

REFERENCES

1. Boriskina O.V. Obnaruzhenie prognosticheski znachimyh molekularno-geneticheskikh markerov dlja rannej vysokotochnoj diagnostiki razvitiya agressivnogo parodontita (Detection of prognostically significant molecular genetic markers for early high-precision diagnosis of the development of aggressive periodontitis): avtoref. dis. ... kand. med. nauk. Moscow, 2014:25 (in Russ)
2. Buzer D. Protokoly protezirovaniya v implantologicheskoy stomatologii. Chastichnaya adentija (Prosthetics protocols in implantological dentistry. Partial adentia). Tver': Dental-Azbuka, 2011:168. (in Russ)
3. Bulanov S.I., Lysov A.D., Sofronov M.V. Substantiation of the use of connective tissue autograft in dental implantation. Bulletin of the Medical Institute «REAVIZ» (Rehabilitation, doctor and health). 2017;5:81-94. (in Russ)
4. Bykov I.M., Ladut'ko A.A., Esaulenko E.E., Elichev I.V. Biohimija rotovoj i desnevoj zhidkosti: uchebnoe posobie (Biochemistry of oral and gingival fluid: a textbook): Kubanskij gosudarstvennyj medicinskij universitet. Krasnodar: Kachestvo, 2008:99. (in Russ)
5. Gracheva O.V. Diagnostika i lechenie oslozhnenij dental'noj implantacii, svjazannyh s narusheniem funkcij nizhnego al'veoljarnogo nerva (Diagnosis and treatment of complications of dental implantation associated with impaired functions of the inferior alveolar nerve): avtoref. dis. ... kand. med. nauk. Moskva, 2011:23. (in Russ)
6. Kulakov AA, Grigoryan AS, Arkhipov AV. Impact of surface modifications of dental implants on their integration potential. Stomatologiya. 2012;91(6):75-77. (In Russ.)
7. Kulakov AA, Gvetadze RSh, Brailovskaia TV, Khar'kova AA, Dzikovitskaya LS. Modern approaches to dental implants placement in deficient alveolar bone. Stomatologiya. 2017;96(1):43-45. (In Russ.)
8. Linkevicius, T. Nulevaja utrata kosti (Zero bone loss). St. Petersburg: Dental-Azbuka, 2020:281. (in Russ)
9. Lysov D.N., Zarubina E.G. Clinical and laboratory features of bone homeostasis in uncomplicated installation of dental implants. Bulletin of the Medical Institute «Reaviz». 2018;4:106-112. (in Russ)
10. Lysov D.N. [et al.]. Clinical and laboratory features of the postoperative period during dental implantation. Dental Forum. 2020;1(76):21-27. (in Russ)
11. Mish K. Ortopedicheskoe lechenie s oporoj na dental'nye implantanty (Orthopedic treatment based on dental implants). Moscow: Azbuka, 2010:616. (in Russ)
12. Renwert S., Giovagnoli G.- L. Periimplantit (Peri-Implantitis). Moscow: Alphabet, 2014:255. (in Russ)
13. Rogatskin D.V. Konusno-luchevaja komp'yuternaja tomografiya. Osnovy vizualizacii (Cone-beam computed tomography. Fundamentals of visualization). Lviv: «GalDent», 2010:146. (in Russ)
14. Rozhko P.D. Clinical effectiveness of therapeutic and preventive measures to accompany orthopedic treatment of patients with diabetes mellitus. Medical Sciences. Colloquium-journal. 2020;29(81):28-32. (in Russ)
15. Sofronov MV, Kuznetsov MV, Bulanov SI, Zarubina EG, Lysov DN. Clinical and laboratory parameters of the postoperative period of dental implantation using a navigation template in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Russian Journal of Stomatology. 2023;16(2):13-22. (In Russ.)
16. Ushakov A.A. Dental'naja implantologija. Vchera, segodnja. Zavtra (Dental implantology. Yesterday, today. Tomorrow). Dental Times. 2014;19. [Electronic resource] URL: http://www.dentaltimes.ru/news/archive/y2014/y2014_53.html (in Russ)
17. Ushakov AI, Yur'ev EM. Dental implantation and the choice of the osteoplastic materials taking into consideration the type of the bone tissue of human jaws. Russian Journal of Stomatology. 2016;9(2):12-17. (In Russ.)
18. Tsitsiashvili A.M., Gurevich K.G., Panin A.M., Akimochkina L.A. Quality of life of patients with partially edentulous atrophy jaws getting dental implant treatment. System analysis and management in biomedical systems. 2019;4:138-143. (in Russ)
19. Yakimenko R.O. Creation of 3D models of jaw fragments based on the results of computed tomography for effective implantation. East European Journal of Advanced Technologies. 2010;5:63-65. (in Russ)
20. Abuhussein H., Pagni G., Rebaudi F. The effect of thread pattern upon implant osseointegration. Clin Oral Implants Res. 2010;21(2):129-136. (in Engl)
21. Boraas JC, Messer LB, Till MJ. A genetic contribution to dental caries, occlusion, and morphology as demonstrated by twins reared apart. Dent Res. 1988, Sep;67 (9):1150-1158. (in Engl)
22. Uematsu, T., Nariyama M, Shimizu K, Maeda T. Mapping of affected gene(s) to dental caries susceptibility on mouse chromosome 2. Pediatr Dent J. 2003 Jan.;13(1):75-81. (in Engl)
23. Vieira A.R. Genetics and Caries – Prospects. Braz. Oral Res. 2012;26:7-9. (in Engl)

