

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 30.09.2020 Г.

## **РАННИЙ ВИЗУАЛЬНЫЙ ОПЫТ И ЕГО РОЛЬ В РАЗВИТИИ РЕБЕНКА**

## **EARLY VISUAL EXPERIENCE AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF A CHILD**

Рюмина И.И.<sup>1</sup>, Кухарцева М.В.<sup>1</sup>, Нароган М.В.<sup>1,2</sup>, Боровиков П.И.<sup>1</sup>, Лагутин В.В.<sup>1</sup>, Whiteley I.

1. ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 117997, Москва, РФ
2. Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, 119991, Москва, РФ

Для корреспонденции:

1. Рюмина Ирина Ивановна E-mail: [i\\_ryumina@oparina4.ru](mailto:i_ryumina@oparina4.ru), [i.ryumina@mail.ru](mailto:i.ryumina@mail.ru)
2. Кухарцева Марина Вячеславовна E-mail: [m\\_kukhartseva@oparina4.ru](mailto:m_kukhartseva@oparina4.ru) ;  
[kolibry90@list.ru](mailto:kolibry90@list.ru)

### **Сведения об авторах:**

**Рюмина Ирина Ивановна (Ryumina Irina I.)** – Рюмина Ирина Ивановна, д.м.н., руководитель отделения патологии новорожденных и недоношенных детей НМИЦ АГП им. академика В.И. Кулакова Минздрава России.

- Телефон: .
- E-mail: [i\\_ryumina@oparina4.ru](mailto:i_ryumina@oparina4.ru), [i.ryumina@mail.ru](mailto:i.ryumina@mail.ru)
- ORCID [0000-0003-1831-887X](https://orcid.org/0000-0003-1831-887X)
- Адрес: Россия, 117997, Москва, ул. акад. Опарина, 4;

**Ryumina Irina I.**, MD, head of the department of pathology of newborns and premature babies National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov

Степень участия: Общее руководство, написание статьи

**Кухарцева Марина Вячеславовна (Kukhartseva Marina V.)** – врач-неонатолог, научный сотрудник отделения патологии новорожденных и недоношенных детей Института неонатологии и педиатрии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова» Минздрава России, Москва, Россия

- Тел.:
- E-mail: [m\\_kukhartseva@oparina4.ru](mailto:m_kukhartseva@oparina4.ru) ; [kolibry90@list.ru](mailto:kolibry90@list.ru)

- ORCID 0000-0002-4916-9531
- Адрес: Россия, 117997, Москва, ул. акад. Опарина, 4;

**Kukhartseva Marina V.** – neonatologist, Researcher at the Department of Pathology of Newborns and Premature Babies of the National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov

Степень участия: Написание и оформление статьи, сбор информации, автор иллюстративного материала.

**Нароган Марина Викторовна (Narogan Marina V.)** – д.м.н., ведущий научный сотрудник отделения патологии новорожденных и недоношенных детей НМИЦ АГП им. акад. В.И. Кулакова МЗ РФ, проф. каф. неонатологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский Университет)

- Тел.:
- E-mail: [m\\_narogan@oparina4.ru](mailto:m_narogan@oparina4.ru)
- ORCID 0000-0002-3160-905X
- Адрес: Россия, 117997, Москва, ул. акад. Опарина, 4; 119991, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2

**Narogan Marina V.** - MD, leading Researcher of the Department of Pathology of Newborns and Premature Babies National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov, prof. department neonatology Sechenov University.

Степень участия: Научное редактирование статьи

**Боровиков Павел Игоревич (Borovikov Pavel I.)** – кандидат математических наук, заведующий лабораторией биоинформатики ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова» Минздрава России, Москва, Россия

- Телефон:
- E-mail: [p\\_borovikov@oparina4.ru](mailto:p_borovikov@oparina4.ru)
- ORCID [0000-0003-4880-7500](https://orcid.org/0000-0003-4880-7500)
- Адрес: Россия, 117997, Москва, ул. акад. Опарина, 4;

**Borovikov Pavel (Borovikov Pavel I.)** - PhD in Mathematical Sciences, head of the department of bioinformatics laboratory National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov

Степень участия: Научное консультирование

**Лагутин Вадим Владимирович (Lagutin Vadim V.)** - научный сотрудник лаборатории биоинформатики ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И.Кулакова" Минздрава России, Москва, Россия.

- Тел.:
- E-mail: [laggi@mail.ru](mailto:laggi@mail.ru)
- ORCID 0000-0001-7536-0631
- Адрес: Россия, 117997, Москва, ул. акад. Опарина, 4;

**Lagutin Vadim V.** – Researcher of Laboratory of Bioinformatics, Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov"

Степень участия: Научный консультант по IT технологиям

**Ия Уайтли (Iya Whiteley)** – главный научный сотрудник, директор центра космической медицины, кафедра физики космоса и климата, факультет математики и физических наук, Университетский колледж Лондона, Великобритания

- Тел.:
- E-mail: [i.whiteley@ucl.ac.uk](mailto:i.whiteley@ucl.ac.uk)
- ORCID 0000-0002-1035-2857
- Адрес: Великобритания, Лондон, Gower Street, WC1E 6BT

**Iya Whiteley** – Principal Research Associate, Director of the Center for Space Medicine Dept of Space & Climate Physics Faculty of Maths & Physical Sciences, University College London.

Степень участия: Научный консультант по клинической психологии, бихевиористике, космической психологии.

## **Аннотация (резюме).**

Функция зрительного анализатора играет одну из ведущих ролей в развитии ребенка. С первых дней жизни ребенка зрение тесно связывается с осязанием, слухом, обонянием и другими видами чувствительности. В результате образуются сложные динамические системы связей, являющиеся чувственной основой всей психической деятельности и ориентации ребенка в пространстве.

