

Применение технологий компьютерного зрения для объективной оценки показателей концентрации внимания у новорожденных и детей грудного возраста при визуальной стимуляции в целях развивающего ухода

The use of computer vision technologies for an objective assessment of indicators of concentration of attention in newborns and infants with visual stimulation for the purpose of developmental care

РЕФЕРАТ

Введение.

Оценка зрительной функции в первые несколько дней после рождения, в основном, ограничена исследованием глазных движений, способности фиксировать взгляд и следить за предметом. Для того, чтобы определить, как перемещается взгляд ребенка при рассматривании объекта, как долго фиксируется на объекте, необходимы методики, позволяющие фиксировать движения глазных яблок и определяющие траекторию взгляда.

Цель исследования.

Разработать метод, основанный на технологии машинного обучения и компьютерного зрения для автоматизированного анализа движения глаз и фиксации взгляда новорожденного и младенца при визуальной стимуляции.

Материалы и методы.

Предлагаемый метод включает в себя видеосъемку новорожденных и детей первого года жизни в стационаре и амбулаторно. В качестве исходных данных были использованы видеозаписи с камер мобильных телефонов длиной от 15 секунд до 3-х минут. Из 150 видеозаписей новорожденных отобрано 73 видеофайла, из которых была выделена 61 запись достаточного качества, на которой ребенок был распознан, как минимум, в 30% кадров. Для каждой из 61 записи был записан трек состояний новорожденного при визуальной стимуляции. Распознавание образа лица было реализовано с помощью широко применяемой предобученной модели, основанной на машинном обучении и сверточных сетях. Алгоритм исследования движения глаз включает в себя поиск лица, определение положения головы по расположению глаз, носа, губ, поиск зоны глаз, поиск зрачка, определение относительного направления взгляда и определение абсолютного направления взгляда, и отслеживание моргания.

Результаты и обсуждение.

Была разработана и обучена нейросеть для распознавания образов лица новорожденных и младенцев и для локации глаз на лице ребенка. Метод позволил в режиме реального времени получать данные о направлении взгляда ребенка, используя камеру обычного смартфона, либо простую веб камеру. В зависимости от размеров показываемого изображения и расстояния до него, система высчитывает общее время концентрации на изображении, а также выявляет моменты, когда ребенок не интересуется изображением.

Заключение.

Предлагаемый метод может применяться для анализа эффективности ранней визуальной стимуляции у детей, в контексте отдаленных результатов влияния на психомоторное и когнитивное развитие, а также для объективизации данных различных программ ранней оценки визуальной функции у новорожденных и младенцев.

Ключевые слова: новорожденный, недоношенный, недоношенность, визуальная система, зрение, нейро-сенситивное развитие, психоневрологическое развитие, развивающий уход, выхаживание новорожденных.

Introduction.

Assessment of visual function in the first few days after birth is mainly limited to the study of eye movements, the ability to fix a gaze and follow an object. In order to determine how the child's gaze moves when examining an object, how long it is fixed on the object, techniques are needed that allow recording the movements of the eyeballs and determining the trajectory of the gaze.

Goal.

To develop a method based on machine learning technology and computer vision for automated analysis of eye movement and fixation of the gaze of a newborn and an infant during visual stimulation.

Materials and methods.

The proposed method includes video filming of newborns and children in the first year of life in a hospital and outpatient. Video recordings from mobile phone cameras with a length of 15 seconds to 3 minutes were used as the initial data. 73 video files were selected from 150 videos of newborns, of which 61 recordings of sufficient quality were selected, in which the child was recognized in at least 30% of frames. For each of the 61 recordings, a neonatal visual stimulation track was recorded. Facial recognition was implemented using a widely used pre-trained model based on machine learning and ultra-precise networks. The eye movement research algorithm includes face search, determination, head position by the location of the eyes, nose, lips, eye area

search, pupil search, relative gaze determination and absolute gaze direction determination, and blink tracking.

Results and discussion.

