. – No.7. – P.1100. DOI: 10.3390/jpm13071100.
4. Zénon, A. Pupil size variations correlate with physical effort perception / A. Zénon, M. Sidibé, E. Olivier // Frontiers in Behavioral Neuroscience. – 2014. – Vol. 8. – P. 286. DOI: 10.3389/fnbeh.2014.00286.
5. Evaluating the effectiveness of quantitative pupillometry in assessing dynamic aerobic training intensity / J. Dai, X. Wang, C. Hang [et al.] // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – No. 1. – P. 26071. DOI: 10.1038/s41598-024-77588-z.
6. Pupil-linked arousal with very light exercise: pattern of pupil dilation during graded exercise / R. Kuwamizu, Y. Yamazaki, N. Aoike [et al.] // Journal of Physiological Sciences. – 2022. – Vol. 72. – No. 1. – P. 23. DOI: 10.1186/s12576-022-00849-x.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Андрей Александрович Мельников** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: meln1974@yandex.ru.
**Анастасия Валерьевна Громова** – старший преподаватель кафедры баскетбола, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: dooc_av@mail.ru.
**Василий Леонидович Бойков** – кандидат биологических наук, доцент кафедры физического воспитания, Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, Ярославль, e-mail: 2bl@mail.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:**

**Andrej A. Melnnikov** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology, Russian University of Sports “GTSOLIFK”, Moscow, e-mail: meln1974@yandex.ru.
**Anastasia V. Gromova** – Senior Lecturer of the Basketball Department, Russian University of Sports “GTSOLIFK”, Moscow, e-mail: dooc_av@mail.ru.
**Vasilij L. Bojkov** – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Education, Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky, Yaroslavl, e-mail: 2bl@mail.ru.

**Для цитирования:** Мельников, А.А. Изменение зрачкового светового рефлекса после легкой нагрузки у спортсменов / А.А. Мельников, А.В. Громова, В.Л. Бойков // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_15

**For citation:** Mel’nikov A.A., Gromova A.V., Bojkov V.L. Changes in pupillary light reflex after light exercise in athletes. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_15