

УДК 612.821+159.91

ПОКАЗАТЕЛИ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ ПРИ ВОСПРИЯТИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ И УЛЫБАЮЩИХСЯ ЛИЦ

Павленко Д. В., Чуян Е. Н., Михайлова А. А., Александрова С. В., Павленко В. Б.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: vprav55@gmail.com*

Целью настоящего исследования являлось уточнение характеристик движений глаз при предъявлении взрослым здоровым испытуемым статичных изображений нейтральных и улыбающихся лиц. Установлено, что при восприятии указанных изображений у участников исследования формируется паттерн глазодвигательных реакций, специфичный для каждого из видов стимулов. Предъявление изображений улыбающихся лиц выявило тенденцию к большей амплитуде саккадических движений глаз, а также к значимо более продолжительной фиксации взора на нижней части лица, чем при предъявлении лиц с нейтральным выражением. Диаметр зрачков испытуемых был больше при экспозиции эмоциональных лиц, что свидетельствует о дополнительной активации норадренергической системы при восприятии данного вида стимулов.

Ключевые слова: лицевая экспрессия, трекинг движений глаз, диаметр зрачка.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, глаза называют «зеркалом души». Глаза человека обладают уникальными физическими, фотометрическими и двигательными характеристиками. Наблюдая за глазами окружающих, воспринимая характеристики глаз как единое целое, мы получаем жизненно важную информацию об эмоциональном состоянии и умственной деятельности других людей [1]. Важным показателем являются не только различные движения глаз, меняющие направление взора и обеспечивающие считывание информации (саккады и фиксации), но и изменения диаметра зрачка. Если глаза – это окна в душу, то зрачки представляют, своего рода, ворота в мозг и могут дать уникальную информацию о деятельности центральной нервной системы (ЦНС). Изменения размеров зрачка, в первую очередь, опосредованы различными условиями освещения. Однако их можно наблюдать также и при постоянном уровне освещенности. Эти изменения опосредованы уровнем общего возбуждения ЦНС, а также различными когнитивными стратегиями [2].

В настоящее время разрабатываются новые способы диагностики и коррекции нарушений развития у детей (в том числе расстройств аутистического спектра) с применением предъявления различных эмоциональных изображений, что делает особенно актуальным анализ паттернов движений глаз при восприятии лиц (см. обзор [3]). Движения глаз при восприятии лиц подчиняются определенным

закономерностям. Так, например, при идентификации лица знакомого человека и восприятии эмоциональной лицевой экспрессии проявляются разные стратегии перемещения взгляда. Распознавание лиц требует Т-образного паттерна фиксации взгляда, охватывающего области глаз и рта [4]. В то же время, при распознавании лицевых эмоциональных экспрессий наивысшая точность идентификации эмоций радости и отвращения достигается на основе восприятия мимики нижней части лица (рта, губ), а идентификация нейтрального выражения лица или эмоции горя – верхней (лба, бровей) [5]. В контексте восприятия лиц гораздо меньше известно о закономерностях изменений размера зрачка. Данные о модуляции размера зрачка при разных эмоциональных валентностях изображений и наблюдениями за разными лицевыми экспрессиями (положительными, нейтральными, или отрицательными) остаются противоречивыми [6]. Учитывая это, изучение роли эмоциональной окраски воспринимаемых образов в анализе характеристик зрачковых реакций является безусловно актуальным.