УДК 616-072.8:612.842.2

© Коллектив авторов, 2024

А.Р. Исанбаева¹, М.А. Кутлубаев², Д.Р. Шагиева³, О.В. Лютов²
**ПУПИЛЛОМЕТРИЯ В НЕЙРОПЕДИАТРИЧЕСКОЙ
 ПРАКТИКЕ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И КЛИНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**
¹ГБУЗ РБ «Республиканская детская клиническая больница», г. Уфа
²ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»
 Минздрава России, г. Уфа
³ГБУЗ РБ «Городская детская клиническая больница №17», г. Уфа

Пупиллометрия – метод, основанный на количественной оценке диаметра зрачка в динамике. Интеграция афферентных сигналов и моторных реакций, осуществляемая как на уровне центральной нервной системы, так и на уровне эфферентных структур периферической нервной системы, непрерывно влияет на изменение диаметра зрачка. К основным процессам, влияющим на регуляцию размера зрачка, относят реакцию зрачка на свет, аккомодацию и эмоциональные реакции. Понимание этих механизмов важно для диагностики и лечения различных неврологических и психиатрических расстройств.

Для исследования зрачка используется технология ближнего инфракрасного диапазона вместе с камерой высокого разрешения. Данная методика получила широкое распространение в различных областях медицины, включая педиатрию. Пупиллометрия дает объективную информацию о состоянии различных структур нервной системы ребенка и не требует значительных временных и финансовых затрат.

В данном кратком обзоре представлены данные о механизмах регуляции диаметра зрачка, а также о клиническом применении данного метода в нейропедиатрической практике.

Ключевые слова: пупиллометрия, зрачковая реакция, размер зрачка, вегетативная нервная система, аутизм, гиперактивность, новая коронавирусная инфекция.

A.R. Isanbaeva, M.A. Kutlubayev, D.R. Shagieva, O.V. Lyutov
**PUPILLOMETRY IN THE NEUROPEDIATRIC
 PRACTICE: THEORETICAL AND CLINICAL ASPECTS**

Pupillometry is a method based on the quantitative measurement of pupil diameter in dynamics. Integration of afferent signals and motor signals, both at the level of the central nervous system and at the level of peripheral nervous system, continuously affects the change in pupil diameter. The main processes that affect the regulation of pupil size include pupil reactions to light, accommodation and emotional states. Understanding these criteria is important for the diagnosis and treatment of various neurological and mental disorders.

Near infrared connection technology is used to examine the pupil together with a high-resolution electrical outlet. This technique has become widespread in various fields of medicine, including pediatrics. Pupillometry provides objective information about the state of various structures of the child's nervous system and does not require significant time and financial costs.

This brief review presents data on the mechanisms of pupil diameter regulation, as well as on the clinical application of this method in neuropsychiatric practice.

Key words: pupillometry, ocular reaction, pupil size, autonomic nervous system, autism, hyperactivity, new coronavirus infection.

Регуляция размера зрачка – это непрерывный процесс, который зависит от интеграции сенсорных сигналов и моторных реакций, осуществляемых как на уровне центральной нервной системы (ЦНС), так и на уровне эфферентных структур периферической нервной системы. Понимание этих механизмов имеет важное значение для клинической неврологии, поскольку изменения в регуляции зрачка могут служить индикаторами различных неврологических заболеваний [1].