Понимание процессов и создание оптимальных условий для раннего нейросенсорного развития, имеет важное значение как для ухода за здоровым новорожденным и ребенком раннего возраста, так и для организации развивающего ухода за недоношенными и больными детьми в условиях стационара.

Новорожденный способен распознавать контрастные изображения (лица и глаза), которые имеют округлые формы, и которые легче наблюдать, так как его глазные мышцы ещё не имеют большой практики при совершении резких движений. Зрительный аппарат недоношенного новорожденного имеет дополнительные ограничения функции и точки уязвимости.

В статье рассматриваются аспекты визуальной системы в периоде новорожденности, с более детальным разбором особенностей связанных с недоношенностью, описываются механизмы объясняющие негативное влияние на процессы визуального развития интенсивного прямого света, отсутствия объектов и узоров в фокусе, недостатка внимания (например, седативный эффект), отсутствия изменений в окружающей среде, недостатка движения, полной темноты или отсутствия достаточного освещения при пробуждении.

Длительный период выхаживания недоношенного ребенка в стационаре в отделении реанимации и интенсивной терапии, в условиях микроклимата инкубатора с соблюдением охранительного режима, невозможность полноценного материнского ухода, а значит отсутствие сенситивных стимулов, приходится на самый важный период развития нервной системы. Именно в этом возрасте очень важно адекватное и своевременное начало нейросенсорного развития, в связи с чем возрастает необходимость исследований, позволяющих определить оптимальные сроки начала и методологию раннего развивающего ухода.

The function of the visual analyzer plays one of the leading roles in the development of the child. From the first days of a child's life, vision is closely associated with touch, hearing, smell and other types of sensitivity. As a result, complex dynamic systems of connections are formed, which are the sensory basis of all mental activity and orientation of the child in space.

Understanding the processes and creating optimal conditions for early neuro-sensory development is important both for caring for a healthy newborn and young child, and for organizing developmental care for premature and sick children in a hospital setting.

The newborn is able to recognize contrasting images (faces and eyes), which are rounded and easier to observe, since their eye muscles have not yet had much practice in making sudden movements. The visual apparatus of a premature newborn has additional functional limitations and points of vulnerability.

The article discusses aspects of the visual system in the neonatal period, with a more detailed analysis of the features associated with prematurity, describes the mechanisms explaining the negative impact on the processes of visual development of intense direct light, the absence of objects and patterns in focus, lack of attention (for example, sedation), lack of changes in the environment, lack of movement, complete darkness, or lack of adequate lighting on waking.

A long period of nursing a premature baby in a hospital in the intensive care unit, in an incubator microclimate in compliance with a protective regime, the impossibility of full maternal care, and therefore in the absence of sensitive stimuli, falls on the most important period of the development of the nervous system. It is at this age that an adequate and timely start of neurosensory development is very important, in connection with which the need for research is increasing to determine the optimal start dates and methodology for early developmental care.

**Ключевые слова** Новорожденный, недоношенный, недоношенность, визуальная система, зрение, нейросенситивное развитие, психо-неврологическое развитие, развивающий уход, выхаживание новорожденных.

Newborn, preterm, prematurity, visual system, vision, neurosensitive development, psycho-neurological development, developmental care, newborn nursing.

### **Введение.**

На протяжении последних десятилетий, благодаря совершенствованию и активному внедрению технологий выхаживания новорожденных в клиническую практику, показатели младенческой смертности неуклонно снижаются, в том числе и среди глубоко недоношенных детей [2]. Данное обстоятельство ставит перед неонатологами новые вопросы, когда помимо терапии жизнеугрожающих состояний, становятся так же важны и

отдаленные результаты выхаживания, показатели когнитивного развития, уровень качества жизни детей по мере взросления.

Функция зрительного анализатора играет одну из ведущих ролей в развитии ребенка. С первых дней жизни ребенка зрение тесно связывается с осязанием, слухом, обонянием и другими видами чувствительности. В результате образуются сложные динамические системы связей, являющиеся чувственной основой всей психической деятельности и ориентации ребенка в пространстве.

После рождения здоровый доношенный ребенок способен видеть при адекватном освещении и расстоянии линии, узоры, движения и свет различной интенсивности, к 2-м месяцам жизни способен различать контрастные цвета. Визуальный опыт необходим для дальнейшего развития зрительной системы, прежде всего, зрительной коры. Вновь образованные нейронные связи в случае регулярной стимуляции, сохраняются и совершенствуются относительно скорости и качества передачи сигнала, в случае редкой стимуляции - атрофируются и исчезают. Недоношенный ребенок не полностью проходит весь период внутриутробного развития в среде, уникально предназначенной для защиты, роста и развития плода. Родившийся недоношенный ребенок подвергается большому количеству неблагоприятных воздействий окружающей среды. Чрезмерно сильные внешние раздражители, а также некоторые лекарственные препараты, нарушающие синаптическую передачу, прерывающие щелевидные соединения, могут привести к нарушениям нейросенсорного развития. Известно, что яркий свет, высокий уровень шума, боль, депривация сна, а также длительная седация неблагоприятно влияют на организм недоношенного ребенка, и уменьшение влияния этих факторов лежит в основе охранительного режима. Однако в определенный момент, который зависит от постконцептуального возраста (ПКВ) и состояния здоровья, становится необходимым воздействие на органы чувств ребенка, так как от этого зависит его дальнейшее развитие. Понимание процессов и создание оптимальных условий для раннего нейросенсорного развития, имеет важное значение, как для ухода за здоровым новорожденным и ребенком раннего возраста, так и для организации развивающего ухода за недоношенными и больными детьми в условиях стационара [3,4].