Изменение размера зрачка при восприятии лиц и других сложных, эмоционально окрашенных объектов является следствием активации ряда корковых и подкорковых структур ЦНС человека. Ключевую роль в этом играет нейронная сеть, вырабатывающая норадреналин [7]. Известно, что активация норадренергической системы увеличивает отношение сигнал/шум в нейронных сетях и улучшает обработку релевантной информации на разных уровнях ЦНС, а также модулирует баланс коркового возбуждения и торможения. Эти нейромодулирующие влияния облегчают избирательную обработку приоритетной информации (см. обзор [8]). У человека норадренергические клетки группируются в отдельных пигментированных ядрах в стволе головного мозга. Самое крупное из них – голубое пятно (ГП) – имеет длину около 15 мм и расположено рядом с четвертым желудочком [9]. ГП получает афферентную информацию от ряда подкорковых структур и, что особенно важно, нисходящие влияния от префронтальной коры. По восходящему пути ГП, в свою очередь, обеспечивает норадренергическую иннервацию таламуса и почти всех областей неокортекса. Такой характер связей обеспечивает префронтальным областям регулирующее влияние на функционирование таламуса и переднего мозга. Префронтальные области коры контролируют самые важные элементы нашего социального поведения, определяют субъективную важность стимулов, направляют произвольное внимание. В свою очередь, под влиянием выброса НА из аксонных терминалей нейронов ГП обработка информации в таламусе и обширных корковых регионах смещается в пользу приоритетных, наиболее значимых стимулов. При этом таламус организует предпочтительную обработку наиболее важной информации, координируя ритмическую нейронную активность в распределенной лобно-теменной сети [8].

Физически размер зрачка определяется взаимодействием двух мышц-антагонистов: дилатора (расширителя) и сфинктера (кольцевой мышцы) радужной оболочки глаза, иннервируемых симпатической и парасимпатической нервными системами соответственно. Важно отметить, что ГП функционирует как премоторное ядро для нейронов обеих систем, стимулируя/ингибируя

симпатические и парасимпатические преганглионарные нервные клетки, соответственно [10]. Стимуляция ГП в экспериментах на животных вызывала расширение зрачка, тогда как его торможение сужало зрачок [11]. Мышца сфинктера сильнее, чем мышца, расширяющая зрачок, что делает мышцу сфинктера радужной оболочки основным регулятором диаметра зрачка. Поскольку ГП имеет прямые тормозные проекции на парасимпатическое ядро Эдингера-Вестфала, откуда берут начало волокна, сужающие зрачок, активация ГП подавляет активность нейронов ядра Эдингера-Вестфала и тонус сужающей мышцы зрачка, что и приводит к его расширению (см. обзор [12]). Таким образом, независимые от яркости изменения диаметра зрачка являются индикатором норадренергической активности головного мозга [8].

Поскольку изображения улыбающихся лиц предполагается применять в коррекционной практике при работе с детьми, имеющими диагноз аутистического спектра, целью нашего исследования было уточнить особенности характеристик движений глаз (саккад, фиксаций взора и размеров зрачка) при предъявлении взрослым здоровым испытуемым статичных изображений нейтральных и улыбающихся лиц.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании, которое было проведено с информированного согласия испытуемых и соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации, приняли участие 29 студентов КФУ им. В. И. Вернадского в возрасте от 18 до 25 лет (10 юношей и 19 девушек). Все испытуемые были праворукими и имели нормальное или скорректированное до нормального зрение.

Во время записи движений глаз участники исследования находились в затемненной комнате и сидели в кресле. Трекинг взора выполняли с помощью бесконтактной установки RED-250. Стимулы представляли собой фотографии нейтральных и улыбающихся лиц из Амстердамского набора динамических экспрессий. Было предъявлено по четыре фотографии нейтральных и улыбающихся лиц (два мужских, два женских). Среди фотографий изображения средиземноморских и североевропейских лиц были представлены в равной степени. Время экспозиции фотографий составляло 3 с. Предъявлению каждой фотографии предшествовало фоновое изображение (красный крестик) на сером фоне (время презентации 2 с). Перед предъявлением стимулов испытуемым давалась инструкция определить, какое из выражений лиц моделей является, по их мнению, самым естественным.

Анализ движений глаз по интересующим показателям (амплитуда саккад, время пребывания взора на разных участках предлагаемых изображений, диаметр размера зрачка) проводили с использованием программы SMI BeGaze. Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета программ Statistica, версия 12. Характер распределения показателей определяли тестом Шапиро-Уилка. В случае распределения, не отличающегося от нормального, достоверность различий оценивали критерием Стьюдента для попарно связанных вариантов. Остальные подробности методики описаны ранее [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе паттернов движений глаз в процессе зрительного восприятия фотоизображений лиц установлено следующее. Рассмотрение изображений улыбающихся лиц сопровождалось саккадическими движениями глаз с несколько большей амплитудой, чем при восприятии нейтральных лиц (рис. 1). Хотя различия между этими показателями не достигали статистической значимости ($P = 0,08$), присутствует тенденция к большей амплитуде движений глаз при восприятии изображения улыбающегося лица. Можно предположить, что в условиях ограниченного времени экспозиции оценка степени естественности улыбки модели требовало от испытуемых дополнительного анализа черт лица по сравнению с оценкой нейтрального лица.