Фундаментальные аспекты. Зрачок представляет собой отверстие в радужной оболочке, размер которого регулируется двумя основными группами мышц: сфинктером зрачка и дилатором зрачка. Под влиянием парасимпатической нервной системы происходит сужение зрачка, тогда как его расширение регулируется симпатической нервной системой. Деятельность этих мышечных структур контролируется специфическими рефлекторными дугами, которые интегрированы в более комплексные нейронные сети. Структуры нервной системы функционируют в рамках механизмов, основная задача которых заключается в регуляции количества света, попадающего на сетчатку, а также в аккомодации, то есть в изменении диаметра зрачка.

В процессе фотосенсорного рефлекса увеличение уровня освещения в окружающей среде в первую очередь приводит к активации парасимпатической нервной системы, особенно ядер Эдингера–Вестфала, что вызывает сужение зрачка. Свет, проходящий через зрачок и преломляющие среды глазного яблока, активирует палочки и колбочки, а также биполярные и ганглиозные клетки сетчатки [2]. Ретинальные сигналы передаются в претектальную область среднего мозга и затем в ядра Эдингера–Вестфала. Преганглионарные парасимпатические аксоны холинергических нейронов этих ядер синаптически связываются с нейронами ресничного ганглия, которые посылают постганглионарные волокна, иннервирующие сфинктер радужки, что приво-

дит к парасимпатически опосредованному сужению зрачка. Напротив, более низкие уровни окружающего освещения приводят к большей активации симпатической нервной системы, регулируемой из задних гипоталамических ядер, синаптических нейронов в боковых столбах клеток шейных и грудного отделов спинного мозга и в верхнем шейном ганглии, который посылает постганглионарные аксоны в ресничные нервы, вызывая сокращение дилатора зрачка и его расширение [2,3]. Таким образом, фотосенсорный рефлекс, инициируемый светом, в условиях окружающего освещения регулируется сбалансированной активностью симпатической и парасимпатической нервной системы.

Помимо относительно простых парасимпатических и симпатических путей существуют другие автономные пути, контролирующие размер зрачка. С этой точки зрения сужение зрачка снижает уровень света, поступающего на сетчатку, и в условиях подавления симпатической иннервации происходит расслабление мышцы – дилатора зрачка. Аналогично, расширение зрачка увеличивает уровень света, поступающего на фоторецепторы сетчатки, и следующее за этим снижение активности парасимпатической иннервации приводит к расслаблению мышцы-сфинктера зрачка. При этом активность ингибируемых световой афферентацией симпатических путей, возникающих в ретинально-рецепторных нейронах претектальной области и супрахиазматического ядра, согласуется с парасимпатическим путем, опосредующим реакцию зрачка на свет. Другими словами, парасимпатически связанное сужение зрачка облегчается одновременным ингибированием симпатико-опосредованного расширения зрачка. Таким образом, световая стимуляция имеет двойной (ингибиторный и стимулирующий) эффект на активность вегетативных нервных систем [4].

Симпатические пути регуляции диаметра зрачка также включают норадренергические

и серотонинергические нейронные пути. Основным источником норадреналина в ЦНС является голубое пятно, которое участвует в функционировании симпатической порции вегетативной нервной системы. Оно взаимодействует как с симпатическими преганглионарными нейронами в спинном мозге, так и с парасимпатическими нейронами ядра Эдингера–Вестфаля [5]. Важнейшим элементом серотонинергической системы является дорсальное ядро шва, где расположены серотонинергические нейроны, часть которых функционирует как симпатические нейроны и имеют синапсы с боковыми столбами спинного мозга, то есть стимуляция серотониновых рецепторов этих нейронов приводит к расширению зрачка посредством симпатической активации.

Помимо изолированно функционирующих систем выделяют центральную вегетативную систему, включающую структуры ствола мозга, подкорковых и корковых структур. Анатомически она состоит из передней поясной, островковой и вентромедиальной префронтальной коры, центрального ядра миндалевидного тела, паравентрикулярных ядер гипоталамуса, околотовопроводного серого вещества, парабрахияльного ядра, ядра одиночного пути, двойного ядра, вентролатерального и вентромедиального отделов продолговатого мозга и его покрышки [5]. Из них симпатическую иннервацию регулируют префронтальная, передняя и средняя поясная, правая вентральная передняя островковая и левая задняя островковая кора; парасимпатическая регуляция контролируется поясной корой, латеральной височной корой, билатеральной дорсальной островковой корой и гиппокампом. Миндалевидное тело, правая нижняя теменная доля и небольшая область в правой передней островковой коре принимают участие в функционировании обеих вегетативных систем [6,7].