A neural network was developed and trained for recognizing facial images of newborns and infants and for locating the eyes on a child's face. The method made it possible to receive data on the direction of the child's gaze in real time using the camera of an ordinary smartphone or a simple web camera. Depending on the size of the displayed image and the distance to it, the system calculates the total time of concentration on the image, and also detects moments when the child is not interested in the image.

Conclusion.

The proposed method can be used to analyze the effectiveness of early visual stimulation in children, in the context of long-term effects on psychomotor and cognitive development, as well as to objectify data from various programs for early assessment of visual function in newborns and infants.

Keywords.

Newborn, preterm, prematurity, visual system, vision, neurosensitive development, psychoneurological development, developmental care, newborn nursing.

Введение

Как только ребенок начинает открывать глаза, его зрительный анализатор подвергается различным видам визуальной стимуляции. Несовершенство аккомодации не позволяет новорожденному четко видеть окружающий мир. Valenza S. и соавт. (1996) установили, что уже новорожденные дети предпочитают похожие на лицо стимулы [1]. Первое, что видит ребенок — это лицо, глаза матери, которые представляют собой контрастное изображение с округлыми формами. Новорожденный достаточно долго может сосредоточиться и пристально смотреть на контрастные предметы или рисунки, находящихся на расстоянии около 40 см, но не может быстро перемещать взгляд с одного изображения на другое, и визуально определять различие между двумя изображениями. Восприятие глубины, то есть способность судить, находится ли искомый объект ближе или дальше, чем другие объекты, при рождении отсутствует. Dannemiller J. и Stephens B. (1988) считают, что предпочтение образов похожих на лицо появляется между вторым и четвертым месяцами [2].

Координация глаз и рук развивается, когда младенец начинает отслеживать движущиеся объекты глазами и тянуться к ним. К восьми неделям дети начинают легче фокусировать взгляд на лицах родителей или близких им людей. Младенцы должны

начинать следить глазами за движущимися объектами глазами и тянуться к вещам в возрасте около трех месяцев. В возрасте пяти месяцев глаза способны работать вместе, чтобы сформировать трехмерное представление о мире и начать видеть в глубине. К двум годам у ребенка хорошо развита координация глаз и рук, и глубокое восприятие, он распознает знакомые предметы и рисунки в книгах и может рисовать карандашом.

Существуют разноречивые данные в отношении развития зрительного внимания у недоношенных детей. С одной стороны, получены данные об опережающем развитии зрительного внимания у недоношенных детей раннего возраста и способности к гибкому переключению внимания, что объясняется более длительной подверженностью недоношенных детей зрительной стимуляции во внешней среде [3]. Другие авторы считают, что развитие визуального внимания у недоношенных новорожденных происходит медленнее, и в 6 месяцев у этой группы детей часто отмечаются трудности в распределении и концентрации внимания [4].

Удержание внимания новорожденных с помощью черно-белых изображений может увеличиться от нескольких секунд до полутора минут всего за одну неделю, однако более длительное удержание внимания обеспечивается более длительным обучением, в течение которого ребенок изучает окружающую среду и усваивает информацию, создавая новые нейронные пути и укрепляя уже установленные.

Оценка зрительной функции в первые несколько дней после рождения, в основном, ограничена исследованием глазных движений и способности фиксировать взгляд и проследить за предметом. Для того, чтобы определить, как перемещается взгляд ребенка при рассматривании объекта, как долго фиксируется взгляд, необходимы методики, позволяющие фиксировать движения глазных яблок, траекторию взгляда. Технология Айттрекинг (Eye tracking – англ. – слежение за взглядом) позволяет наблюдать и записывать движения глаз: расширение зрачка, его перемещение. Она широко применяется во многих областях, в том числе в психологических исследованиях, офтальмологии, компьютерной и игровой индустрии, медицине, маркетинге. Метод основан на том, что положение отраженного глазом инфракрасного света улавливаются камерой айттрекера и путем фильтрации и расчетов устройство определяет положение взгляда [6]. Однако существующие айттрекеры невозможно применить у новорожденных и детей раннего возраста.