#### **Основной текст.**

Полное формирование зрительной функции влияет на темпы и уровень когнитивного развития, а также моторного развития, и позволяет прогнозировать отсутствие задержки в

формировании моторных навыков к концу первого года жизни [5, 6]. Уже к 4 месяцам жизни ребенок может сопоставлять визуальную информацию с аудио данными из беглой речи людей, даже говорящих на разных языках, с разной просодией и разных языковых групп. [7] При сравнении зрительных функций в группах недоношенных детей с поражением ЦНС и без, разница составляла почти 30% и регистрировалась с первых недель жизни [8, 9]. Авторы подчеркивают необходимость не только ранней диагностики, но и максимально ранний старт программ нейросенсорного развития, при чем не только в условиях стационара, но и в рамках обычной жизни ребенка в семье. Наиболее эффективными являются визуальные и тактильные стимулы - лица родителей, их руки, которые укрепляют внутрисемейные общение и контакт с ребенком с первых дней его жизни.

Идентификация ранних нарушений зрения имеет важное значение, поскольку, увеличение частоты рефракционных ошибок, косоглазие и нарушения зрения центрального генеза оказывают значительное влияние на другие аспекты развития, включая психологические и образовательные [10, 11], в частности, оценка состояния зрительной системы является надежным индикатором неврологического статуса и развития головного мозга, особенно у недоношенных детей [12, 13].

Развитие зрительной системы идет по двум направлениям. Первое включает в себя развитие нейронов для обеспечения контраста, цвета, ориентации и направления движения, размера и глубины изображения (парвоцеллюлярный путь); второе - формирование механизмов, контролирующего движение глаз, что необходимо для предметного восприятия мира и привлечения внимания к тому или иному объекту (магноцеллюлярный путь). К 2-4 месяцам жизни происходит морфологическое и функциональное развитие черепных нервов, формируется центральная ямка сетчатки (позже из десяти слоев остаются, в основном, четыре (пигментный эпителий, фоторецепторы, ядра первого нейрона и пограничные мембраны); позже в центре центральной ямки сетчатки формируется ямочка, содержащая только колбочки, место, обеспечивающее наибольшую остроту зрения, идет образование новых нейрональных связей в рамках формирования зрительных путей, с постепенным увеличением функциональной нагрузки [14]. Дальнейшее совершенствование зрительных клеточных элементов коры и корковых зрительных центров продолжают наиболее активно до 2 лет жизни.

Анатомия человеческого глаза известна достаточно давно, и подробно описана в литературе [4, 15]. Для нормального роста и развития глазных структур внутриутробно не требуется стимуляция светом и нагрузка визуальной функции, так как формирование глаза

детерминировано генетическими факторами. Тем не менее, последующее развитие функции глаза зависит от визуального опыта.

Основная функция радужной оболочки - регулировать уровень света, попадающего в глаза. В функцию век также входит ограничение светового воздействия на глаза. Внутриутробно плод не подвергается воздействию света, поэтому, данная функция начинает формироваться достаточно поздно - к рождению ребенка. Примерно, до 32 недели недоношенный ребенок практически не имеет возможности ограничивать проникновение света в глаза, это обусловлено очень тонкими веками и отсутствием зрачкового рефлекса, который начинает появляться в виде слабых переменных реакций в ответ на световой раздражитель в возрасте от 32 до 34 недель [13].

Основным механизмом адаптации к дневному и ночному видению является двойная рецепторная система: 1 - фотопическая, использующая фоторецепторы колбочки 3-х типов (красный, зеленый и синий), предназначена для дневного света; 2 - скотопическая, использующая фоторецепторы палочки, предназначена для ночного видения. По мере роста плода и новорожденного ребенка растут все структуры органа зрения, в том числе и сетчатка, при этом палочки мигрируют на периферию, а колбочки в центральную область сетчатки, и этот процесс не связан со световыми или зрительными стимулами [16–18]. Таким образом, из-за увеличения глаза в размерах и площади сетчатки, плотность клеток на периферии уменьшается и остается плотной в центре [19]. От фоторецепторов через определенную сложную клеточную сеть сигналы передаются на ганглиозные клетки сетчатки – нейроны сетчатки, генерирующие дальнейшие нервные импульсы. Аксоны ганглиозных клеток собираются в зрительный нерв и направляются в головной мозг, пересекаясь в зрительном перекресте (хиазме).

Зрительные, слуховые, тактильные и другие стимулы в головном мозге обеспечивают восприятие пространства и ориентацию в нем, благодаря образованию больших рецептивных полей из нейронов головного мозга со сложной системой кодирования, которая способствует точной локализации получаемых сенсорных стимулов [17–24].

Первичная зрительная кора состоит из нейронов, которые образовались в зародышевом матриксе в центральной части мозга. Эти клетки мигрируют вверх по отросткам глиальных клеток к затылочной коре, согласно генетической детерминанте. Нейроны первичной зрительной коры образуют связи друг с другом, и с нейронами, расположенными в других зонах мозга (затылочной, теменной, височной и лобной долями) [25]. Эти связи развиваются в результате значимого визуального опыта, их формирование является очень важным процессом, который начинается с момента рождения и длится до



достижения возраста 5–6 лет, причем наибольшее количество первичных связей, а так же минимальных поведенческих паттернов возникает именно в первые месяцы жизни [25, 26].