Особенно важно, что многие структуры центральной вегетативной системы являются также частью функциональных систем мозга, отвечающих за когнитивные процессы и эмоциональные реакции. Вследствие этого можно сделать вывод, что реакция зрачка на свет отражает работу множества структур нервной системы, и методы исследования этой реакции позволяют контролировать работу, как отдельных элементов фоторегуляции, так и функциональную активность головного мозга в целом.

Аккомодация глаза – это процесс изменения фокусного расстояния с целью обеспечения четкости изображения объектов, находящихся на различных расстояниях от глаз.

Этот механизм играет ключевую роль в зрительном восприятии и осуществляется в основном благодаря активности цилиарной мышцы и изменениям кривизны хрусталика. В процессе аккомодации наблюдается интеграция зрительных и моторных рефлексов.

Процесс аккомодации основан на изменении формы хрусталика, что достигается за счет сокращения или расслабления цилиарной мышцы. Аккомодация контролируется парасимпатической нервной системой. Визуальная информация из глаз поступает в зрительную кору головного мозга, где происходят восприятие и обработка изображений. В ответ на зрительные стимулы возникает рефлекторная аккомодация, регулируемая через нервные пути.

Выделяют дальнюю аккомодацию, которая осуществляется при взгляде на удаленные объекты. При этом цилиарная мышца расслабляется, что приводит к увеличению радиуса кривизны хрусталика и уменьшению его оптической силы. При фокусировке на далеких объектах зрачок расширяется. Также существует близкая аккомодация, которая происходит при взгляде на близкие объекты. Во время этого процесса цилиарные мышцы сокращаются и хрусталик принимает более выпуклую форму, увеличивая оптическую силу и обеспечивая четкость изображения. При фокусировке на объектах, находящихся на близком расстоянии, нейронная активация вызывает сокращение сфинктера, улучшая четкость изображения.

На размер зрачка влияют не только активная простая афферентная стимуляция, включающая в себя реакцию зрачка на свет и аккомодацию, но и индивидуальные психофизиологические характеристики человека, такие как когнитивные способности, интеллектуальное развитие, объем рабочей памяти и контроль над вниманием. Предполагается, что эти процессы оказывают динамическое модулирующее влияние посредством воздействия норадреналиновой системы голубого пятна, выражая текущий уровень активности головного мозга.

Влияние церебральных структур на зрачковые реакции в контексте когнитивных и эмоциональных процессов отражено в нескольких исследованиях. Церебральные структуры, вовлеченные в модуляцию зрачковых реакций в ходе когнитивных и эмоциональных процессов, включают: голубое пятно, верхние бугорки четверохолмия и несколько корковых областей [7]. При этом голубое пятно, вероятно, играет ключевую роль в регуляции размера и реактивности зрачка и функционирует в 2-х режимах – тоническом и фазическом. Тониче-

ский режим характеризуется повышенной частотой пульсации нейронов голубого пятна без явных всплесков фазической активности. В то время как фазический режим представляет собой кратковременное и быстрое увеличение частоты пульсации, которое коррелирует с уровнем активного внимания и реакциями на внешние раздражители. Переключение между этими режимами меняется от текущих задач. Так, при необходимости фокусирования на определенном задании голубое пятно активируется, опосредованно влияя на симпатические нейроны в боковых столбах спинного мозга и ингибируя связи с ядром Эдингера–Вестфала, что приводит к симпатически управляемому расширению зрачка и снижению парасимпатически опосредованного сужения [8].

Кроме того, верхние холмики пластинки четверохолмия – подкорковая структура, отвечающая за движение глаз и контроль пространственного избирательного внимания, – также может оказывать значительное влияние на регуляцию размера зрачка и реакцию на свет [9]. В частности, нейроны этой области могут модулировать изменения размера зрачка, связанные с парасимпатической активностью, через прямые и/или косвенные связи, включая мезэнцефальное клиновидное ядро и ядро Эдингера–Вестфала. Также верхние холмики подвержены влиянию нисходящих корковых сигналов от структур мозга, таких как лобная и теменная кора, что может способствовать модуляции зрачковых реакций. Дополнительно, различные корковые области, включая фронтальную/префронтальную, орбитофронтальную, поясную и островковую кору, также вовлечены в модификацию размера и реактивности зрачка [10,11].

Для исследования зрачка используется технология ближнего инфракрасного диапазона вместе с камерой высокого разрешения [12]. Данная методика получила широкое распространение в различных областях медицины, включая педиатрию. Пупиллометрия дает объективную информацию о состоянии различных структур нервной системы ребенка и не требует значительных временных и финансовых затрат [1].