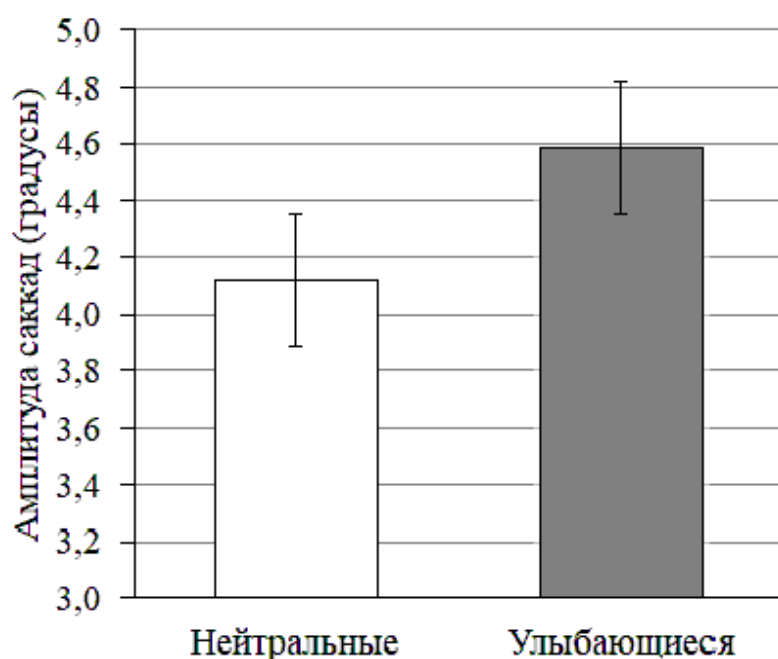


Рис. 1. Амплитуда саккадических движений глаз при восприятии фотоизображений нейтральных и улыбающихся лиц (белые и темные столбцы), соответственно. Здесь и далее представлены средние значения \pm ошибка среднего.

Для анализа устойчивых положений взгляда (моментов фиксации взора) определяли т.н. зоны интереса. Как в случае изображений лиц с нейтральным выражением, так и лиц с улыбкой, фотоизображение было разделено на две зоны интереса: глаза и рот. При восприятии улыбающихся лиц время фиксации взора было больше в области рта, а при восприятии нейтральных лиц взгляд больше

концентрировался в области глаз (рис. 2). Полученные нами результаты согласуются с результатами других исследователей [5, 14–17].