При рождении отмечается ряд безусловных зрительных рефлексов - прямая и содружественная реакция зрачков на свет, кратковременный ориентировочный рефлекс поворота обоих глаз и головы к источнику света, попытка слежения за движущимся объектом. На 2-3-й неделе жизни формируются и совершенствуются функции предметного, контрастного и пространственного зрения. На 2-3-м месяце жизни появляется форменное центральное зрение, которое постепенно совершенствуется - от способности обнаруживать предмет до способности его распознавать. В возрасте 2-6 месяцев совершенствуется способность дифференцировать цвет. Различение цветов начинается, прежде всего, с восприятия красного цвета, возможность же распознавать цвета коротковолновой части спектра (зеленый, синий) появляется позже. У новорожденного ребенка есть механизм бинокулярной фиксации объекта, как основа развития бинокулярного зрения, но способность к бинокулярному зрению, то есть сливать два монокулярных изображения в единый зрительный образ, появляется только к 2-м месяцам жизни.

Отсутствие дифференцировки макулярной зоны у новорожденных и незрелость всего зрительного анализатора, несовершенство аккомодации не позволяет новорожденному четко видеть картину, он различает лишь контрасты, основным контрастом, который он видит является лицо матери [28, 29]. Valenza E. и соавторы (1996) установили, что новорожденные дети предпочитают похожие на лицо стимулы [30]. В первые недели жизни ребенок запоминает лишь определённую последовательность контрастов материнского лица, а с возраста 7-8 месяцев жизни он способен к более точному анализу и восприятию, и может отличать лица разных людей со схожим расположением контрастов [31].

В одном из последних исследований показан положительный эффект грудного вскармливания, обеспечивающего постоянство контакта матери и ребенка, на формирование контрастности и остроты зрения ребенка в целом [32]. Грудное вскармливание также важно для формирования координации зрения и движений, которая начинается на первых месяцах жизни, например, хватание или избирательность в реакции, когда ребенок улыбается в основном при виде матери или знакомых близких людей, осуществляющих за ним уход и вызывающие положительные эмоции [32]. Полученные данные подтверждают теорию Жана Пиаже о том, что высокая степень сенсомоторного развития необходима задолго до появления абстрактного интеллекта и возможности развивать когнитивные способности [33, 34].

Удержание внимания новорожденных при визуальной стимуляции с помощью черно-белых изображений может увеличиться от нескольких секунд до полутора минут

всего за одну неделю. Более длительное удержание внимания обеспечивается более длительным обучением и отсутствием отвлекающих звуковых стимулов, особенно знакомых голосов людей, ухаживающих за ребенком. Ребенок будет изучать окружающую среду и лучше усваивать информацию, создавая новые нейронные пути и укрепляя уже установленные [35]. Таким образом, далеко не всегда аудиальное сопровождение показа предметов на самом раннем этапе обучения, способствует лучшему результату в контексте визуального опыта и становления зрительной функции, поскольку звуковые стимулы более конкурентно способны по сравнению с визуальными, а черно-белые визуальные стимулы предпочтительнее цветных за счет более высокого контраста [36].

Как правило, в неонатальном периоде младенцы могут видеть только объекты на расстоянии их вытянутых рук, а затем каждую неделю они начинают видеть все дальше и дальше [14]. К концу первого-началу второго года, когда дети уже могут ходить, их зрение хорошо развито, чтобы обеспечивать изучение мира в целом.

У недоношенных детей без тяжелой ретинопатии, и церебральной патологии, при достижении постконцептуального возраста доношенности (39-40 недель) острота зрения и стереовосприятие не отличается от таковых функций у доношенных новорожденных, однако отмечаются пониженная контрастная чувствительность. Патология цветового зрения у недоношенных детей свидетельствует о нарушении функции колбочек сетчатки, а снижение контрастной чувствительности может быть объяснено меньшим количеством функционирующих палочек [37]. В исследованиях E. Tremblay и P. Vannasing (2014) у недоношенных детей по сравнению с доношенными, отмечалась некоторая задержка зрительного развития в виде нарушения формирования магноцеллюлярного пути, которая в целом, частично или полностью нивелировалась к возрасту 12 месяцев, когда регистрировалась аномальная активация этого пути [38]. Возможно с этим связан более высокий риск развития дефицита внимания, зрительно-перцептивных и зрительно-пространственных нарушений в школьном возрасте у недоношенных детей, и эти проблемы в свою очередь, могут влиять на когнитивное развитие независимо от наличия очаговых поражений головного мозга [39].

По мере того, как у ребенка развивается возможность контролировать движения глаз в первые 6 месяцев постнатального развития, его способность направлять избирательное внимание эффективным и функциональным образом для поддержки зрительного восприятия улучшается, благодаря чему объем визуальной рабочей памяти резко увеличивается. Точно так же, поскольку перцепционная чувствительность значительно увеличивается в этом же возрастном диапазоне, входные данные, доступные младенцу для обработки, значительно расширяются. В возрасте от 6 до 13 месяцев у детей отмечается

устойчивое увеличение объема зрительной рабочей памяти. В этом возрастном диапазоне младенцы также демонстрируют повышенную способность связывать предметы и места. Увеличение объема визуальной рабочей памяти продолжается в раннем детстве в сочетании с повышением точности визуальной рабочей памяти для пространственной и физической информации [40–43].

Koiker M.J. с соавторами (2019) оценивают риск развития нарушений стерео восприятия визуальных стимулов и нарушений обработки соответствующей информации у детей, рожденных в возрасте от 26 до 32 недель, как умеренный (8–23%), что требует раннего наблюдения и поддержки общего зрительного развития у недоношенных детей с дыхательными нарушениями и нарушениями мозгового кровотока [44].