Клинические аспекты. В нейропедиатрической практике пупиллометрия используется при целом ряде заболеваний. В практической работе с детьми чаще используются мобильные видеоокулографы (айтрекеры), которые напоминают очки и не требуют длительного пребывания перед экраном персонального компьютера. В тех случаях, когда необходимо проведение экспериментальных методик с демонстрацией

определенных изображений, используются настольные установки. В обоих случаях используется принцип регистрации центра зрачка и отраженного света от роговицы.

Большое число работ с использованием видеоокулографии было проведено у детей с расстройством аутистического спектра (РАС). В частности, было показано, что при РАС отмечается идиосинкразическая зрачковая реакция при предъявлении различных зрительных стимулов [13]. Предполагается, что нарушение социального внимания, которое наблюдается при РАС, может быть связано с дисфункцией системы «голубое пятно – норадреналин», состояние которой можно оценить по данным пупиллометрии [14]. Выявление изменений со стороны голубого пятна является характерной чертой РАС, которая позволяет дифференцировать его, например с синдромом дефицита внимания и гиперактивности [15].

Исследование фотореакций детей с РАС подтвердило наличие у них изменений, которые позволяли выявлять данную патологию. При РАС отмечалась менее выраженная реакция на свет и более медленное возвращение диаметра зрачка к исходному уровню [16].

Stefanelli G. и соавт. провели систематический обзор и мета-анализ данных 14 работ, посвященных оценке зрачковых реакций у детей с РАС. Было показано, что у здоровых детей по сравнению с теми, у кого было РАС, отмечалось более выраженное расширение зрачка при предъявлении социальных стимулов по сравнению с несоциальными стимулами ($g=0.54$; 95% ДИ [0.25, 0.82]). У детей с РАС достоверной разницы в диаметре зрачка при предъявлении социальных и несоциальных стимулов не отмечалось [17].

Предпринимаются попытки использовать пупиллометрию в детских отделениях реанимации и интенсивной терапии. Автоматизированная пупиллометрия позволяет получать объективную информацию о состоянии детей на искусственной вентиляции легких, ее результаты могут легко интерпретироваться медицинскими сестрами. [18]. Показатель количественной оценки фотореакции (неврологический зрачковый индекс (НЗИ), – 0 – нет реакции, 5 – нормальная реакция), а именно НЗИ менее 3 является предиктором неблагоприятных исходов у детей, проходивших лечение в реанимационном отделении [19]. Основным ограничением для широкого использования пупиллометрии в реанимации является недостаток данных о ценности данного метода в повседневной клинической практике [20]. Имеются данные, согласно которым

пупиллометрия позволяет объективизировать болевые ощущения ребенка. Данная методика может быть использована для оценки интраоперационной боли у детей во время оперативного лечения под наркозом [21].

Также пупиллометрия может использоваться для объективной оценки вегетативной нервной системы у новорожденных. Было показано, что параметры фотореакции достоверно отличаются у доношенных и недоношенных детей и отражают степень созревания нервной системы [22]. Особое место пупиллометрия занимает в оценке когнитивных функций у детей младшего возраста. В частности, состояние устойчивого внимания коррелирует с диаметром зрачка ребенка [23].

Пупиллометрия занимает важное место в оценке вегетативного обеспечения когни-

тивных функций. Было показано, что у подростков с постковидным синдромом отмечалось большее расширение зрачка, чем у тех, кто перенес новую коронавирусную инфекцию без последствий. Данная методика может использоваться для скрининга на постковидный синдром у детей [24].

Заключение. Таким образом, пупиллометрия в нейрорепедиатрической практике может использоваться для получения различной диагностической информации. Особенно высокая ценность данного метода в скрининговом обследовании детей с подозрением на аутизм, при исследовании тонуса вегетативной нервной системы и при оценке внимания. Перспективным является внедрение автоматизированной пупиллометрии в детскую нейрореанимационную и анестезиологическую практику.

Сведения об авторах статьи:

Исанбаева Альбина Ринатовна – врач психоневрологического отделения №1 ГБУЗ РДКБ. Адрес: 450092, г. Уфа, ул. Степана Кувыкина 98. E-mail: albina.isanbaeva999@gmail.com.

Кутлубаев Мансур Амирович – д.м.н., доцент, зав. кафедрой неврологии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: mkmed@mail.ru.

Шагиева Дилара Раисовна – главный врач ГБУЗ РБ ГКБ №17 г. Уфа, 450065 г. Уфа ул. Свободы 29. Email: shagievadilara@yandex.ru.