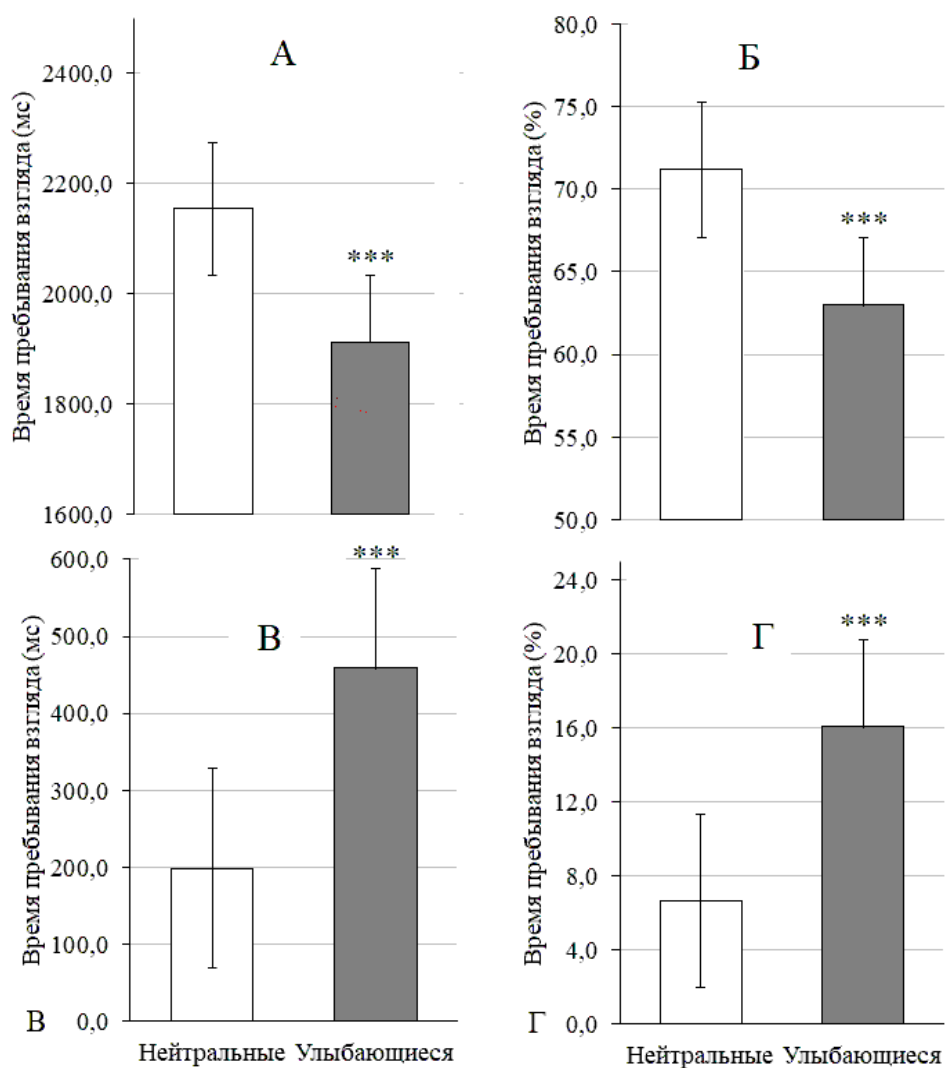


Рис. 2. Среднее время пребывания взгляда в области глаз (А, Б) и рта (В, Г) при восприятии фотоизображений нейтральных (белые столбцы) и улыбающихся лиц (темные столбцы). Звездочками отмечены достоверные различия между средними при $P \leq 0,001$.

Очевидно, при восприятии улыбающихся лиц происходит более детальная обработка информации о нижней части лица, чем при восприятии нейтральных

лицевых экспрессий. На фотоизображении улыбающихся лиц наиболее информативной частью изображения являются рот и губы. При восприятии нейтральных выражений лиц нет таких ярких мимических реакций как улыбка. Предполагают [5], что анализ невыраженных экспрессий (нейтральное выражение лица), происходит в основном за счет визуального сканирования области глаз. Также перемещение взора может захватывать и область носа, переносицы.

При восприятии фотоизображений нейтральных и улыбающихся лиц оценивался диаметр зрачков испытуемых на обоих глазах (рис. 3). Как видно из рисунка, диаметр зрачков плавно увеличивался и достигал максимального размера примерно через полторы секунды после начала презентации фотоизображений, оставаясь затем на постоянном уровне. При этом восприятие испытуемыми изображений улыбающихся лиц вызывало большее расширение зрачков обоих глаз. В определенные моменты времени различия между размером зрачков при презентации нейтральных и эмоциональных лиц достигали уровня значимости.