Процессы развития зрения после рождения находятся под влиянием активного использования визуальной функции, благодаря чему формируются определенные паттерны. Нервные стимулы, необходимые для отладки процессов, зависящих от активности центральной нервной системы, происходят из двух источников. Первый тип стимулов является эндогенным, возникающим из потенциалов действия, создаваемых отдельными нейронами, не связанными с внешней стимуляцией. Самопроизвольная эндогенная нейронная активность возникает во многих частях головного мозга. Целью такой деятельности является формирование исходных незрелых топографических и функциональных связей, необходимых как основа для последующего усовершенствования, и подготовка систем для более специфической стимуляции, связанной с активной деятельностью. Эти процессы необходимы для любого нейросенсорного развития, включая осязание, проприоцепцию - ощущение положения частей собственного тела относительно друг друга и в пространстве, движение, обоняние, слух и зрение. Эти последовательные и спонтанные волны стимуляции являются вторым шагом в построении нейросенсорных систем в целом и зрительной системы в частности [15, 45].

Эндогенная стимуляция начинается в единичных ганглиозных клетках, которые самопроизвольно генерируют первичный сигнал. Достаточно быстро такие сигналы становятся множественными, содружественными и трансформируются в синхронные волны возбуждения, движущиеся через сетчатку, которые, в свою очередь, стимулируют клетки ядер латеральных колленчатых тел (ЯЛКТ). В результате нейроны ЯЛКТ мигрируют в один из шести слоев, меняя профиль клеток от многообразия к единообразию, в результате клетки ЯЛКТ копируют топографическую картину ганглиозных клеток сетчатки. Таким образом, каждое ЯЛКТ формирует топографическую карту поля зрения одного полушария. Без эндогенной стимуляции регуляция клеток в ЯЛКТ является лишь приблизительным отражением топографии клеток сетчатки [45].

Нарушения эндогенной стимуляции могут привести к серьезным нарушениям в развитии нейросоединений, за счет отсутствия специализации клеток, процессов их миграции, несмотря на отсутствие органического поражения тканей мозга.

Сенсорная информация из экзогенных (вне мозга) источников является вторым процессом, необходимым для развития нервной системы и зрения. Зрительный анализатор плода становится готов к стимуляции светом и формированию визуального опыта с 37-38 недель гестации, что объясняется отсутствием потребности плода в освещении до момента рождения. Недоношенному новорожденному ребенку свет необходим преимущественно для регуляции биологических часов, в то время как зрительный анализатор доношенного ребенка уже имеет функционирующие зрительные рецепторы (палочки и колбочки) и сформированный зрительный путь к зрительной коре, пусть пока еще без полного функционального разделения по типу сигнала [27].

Таким образом, три типа процессов необходимы для нейросенсорного развития зрительной системы: генетически детерминируемые процессы, эндогенные процессы спонтанной стимуляции и экзогенная стимуляция зрительного и других сенсорных анализаторов. Все это происходит в течение критически важного периода нейронной пластичности в процессе нейросенсорного развития, который начинается во второй половине второго триместра беременности и длится первые 2-3 года жизни [45].

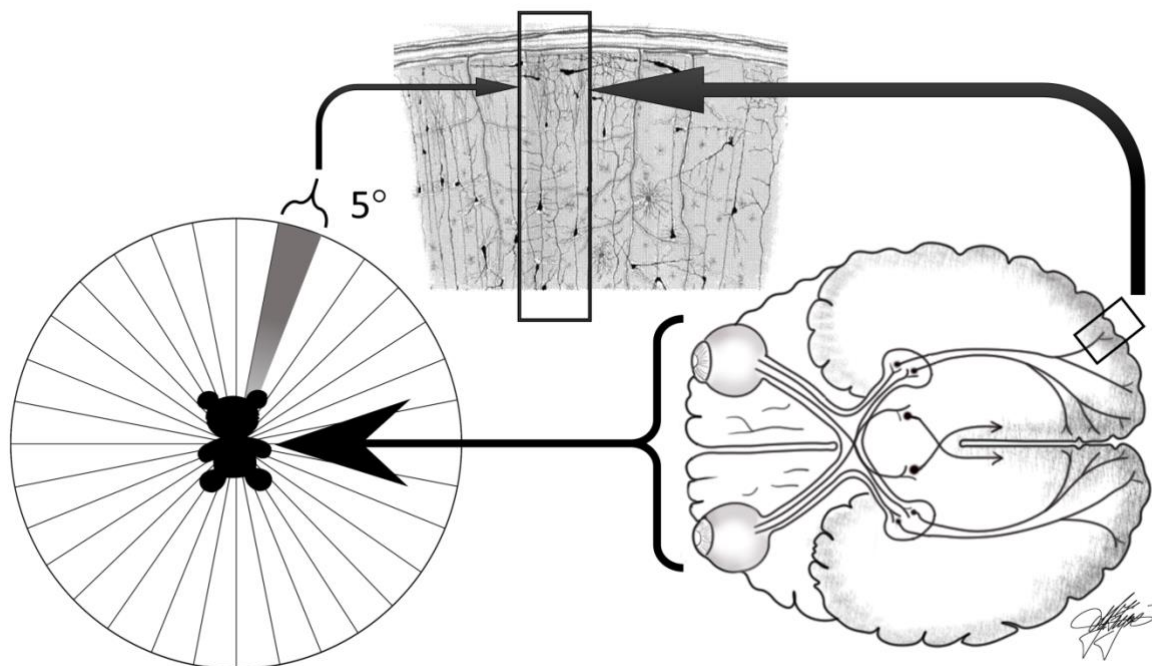
Риск подавления или нарушения необходимых нейронных процессов или фаз для здорового зрительного развития очень значителен и потенциально сохраняется всю жизнь. Синхронные волны возбуждения ганглиозных клеток сетчатки должны происходить в конце второго и большей части третьего триместра развития плода. Более точные временные рамки не известны, но этот процесс предшествует созреванию и активации фоторецепторов. Волны возбуждения клеток сетчатки отмечаются еще до структурирования и организации сна в период сегрегации сетчатки от аксонов ЯЛКТ (примерно, 22 недели гестации) и сохраняются до момента созревания фоторецепторов и возможности получения визуальных данных – 40 недель гестации. По мере появления зачатков структуры сна (от 28 до 30 недель гестации) эти волны возбуждения клеток сетчатки постепенно смещаются ближе по времени к периодам быстрого сна. Использование атихолинергических и препаратов, угнетающих ЦНС, употребление алкоголя, никотина, непрерывные сильные конкурирующие стимулы, нарушения фазы быстрого сна – подавляют нормальную генерацию синхронных волн возбуждения клеток сетчатки [46].