Лютков Оскар Вячеславович – аспирант кафедры неврологии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: oskar-lyutov@yandex.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пупиллометрия в оценке психоэмоционального состояния и когнитивных функций человека / Кутлубаев М.А. [и др.]. // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2023. – Т. 73, № 5. – С. 651-665.
2. McDougal, D.H. Autonomic Control of the Eye. / D.H. McDougal, P.D. Gamlin // In Comprehensive Physiology, D.M. Pollock (Ed.). – 2015 Jan. – Vol.5, № 1. – P. 439-73. doi.org/10.1002/cphy.c140014
3. Background luminance effects on pupil size associated with emotion and saccade preparation / Y.G. Cherng [et al.]. Sci Rep. – 2020. – Vol. 10(1). – P. 15718. doi: 10.1038/s41598-020-72954-z.
4. Szabadi, E. Functional Organization of the Sympathetic Pathways Controlling the Pupil: Light-Inhibited and Light-Stimulated Pathways / E. Szabadi // Front Neurol. – 2018. – Vol. 9. – P.1069. doi: 10.3389/fneur.2018.01069.
5. Aston-Jones, G. Locus coeruleus: From global projection system to adaptive regulation of behavior / G. Aston-Jones, B. Waterhouse // Brain Res. – 2016. – Vol. 1645. – P. 75-78. doi: 10.1016/j.brainres.2016.03.001.
6. Benarroch, E.E. The central autonomic network: functional organization, dysfunction, and perspective / E.E. Benarroch // Mayo Clin Proc. – 1993. – Vol. 68, № 10. – P. 988-1001. doi: 10.1016/s0025-6196(12)62272-1.
7. The autonomic brain: an activation likelihood estimation meta-analysis for central processing of autonomic function / F. Beissner [et al.]. // J Neurosci. – 2013. Vol. 33, № 25. – P.10503-11. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1103-13.2013.
8. Mathôt S. Pupillometry: Psychology, Physiology, and Function/ S. Mathôt // J Cogn. 2018 – Vol.1 – P. 16-29 doi: 10.5334/joc.18.
9. Eye pupil - a window into central autonomic regulation via emotional/cognitive processing /N. Ferencová [et al.]/ Physiol Res. 2021 - Vol.70(Suppl 4) – S.669-S682. doi: 10.33549/physiolres.934749.
10. Peysakhovich, V. The impact of luminance on tonic and phasic pupillary responses to sustained cognitive load / V. Peysakhovich, F. Vachon, F. Dehaes // International Journal of Psychophysiology. – 2017. – Vol. 112. – P. 40–45. doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.12.003
11. Cortical modulation of pupillary function: systematic review / C. Peinkhofer [et al.] // PeerJ. – 2019. – Vol. 7.e6882. doi: 10.7717/peerj.6882.
12. Pupil examination: validity and clinical utility of an automated pupillometer / M.Meeker [et al.]/ J Neurosci Nurs. 2005 – Vol. 37 – P. 34-40.
13. Idiosyncratic pupil regulation in autistic children / I.H. Bleimeister [et al.] // bioRxiv : the preprint server for biology – 2024. – 2024.01.10.575072. doi: 10.1002/aur.3234.
14. Polzer, L. Pupillometric measures of altered stimulus-evoked locus coeruleus-norepinephrine activity explain attenuated social attention in preschoolers with autism spectrum disorder / L. Polzer, C.M. Freitag, N. Bast // Autism Res. – 2022. – Vol. 15, № 11. – P. 2167-2180. doi: 10.1002/aur.2818. Epub 2022 Sep 16. PMID: 36111843.
15. Atypical Arousal Regulation in Children With Autism but Not With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder as Indicated by Pupillometric Measures of Locus Coeruleus Activity / N. Bast [et al.] // Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging. – 2023. – Vol. 8, № 1. – P. 11-20. doi: 10.1016/j.bpsc.2021.04.010.
16. Sensitivity and specificity of pupillary light reflex measures for ASD using monocular pupillometry / G.T.F. Lynch [et al.] // Neurol Sci. – 2022. – Vol. 43, № 7. – P.4537-4545. doi: 10.1007/s10072-022-05976-2.
17. Pupillary responses for social versus non-social stimuli in autism: A systematic review and meta-analysis / G. Stefanelli [et al.] // Neurosci Biobehav Rev. – 2024. Vol. 166:105872. doi: 10.1016/j.neubiorev.2024.105872.
18. Nursing insights on the effectiveness of automated pupillometry in two distinct pediatric intensive care units / B.S.J. Jiang [et al.] // Pediatr Nurs. – 2024. – Vol. 78:e398-e403. doi: 10.1016/j.pedn.2024.07.032.
19. Neurological Pupillary Index (NPI) Measurement Using Pupillometry and Outcomes in Critically Ill Children / J. Jiang [et al.] // Cureus. – 2023. – Vol. 15, № 10. – P. e46480. doi: 10.7759/cureus.46480.
20. Noninvasive Neuromonitoring Modalities in Children Part I: Pupillometry, Near-Infrared Spectroscopy, and Transcranial Doppler Ultrasonography / M.E. Lovett [et al.] // Neurocrit Care. – 2024. – Vol. 40, № 1. – P. 130-146. doi: 10.1007/s12028-023-01730-4.
21. The Role of Pupillometry in the Assessment of Pain in Children Under General Anesthesia: A Prospective Single-Blinded Observational Study / A. Singh [et al.] // Cureus. – 2023. – Vol. 15, № 8. – P.e43894. doi: 10.7759/cureus.43894.