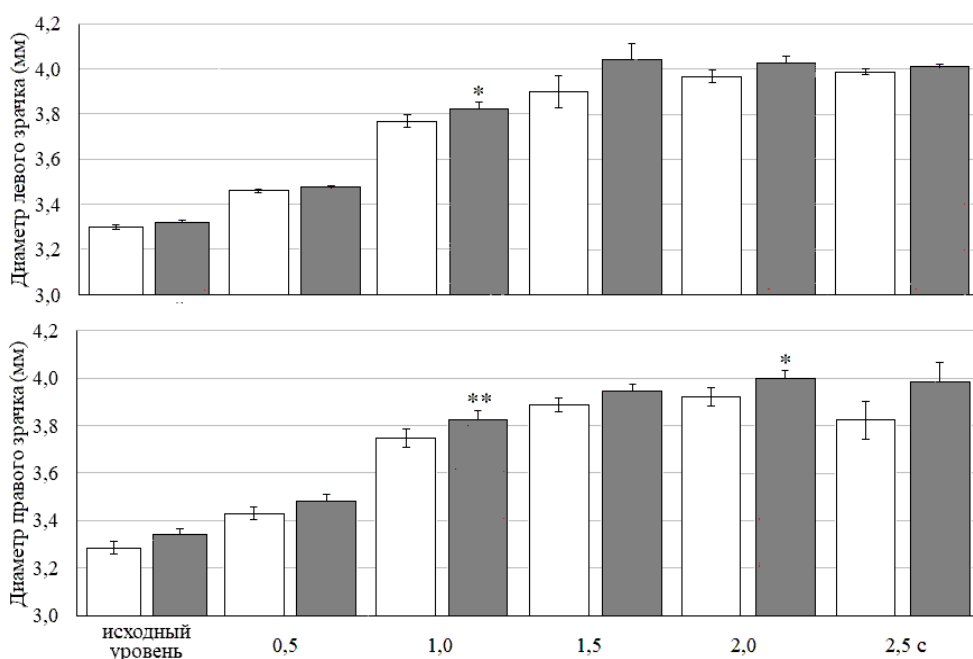


Рис. 3. Изменение диаметра зрачков левого и правого глаза в процессе презентации фотоизображений нейтральных (белые столбцы) и улыбающихся лиц (темные столбцы). Различия между средними достоверны: * – при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$.

Как отмечалось выше, расширение зрачка при восприятии изображений лиц отражает активацию норадренергической системы, что обеспечивает оптимальный уровень произвольного внимания при выполнении когнитивных задач. Испытуемым требовалось не только оценить естественность мимических реакций моделей, но и

запомнить соответствующее изображения. Значимо больший размер зрачков при оценке фотоизображений улыбающихся лиц, по сравнению с нейтральными, свидетельствует о повышенных требованиях при выполнении подобных задач и вовлечении дополнительных ресурсов ЦНС [18]. Активация ГП, о которой свидетельствует увеличение размера зрачка, облегчает избирательную обработку соответствующей информации за счет гибкой настройки локальной возбудимости коры [8]. Таким образом, восприятие эмоциональной лицевой экспрессии в виде улыбки в условиях нашей экспериментальной ситуации требует от испытуемых повышенных когнитивных усилий, индикатором которых является размер зрачка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что при восприятии изображений улыбающихся и нейтральных лиц у взрослых здоровых испытуемых формируется специфический паттерн глазодвигательных реакций. Предъявление изображения улыбающегося лица выявило тенденцию к большей амплитуде саккадических движений глаз, а также к значимо более продолжительной фиксации взора на нижней части лица, чем при предъявлении лиц с нейтральным выражением. Диаметр зрачков испытуемых был больше при восприятии эмоциональных лиц, что свидетельствует о дополнительной активации норадренергической системы.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского».

Список литературы

1. Omer Y. What Is a Face? Critical Features for Face Detection / Y. Omer, R. Sapiro, Y. Hatuka, G. Yovel // Perception. – 2019. – Vol. 48. – P. 437–446.
2. Eye pupil – a window into central autonomic regulation via emotional/cognitive processing / N. Ferencová, Z. Višňovcová, L. Bona Olexová, I. Tönhajzerová // Physiol. Res. – 2021. – Vol. 70 (Supp 14). – P. 669–682.
3. Павленко Д. В. Нейрофизиологические механизмы восприятия лицевой экспрессии и их особенности при расстройствах аутистического спектра / Д. В. Павленко, Е. Н. Чуян, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 160–179.
4. Барабанщиков В. А. Восприятие и событие / В. А. Барабанщиков – Санкт-Петербург : Алетейя, 2002. – 512 с.
5. Барабанщиков В. А. Системность. Восприятие. Общение / В. А. Барабанщиков, В. Н. Носуленко. – Москва : Институт психологии РАН, 2004. – 480 с.
6. Bradley M. M. The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation / M. M. Bradley, L. Miccoli, M. A. Escrig, P. J. Lang // Psychophysiology. – 2008. – Vol. 45, No 4. – P. 602–607.
7. Gilzenrat M. S. Pupil diameter tracks changes in control state predicted by the adaptive gain theory of locus coeruleus function / M. S. Gilzenrat, S. Nieuwenhuis, M. Jepma, J. D. Cohen // Cogn. Affect. Behav. Neurosci. – 2010. – Vol. 10, No 2. – P. 252–269.
8. Dahl M. J. Noradrenergic modulation of rhythmic neural activity shapes selective attention / M. J. Dahl, M. Mather, M. Werkle-Bergner // Trends Cogn. Sci. – 2022. – Vol. 26, No 1. – P. 38–52.
9. Fernandes P. The human locus coeruleus 3-D stereotactic anatomy / P. Fernandes, J. Regala, F. Correia, A. J. Gonçalves-Ferreira // Surg. Radiol. Anat. – 2012. – Vol. 34, No 10. – P. 879–885.