Все факторы, которые подавляют или нарушают формирование, или прохождение синхронных волн возбуждения, будут оказывать аналогичное влияние на спонтанную

активацию ганглиозных клеток сетчатки. Особенно сильно подавляет и нарушает эту фазу эндогенной стимуляции глубокая седация (например, агонистами  $\mu$ -опиоидных рецепторов) или другими агентами, которые угнетают нейроны ЦНС и ганглиозные клетки сетчатки. Воздействие интенсивных конкурирующих раздражителей (сенсорных помех), таких как шум, боль, резкие, необычные движения и яркий свет может мешать развитию зрительного анализатора, нарушая фазу быстрого сна или напрямую подавляя активность нейронов [4, 45]. Сильная преждевременная визуальная стимуляция также может препятствовать раннему развитию слуховой нейросенсорной функции [47].

После родов на сроке от 38 до 40 недель беременности зрительная система активируется светом и для дальнейшего развития требуется зрительный опыт. Визуальный опыт формирует из отдельных нейронов, так называемые, столбцы ориентации, необходимые для восприятия, обработки линий, узоров, движения и восприятия цвета. Этот процесс продолжается в течение первых 3 лет жизни и является периодом нейрональной пластичности или критическим периодом для визуального развития. В течение этого периода для нормального развития зрительного анализатора ребенку требуется свет (на объектах, а не прямой свет в глаза), внимание, новизна или изменение объекта, движение, цвет. Это необходимо всем детям в отделении интенсивной терапии, старше 38-40 недель. Фокусирование и внимание к человеческому лицу (предпочтительно лицо матери) имеют первостепенное значение, за ним следуют предметы и действия на расстоянии наилучшего видения - от 25 до 39 см  $\pm$  10 см [29, 36, 48]. Основное внимание уделяется краям объектов, линий, форм и движений. Прямой свет является слишком простым однообразным стимулом, и поэтому не приводит к формированию разнообразных нейронных связей и созданию столбцов. Большинство столбцов ориентации и цветовых кластеров возникают при воздействии визуальной стимуляции, которые появляются только после рождения. Повторная «обработка» полученного ранее визуального опыта во время фазы быстрого сна в виде сновидений позволяет поддерживать стимуляцию зрительного анализатора даже в темноте, обеспечивая попутно существенное раннее глазное доминирование и образование полного набора столбцов ориентации.

Полный набор столбцов ориентации необходим для точного понимания положения рассматриваемого предмета в пространстве относительно своего окружения и смотрящего человека. Если представить точку в центре окружности, и принять ее за центр фокусировки на предмете, то полный набор должен включать в себя столбцы ориентации для каждого сектора этой окружности с шагом в  $5^\circ$  (Рисунок 1).



*Рисунок 1. Схема образования столбцов ориентации*

Такая архитектура нейрональных связей необходима для точного восприятия линий, паттернов, узоров, движения. В возрасте 2 – 3-х месяцев начинается схожий организационный процесс для нейронов, передающих информацию о цвете объектов. Поскольку цвет не имеет направления, нет специальных столбцов для цвета, но существуют специализированные клетки, ассоциированные со столбцами ориентации, тем самым становится понятным что в отсутствии полного набора столбцов ориентации будет серьезно страдать восприятие не только движения и пространственных отношений окружающих предметов, но и восприятие их цвета.

Эти механизмы объясняют негативное влияние на процессы визуального развития интенсивного прямого света, отсутствия объектов и узоров в фокусе, недостатка внимания (например, седативный эффект), отсутствия изменений в окружающей среде, недостатка движения, полной темноты или отсутствия достаточного освещения при пробуждении.

Конкурирующие слуховые, сенсорные, болевые и двигательные стимулы, если они сильные, могут нарушать те процессы визуального развития, которые обусловлены экзогенным зрительным опытом [47]. У детей в условиях ограниченного зрительного восприятия не формируются столбцы ориентации, что приводит к пробелам в некоторых направленных компонентах визуального изображения.

### **Заключение.**

Таким образом, вопросы ограничения избыточных сенсорных воздействий и организации правильного, своевременного развивающего ухода, включающего внимание к

формированию зрительного анализатора, становятся крайне важными для выхаживания недоношенных детей.

Зрительная система каждого ребенка в конечном итоге развивает свои уникальные характеристики в результате визуальной среды, стимула и опыта. Визуально генерируемые нейронные сигналы необходимы для уточнения подробных топографических распределений (карт) и индивидуально уникальных характеристик любой визуальной картины. Зрение — это больше, чем просто сложная схема сигналов от сетчатки. Оно должно включать: прием изображения, восприятие изображения, распознавание изображения, значение изображения и связь изображения с другими изображениями и данными от других органов чувств. Эти процессы подавляются, задерживаются или нарушаются у младенцев и детей младшего возраста, которые испытывают значительную визуальную депривацию.