22. Investigating the development of the autonomic nervous system in infancy through pupillometry / L.M. de Vries [et al.] // *J Neural Transm* (Vienna). – 2023. – Vol. 130, № 5. – P. 723-734. doi: 10.1007/s00702-023-02616-7.
23. Benítez, V.L. Pupillometry as a Window into Young Children's Sustained Attention. / V.L. Benítez, M.K. Robison // *J Intell.* – 2022. – Vol. 10, № 4. – P. 107. doi: 10.3390/jintelligence10040107.
24. Способ объективной оценки вегетативных нарушений у подростков, перенесших COVID-19: патент № 2821560 Рос. Федерация; заявл. 13.02.2024; опубл. 25.06.2024. Бюл. № 18. 10 с.

REFERENCES

1. Kutlubaev M.A., Shagieva D.R., Karimova G.I., Izmalkova A.I., Myachikov A.V. Pupillometry in the assessment of emotional state and cognitive functions in human. *Zhurnal Vysshei Nervnoi Deyatelnosti Imeni I.P. Pavlova*. 2023; 73(5):651-665. (in Russ) doi: 10.31857/S0044467723050064
2. McDougal DH, Gamlin PD. Autonomic control of the eye. *Compr Physiol*. 2015 Jan;5(1):439-73. (in Engl) doi: 10.1002/cphy.c140014.
3. Cherno, YG., Baird, T., Chen, JT. [et al.] Background luminance effects on pupil size associated with emotion and saccade preparation. *Sci Rep* 10, 15718 (2020). (in Engl) <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72954-z>
4. Szabadi E. Functional Organization of the Sympathetic Pathways Controlling the Pupil: Light-Inhibited and Light-Stimulated Pathways. *Front Neurol*. 2018 Dec 18;9:1069. (in Engl) doi: 10.3389/fneur.2018.01069.
5. Aston-Jones G, Waterhouse B. Locus coeruleus: From global projection system to adaptive regulation of behavior. *Brain Res*. 2016 Aug 15;1645:75-8. (in Engl) doi: 10.1016/j.brainres.2016.03.001.
6. Benarroch EE. The central autonomic network: functional organization, dysfunction, and perspective. *Mayo Clin Proc*. 1993 Oct;68(10):988-1001. (in Engl) doi: 10.1016/s0025-6196(12)62272-1.
7. Beissner F, Meissner K, Bär KJ, Napadow V. The autonomic brain: an activation likelihood estimation meta-analysis for central processing of autonomic function. *J Neurosci*. 2013 Jun 19;33(25):10503-11. (in Engl) doi: 10.1523/JNEUROSCI.1103-13.2013.
8. Mathôt S. Pupillometry: Psychology, Physiology, and Function. *J Cogn*. 2018 Feb 21;1(1):16. (in Engl) doi: 10.5334/joc.18.
9. Ferencová N, Višňovcová Z, Bona Olexová L, Tonhajzerová I. Eye pupil - a window into central autonomic regulation via emotional/cognitive processing. *Physiol Res*. 2021 Dec 30;70(Suppl4):S669-S682. (in Engl) doi: 10.33549/physiolres.934749.
10. Peysakhovich, V., Vachon, F., & Dehais, F. The impact of luminance on tonic and phasic pupillary responses to sustained cognitive load *International Journal of Psychophysiology*. 2017. 112; 40–45. (in Engl) <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.12.003>
11. Peinkhofer C, Knudsen GM, Moretti R, Kondziella D. Cortical modulation of pupillary function: systematic review. *PeerJ*. 2019 May 7;7:e6882. (in Engl) doi: 10.7717/peerj.6882.
12. Meeker M, Du R, Bacchetti P, Privitera CM, Larson MD, Holland MC, Manley G. Pupil examination: validity and clinical utility of an automated pupillometer. *J Neurosci Nurs*. 2005 Feb;37(1):34-40. (in Engl)