10. Joshi S. Pupil size as a window on neural substrates of cognition / S. Joshi, J. I. Gold // Trends Cogn. Sci. – 2020. – Vol. 24. – P. 466–480.
11. Breton-Provencher V. Active control of arousal by a locus coeruleus GABAergic circuit / V. Breton-Provencher, M. Sur // Nat. Neurosci. – 2019. – Vol. 22. – P. 218–228.
12. Larsen R. S. Neuromodulatory Correlates of Pupil Dilation / R. S. Larsen, J. Waters // Front. Neural Circuits. – 2018. – Vol. 12. – P. 21.
13. Динамика ритмов ЭЭГ при восприятии нейтральных и улыбающихся лиц / Д. В. Павленко, Е. Н. Чуян, А. А. Михайлова [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7, № 4. – С. 134–143.
14. Барабанщиков В. А. Восприятие индивидуально-психологических особенностей человека по изображению целого и частично открытого лица / В. А. Барабанщиков // Экспериментальная психология. – 2008. – Т. 1, № 1. – С. 62–83.
15. Malcolm G. L. Scan patterns during the processing of facial expression versus identity: An exploration of task driven and stimulus-driven effects / G. L. Malcolm, L. J. Lanyon, A. J. B. Fugard // Journal of vision – 2008. – Vol. 8, No 2. – P. 1–9.
16. Барабанщиков В. А. Айттрекинг: Методы регистрации движений глаз в психологических исследованиях и практике / В. А. Барабанщиков, А. В. Жегалло. – Москва : Когито-Центр, 2014. – 128 с.
17. Барабанщиков В. А. Динамика зрительного процесса и саккадические движения глаз / В. А. Барабанщиков // Психологический журнал. – 2018. – Т. 39, № 1. – С. 46–56
18. Wel P. Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review / P. Wel, H. Steenbergen // Psychon. Bull. Rev. – 2018. – Vol. 25, No 6. – P. 2005–2015.

EYE MOVEMENTS IN THE PERCEPTION OF NEUTRAL AND SMILING FACES

Pavlenko D. V., Chuyan E. N., Mikhailova A. A., Aleksandrova S. V., Pavlenko V. B.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: vpav55@gmail.com*

Currently, researchers are developing new methods for diagnosing and correcting developmental disorders in children. The presentation of various emotional images may be promising for the correction of autism spectrum disorders. Thus, the analysis of patterns of eye movements during the perception of faces is especially relevant. Until now, not enough is known about eye movements and changes in pupil size when perceiving smiling faces. A number of researchers have found that brightness-independent changes in pupil diameter are an indicator of noradrenergic activity in the brain. The aim of our study was to clarify the characteristics of eye movements when healthy adults were presented with static images of neutral and smiling faces. The study involved 29 students aged 18 to 25 years (10 boys and 19 girls). All subjects were right-handed and had normal or corrected to normal vision. During the recording of eye movements, study participants were in a darkened room and sat in a chair. Gaze tracking was performed using a RED-250 non-contact device. The stimuli were photographs of neutral and smiling faces from the Amsterdam set of dynamic expressions. Four photographs of neutral and smiling faces were presented (two male, two female). The presentation of each photo was preceded by a background image (red cross) on a gray background. Before presenting the stimuli, the subjects were instructed