Направленные связи и подавленные пути не вызывают структурных изменений в мозге, но могут вызывать долговременные изменения в нейросенсорной функции. Длительный период выхаживания недоношенного ребенка в стационаре в отделении реанимации и интенсивной терапии, в условиях микроклимата инкубатора с соблюдением охранительного режима, невозможность полноценного материнского ухода, а значит отсутствие сенситивных стимулов, приходится на самый важный период развития нервной системы. Именно в этом возрасте очень важно адекватное и своевременное начало нейросенсорного развития, в связи с чем возрастает необходимость исследований, позволяющих определить оптимальные сроки начала и методологию раннего развивающего ухода.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нароган М.В. и др. Практический опыт применения клинических рекомендаций «Энтеральное вскармливание недоношенных детей» // Акушерство и гинекология. 2018. Т. 9. С. 106–114.
2. Дегтярев Д.Н. Совершенствование методов выхаживания и абилитации детей, родившихся с экстремально низкой массой тела: критическая оценка вклада российских исследователей // Неонатология: новости, мнения, обучение. 2019. Т. 7, № 3. С. 7–11.
3. Robinson J. и др. Eyelid opening in preterm neonates // Arch. Dis. Child. 1989. Т. 64, № 7 SPEC NO. С. 943–948.
4. Graven S.N. Early neurosensory visual development of the fetus and newborn // Clin. Perinatol. 2004. Т. 31, № 2. С. 199–216.
5. O'Reilly M. и др. Ophthalmological, cognitive, electrophysiological and MRI assessment of visual processing in preterm children without major neuromotor impairment // Dev. Sci. 2010. Т. 13, № 5. С. 692–705.
6. De Paula Machado A.C.C. и др. Is sensory processing associated with prematurity, motor and cognitive development at 12 months of age? // Early Hum. Dev. Elsevier, 2019. Т. 139, № August. С. 104852.
7. Dorn K., Weinert S., Falck-Ytter T. Watch and listen – A cross-cultural study of audio-visual-matching behavior in 4.5-month-old infants in German and Swedish talking faces // Infant Behav. Dev. Elsevier, 2018. Т. 52, № May. С. 121–129.
8. Leonhardt M. и др. Visual performance in preterm infants with brain injuries compared with low-risk preterm infants // Early Hum. Dev. Elsevier Ireland Ltd, 2012. Т. 88, № 8. С. 669–675.
9. Ricci D. и др. Early visual assessment in preterm infants with and without brain lesions: correlation with visual and neurodevelopmental outcome at 12 months. // Early Hum Dev. 2011. Т. 83, № 3. С. 177–182.
10. O'Connor A.R., Wilson C.M., Fielder A.R. Ophthalmological problems associated with preterm birth // Eye. 2007. Т. 21, № 10. С. 1254–1260.
11. Purpura G. и др. Visual assessment in Down Syndrome: The relevance of early visual functions // Early Hum. Dev. Elsevier, 2019. Т. 131, № December 2018. С. 21–28.
12. Cioni G. и др. Correlation between visual function, neurodevelopmental outcome, and magnetic resonance imaging findings in infants with periventricular leucomalacia // Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed. 2000. Т. 82, № 2. С. 134–140.



13. Guzzetta A. и др. Visual disorders in children with brain lesions: 1. Maturation of visual function in infants with neonatal brain lesions: Correlation with neuroimaging // *Eur. J. Paediatr. Neurol.* 2001. Т. 5, № 3. С. 107–114.
14. Clark-Gambelunghe M.B., Clark D.A. Sensory Development // *Pediatr. Clin. North Am.* Elsevier Inc, 2015. Т. 62, № 2. С. 367–384.
15. Arp R. The Visual System // *Scenar. Vis.* 2018.
16. Fielder A., Foreman N., Moseley M. Prematurity and visual development. Visual development: normal and abnormal. // *Prematurity and visual development.* New York: Oxford University Press, 1993. С. 485–504.
17. Kolb H. How the Retina Works // *Am. Sci.* 2003. Т. 91, № 1. С. 28.
18. Reeves A. Visual adaptation // *The visual neurosciences* / под ред. Chalupa L., Werner J. Cambridge: MIT Press, 2004. С. 851–862.
19. Wong R., Godinho L. Development of the vertebrate retina. // *The visual neurosciences* / под ред. Chalupa L., Werner J. Cambridge: MIT Press, 2004. С. 61–72.
20. Chiu C., Weliky M. The role of neural activity in the development of orientation selectivity // *The visual neurosciences* / под ред. Chalupa L., Werner J. Cambridge: MIT Press, 2004. С. 117–125.
21. Marquardt T., Gruss P. Generating neuronal diversity in the retina: One for nearly all // *Trends Neurosci.* 2002. Т. 25, № 1. С. 32–38.
22. Mason C., Erskine L. The development of decussations // *The visual neurosciences.* / под ред. Chalupa L., Werner J. Cambridge: MIT Press, 2004. С. 94–107.
23. Chapman B. The development of I-specific segregation in the retino-geniculo-striate pathway // *The visual neurosciences* / под ред. Chalupa L., Werner J. Cambridge: MIT Press, 2004. С. 108–116.
24. Gandhi N., Sparks D. Changing views of the role of superior colliculus in the control of gaze // *The visual neurosciences* / под ред. Chalupa L., Werner J. Cambridge: MIT Press, 2004. С. 1449–1465.
25. Kennedy H., Burkhalter A. Ontogenesis of cortical connectivity. // *The visual neurosciences* / под ред. Chalupa L., Werner J. Cambridge: MIT Press, 2004. С. 146–158.
26. Buttelmann D. и др. Infants' and adults' looking behavior does not indicate perceptual distraction for constrained modelled actions – An eye-tracking study // *Infant Behav. Dev.* Elsevier, 2017. Т. 47, № August 2016. С. 103–111.
27. Sayeur M.S. и др. Early childhood development of visual texture segregation in full-term and preterm children // *Vision Res.* 2015. Т. 112. С. 1–10.
28. McKone E. и др. A critical review of the development of face recognition: Experience is