13. Bleimeister IH, Ayni I, Granovetter MC, Meiri G, Ilan M, Michaelovski A, Menashe I, Behrmann M, Dinstein I. Idiosyncratic pupil regulation in autistic children. *Autism Res*. 2024 Oct 10. (in Engl) doi: 10.1002/aur.3234.
14. Polzer L, Freitag CM, Bast N. Pupillometric measures of altered stimulus-evoked locus coeruleus-norepinephrine activity explain attenuated social attention in preschoolers with autism spectrum disorder. *Autism Res*. 2022 Nov;15(11):2167-2180. (in Engl) doi: 10.1002/aur.2818.
15. Bast N, Boxhoorn S, Supér H, Helfer B, Polzer L, Klein C, Cholemkery H, Freitag CM. Atypical Arousal Regulation in Children With Autism but Not With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder as Indicated by Pupillometric Measures of Locus Coeruleus Activity. *Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*. 2023 Jan;8(1):11-20. (in Engl) doi: 10.1016/j.bpsc.2021.04.010.
16. Lynch GTF, James SM, Cardon TA, McPherson SM. Sensitivity and specificity of pupillary light reflex measures for ASD using monocular pupillometry. *Neurol Sci*. 2022 Jul;43(7):4537-4545. (in Engl) doi: 10.1007/s10072-022-05976-2.
17. Stefanelli G, Pili MP, Crifaci G, Capelli E, Beretta C, Riboldi EM, Billeci L, Cantiani C, Molteni M, Riva V. Pupillary responses for social versus non-social stimuli in autism: A systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2024 Nov;166:105872. (in Engl) doi: 10.1016/j.neubiorev.2024.105872.
18. Jiang BSJ, Huff E, Hanna A, Gourabathini H, Bhalala U. Nursing insights on the effectiveness of automated pupillometry in two distinct pediatric intensive care units. *J Pediatr Nurs*. 2024 Sep-Oct;78:e398-e403. (in Engl) doi: 10.1016/j.pedn.2024.07.032. Epub 2024 Aug 3.
19. Jiang J, Sari H, Goldman R, Huff E, Hanna A, Samraj R, Gourabathini H, Bhalala U. Neurological Pupillary Index (NPI) Measurement Using Pupillometry and Outcomes in Critically Ill Children. *Cureus*. 2023 Oct 4;15(10):e46480. (in Engl) doi: 10.7759/cureus.46480.
20. Lovett ME, MacDonald JM, Mir M, Ghosh S, O'Brien NF, LaRovere KL. Noninvasive Neuromonitoring Modalities in Children Part I: Pupillometry, Near-Infrared Spectroscopy, and Transcranial Doppler Ultrasonography. *Neurocrit Care*. 2024 Feb;40(1):130-146. (in Engl) doi: 10.1007/s12028-023-01730-4.
21. Singh A, Akhileshwar, Kumar N, De RR, Bahadur R, Shekhar S. The Role of Pupillometry in the Assessment of Pain in Children Under General Anesthesia: A Prospective Single-Blinded Observational Study. *Cureus*. 2023 Aug 22;15(8):e43894. (in Engl) doi: 10.7759/cureus.43894.
22. de Vries LM, Amelynck S, Nyström P, van Esch L, Van Lierde T, Warreyn P, Roeyers H, Noens I, Naulaers G, Boets B, Steyaert J; TIARA Team. Investigating the development of the autonomic nervous system in infancy through pupillometry. *J Neural Transm* (Vienna). 2023 May;130(5):723-734. (in Engl) doi: 10.1007/s00702-023-02616-7.
23. Benítez VL, Robison MK. Pupillometry as a Window into Young Children's Sustained Attention. *J Intell*. 2022 Nov 16;10(4):107. (in Engl) doi: 10.3390/jintelligence10040107.
24. Способ объективной оценки вегетативных нарушений у подростков, перенесших COVID-19 (Method for objective assessment of vegetative disorders in adolescents suffering COVID-19): patent № 2821560 Ros. Federacija; заявл. 13.02.2024; опубл. 25.06.2024. Бюл. 18:10.