to determine which of the facial expressions of the models was, in their opinion, the most natural. Eye movements were analyzed according to parameters of interest (saccade amplitude, gaze dwell time in different parts of the proposed images, pupil size diameter) using the SMI BeGaze software. We found that when perceiving images of smiling and neutral faces, the study participants formed a pattern of oculomotor reactions specific to each of the situations. Upon presentation of images of smiling faces, a tendency to a greater amplitude of saccadic eye movements was revealed. We also confirmed that in this case, the subjects fix their gaze on the lower part of the face for a longer time, compared with the presentation of faces with a neutral expression. The diameter of the pupils of the subjects was larger when perceiving emotional faces, which indicates additional activation of the noradrenergic system.

Keywords: facial expression, eye tracking, pupil diameter.

References

1. Omer Y., Sapir R., Hatuka Y. and Yovel G. What Is a Face? Critical Features for Face Detection, *Perception*, **48**, 437 (2019).
2. Ferencová N., Višňovcová Z., Bona Olexová L. and Tonhajzerová I. Eye pupil – a window into central autonomic regulation via emotional/cognitive processing, *Physiol Res.*, **70**, 669 (2021).
3. Pavlenko D. V., Chuyan E. N. and Pavlenko V. B. Neurophysiological mechanisms of facial expression perception and their features in autistic spectrum disorders, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7**, 160 (2021).
4. Barabanshikov V. A. *Perception and event* (St. Petersburg, Aletheya Publishing House, 2002).
5. Barabanshikov V. A., Nosulenko V. N. *Consistency. Perception. Communication* (Moscow, Institute of Psychology RAS, 2004).
6. Bradley M. M., Miccoli L., Escrig M. A. and Lang P. J. The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation, *Psychophysiology*, **45**, 602 (2008).
7. Gilzenrat M. S., Nieuwenhuis S., Jepma M., and Cohen J. D. Pupil diameter tracks changes in control state predicted by the adaptive gain theory of locus coeruleus function, *Cogn Affect Behav Neurosci.*, **10**, 252 (2010).
8. Dahl M. J., Mather M. and Werkle-Bergner M. Noradrenergic modulation of rhythmic neural activity shapes selective attention, *Trends Cogn Sci.*, **26**, 38 (2022).
9. Fernandes P., Regala J., Correia F. and Gonçalves-Ferreira A. J. The human locus coeruleus 3-D stereotactic anatomy, *Surg Radiol Anat.*, **34**, 879 (2012).
10. Joshi S. and Gold J. I. Pupil size as a window on neural substrates of cognition, *Trends Cogn. Sci.*, **24**, 466 (2020).
11. Breton-Provencher V. and Sur M. Active control of arousal by a locus coeruleus GABAergic circuit. *Nat. Neurosci.*, **22**, 218 (2019).
12. Larsen R. S., Waters J. Neuromodulatory Correlates of Pupil Dilation, *Front Neural Circuits.*, **12**, 21 (2018).
13. Pavlenko D. V., Chuyan E. N., Mikhailova A. A., Alexandrova S. E., Alexandrova S. V., Batievskaya A. V. and Pavlenko V. B. EEG oscillation patterns when observing neutral and smiling faces, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7**, 134 (2021).
14. Barabanshikov V. A. Perception of Person's Individual Psychological Features Based on a Whole or Partially Occluded Face Image, *Experimental Psychology (Russia)*, **1**, 62 (2008).
15. Malcolm G. L., Lanyon L. J., Fugard A. J. B. and Barton J. J. S. Scan patterns during the processing of facial expression versus identity: An exploration of task driven and stimulus-driven effects, *J. of Vision*, **8**, 1 (2008).
16. Barabanshikov V. A., Zhegallo A. V. *Eyetracking: Methods for registering eye movements in psychological research and practice* (Moscow, Kogito-Center Publishing House, 2014).
17. Barabanshikov V. A. Dynamics of visual process and saccadic eye movements, *Psikhologicheskii zhurnal*, **39**, 46 (2018).
18. Wel P. and Steenbergen H. Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review, *Psychon Bull Rev.*, **25**, 2005 (2018).