- less important than previously believed // *Cogn. Neuropsychol.* 2012. Т. 29, № 1–2. С. 174–212.
29. Imafuku M. и др. Preference for Dynamic Human Images and Gaze-Following Abilities in Preterm Infants at 6 and 12 Months of Age: An Eye-Tracking Study // *Infancy.* 2017. Т. 22, № 2. С. 223–239.
  30. Valenza E. и др. Face Preference at Birth // *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 1996. Т. 22, № 4. С. 892–903.
  31. Nakato E., Kanazawa S., Yamaguchi M.K. Holistic processing in mother's face perception for infants // *Infant Behav. Dev. Elsevier*, 2018. Т. 50, № October 2015. С. 257–263.
  32. Villar J. и др. Late weaning and maternal closeness, associated with advanced motor and visual maturation, reinforce autonomy in healthy, 2-year-old children // *Sci. Rep.* 2020. Т. 10, № 1. С. 1–27.
  33. Cobliner W. In *The First Year of Life* / под ред. Spitz R. International Universities Press, 1968. 301–356 с.
  34. Abernethy V. и др. *Biophysical Foundations of Human Movement.* 3-е изд. Human Kinetics, 2013.
  35. Miller J.L., Hurdish E., Gros-Louis J. Different patterns of sensitivity differentially affect infant attention span // *Infant Behav. Dev.* 2018. Т. 53, № May. С. 1–4.
  36. Whiteley I., Whiteley G., Fisher R. *EARTH DESIGNS: Black and White Book for a Newborn Baby and the Whole Family: Black and White Book for a Newborn Baby and the Whole Family: Volume 1.* Bath: Cosmic Baby Books, 2016. 36 с.
  37. Dowdeswell H.J. и др. Visual deficits in children born at less than 32 weeks' gestation with and without major ocular pathology and cerebral damage // *Br. J. Ophthalmol.* 1995. Т. 79, № 5. С. 447–452.
  38. Tremblay E. и др. Delayed Early Primary Visual Pathway Development in Premature Infants: High Density Electrophysiological Evidence // *PLoS One.* 2014. Т. 9, № 9. С. e107992.
  39. Ricci D. и др. Cortical Visual Function in Preterm Infants in the First Year // *J. Pediatr.* Mosby, Inc., 2010. Т. 156, № 4. С. 550–555.
  40. Buss A.T., Ross-Sheehy S., Reynolds G.D. Visual working memory in early development: A developmental cognitive neuroscience perspective // *J. Neurophysiol.* 2018. Т. 120, № 4. С. 1472–1483.
  41. Simmering V.R., Miller H.E. Developmental improvements in the resolution and capacity of visual working memory share a common source // *Attention, Perception, Psychophys.*

- Attention, Perception, & Psychophysics, 2016. Т. 78, № 6. С. 1538–1555.
42. Simmering V.R., Miller H.E., Bohache K. Different developmental trajectories across feature types support a dynamic field model of visual working memory development // Attention, Perception, Psychophys. 2015. Т. 77, № 4. С. 1170–1188.
  43. Simmering V.R. I. Working Memory Capacity in Context: Modeling Dynamic Processes of Behavior, Memory, and Development // Monogr. Soc. Res. Child Dev. 2016. Т. 81, № 3. С. 7–24.
  44. Kooiker M.J.G. и др. Perinatal risk factors for visuospatial attention and processing dysfunctions at 1 year of age in children born between 26 and 32 weeks // Early Hum. Dev. Elsevier, 2019. Т. 130, № May 2018. С. 71–79.
  45. Penn A., Shatz C. Principles of endogenous and sensory activity-dependent brain development. The visual system // The Newborn Brain: Neuroscience and Clinical Applications. 2-е изд. / под ред. Lagercrantz H. и др. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. С. 147–160.
  46. Hogan D., Roffwarg H.P., Shaffery J.P. The effects of 1 week of REM sleep deprivation on parvalbumin and calbindin immunoreactive neurons in central visual pathways of kittens // J. Sleep Res. 2001. Т. 10, № 4. С. 285–296.
  47. Lickliter R. Atypical perinatal sensory stimulation and early perceptual development: insights from developmental psychobiology. // J Perinatol. 2000. С. 45–54.
  48. Koch F.S. и др. Changes in infant visual attention when observing repeated actions // Infant Behav. Dev. Elsevier, 2018. Т. 50, № July 2017. С. 189–197.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ПКВ – постконцептуальный возраст

ЯЛКТ – ядро(а) латерального коленчатого тела

Нед. – неделя

ГВ – гестационный возраст

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

**Выполнено в рамках НИР по теме Государственного задания:**

**«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ, ВСКАРМЛИВАНИЮ И ВЫХАЖИВАНИЮ НЕДОНОШЕННЫХ ДЕТЕЙ С ПЕРИНАТАЛЬНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ»**

Руководитель темы Государственного задания, зам. директора по научной работе, д-р мед. наук, профессор - Д.Н. Дегтярев