Традиционные системы слежения за взглядом делятся на две категории: носимые и экранные. Носимые трекары представляют собой очки с камерами, направленными на глаза, которые отслеживают относительное положение зрачка, стационарные (экранные) трекары используют те же камеры, аналогичным образом отслеживают положение зрачка,

но относительно целевого источника света, то есть, его отражения на поверхности глаза. В обоих случаях существующие сегодня решения не могут быть применимы к исследованию зрительной активности новорожденных и детей грудного возраста, поскольку, хоть и позволяют с высокой точностью отслеживать направление взгляда, требуют либо контактных устройств, либо начальной настройки с вовлечением пользователя в процесс.

Цель исследования: разработать метод, основанный на технологии машинного обучения и компьютерного зрения для автоматизированного анализа движения глаз и фиксации взгляда новорожденного и младенца при визуальной стимуляции.

Методы исследования:

Всем детям проводились мониторинг клинического состояния, оценка нутритивного статуса, клиническое, лабораторное и инструментальное обследование в объеме, предусмотренным стандартом обследования новорожденных в условиях стационара и поликлиники.

Для оценки в режиме реального времени движений глаз и фиксации взгляда новорожденного или ребенка грудного возраста нами был разработан метод, включающий в себя видеосъемку новорожденных и детей грудного возраста в стационаре и амбулаторно с последующей обработкой созданным алгоритмом полученных данных.

Метод является перспективным направлением развития автоматизированных систем поддержки принятия решений в неонатологии, не требует дорогостоящего оборудования и специальных знаний при работе с системой, не инвазивный, позволяет оперативно получить, и оценить информацию.

При разработке метода в качестве исходных данных были использованы видеозаписи с камер мобильных телефонов длиной от 15 секунд до 3х минут. Для проведения исследования были ретроспективно проанализированы видеофайлы, записанные в условиях стационара, с письменного разрешения законных представителей исследуемых, а также в домашних условиях, используя видеокамеру мобильного телефона родителей. В рамках исследования было записано 150 видеофайлов 20 детей, начиная с раннего неонатального периода до шести месяцев жизни, съемка проводилась на протяжении месяца с интервалом в 2-3 дня. Для стимуляции зрительного анализатора мы использовали изображения «Cosmic Baby Books», которые, по мнению автора изображений, помогают улучшить концентрацию внимания посредством черно-белых изображений, стимулировать дальнейшее обучение и освоение мира, создавать новые нейронные связи путем отслеживания и запоминания визуальных образов, приобретать навыки, необходимые для успешного обучения и взаимодействия [5]. Изображения земных объектов помогают

развивающемуся мышлению ребенка настраиваться на естественную гармонию симметрии, ритмические узоры и логику законов природы, развивают воображение и понимание гармонии мира. Черно-белые изображения «Cosmic Baby», располагали на расстоянии 30-40 см от лица ребенка, непосредственно под камерой. Визуальная стимуляция с одновременной записью реакции ребенка длилась от 15 секунд до 3-х минут.

Из 150 видеозаписей новорожденных было отобрано 73 видеофайла, из которых была выделена 61 запись достаточного качества, на которой ребенок был распознан, как минимум, в 30% кадров. Для каждой из 61 записи был записан трек состояний новорожденного при визуальной стимуляции. При анализе видео система определяла следующие состояния:

- Фиксация взгляда на объекте стимуляции
- Фиксация взгляда вне объекта стимуляции
- Движение взгляда по объекту стимуляции
- Моргание

Каждый кадр видео оценивался на соответствии с одним из четырех состояний ребенка, и по результатам работы программа выдавала в автоматическом режиме график состояний, представленный ниже.

Распознавание образа лица было реализовано с помощью широко применяемой предобученной модели, основанной на машинном обучении и сверточных сетях [7]. Алгоритм исследования движения глаз включал в себя поиск лица, определение положения головы по расположению глаз, носа, губ, поиск зоны глаз, поиск зрачка, определение относительного направления взгляда, определение абсолютного направления взгляда, и отслеживание моргания [8,9].

В ходе исследования отработана система слежения направления взгляда, оценена концентрация, ее длительность – Рисунок 1.

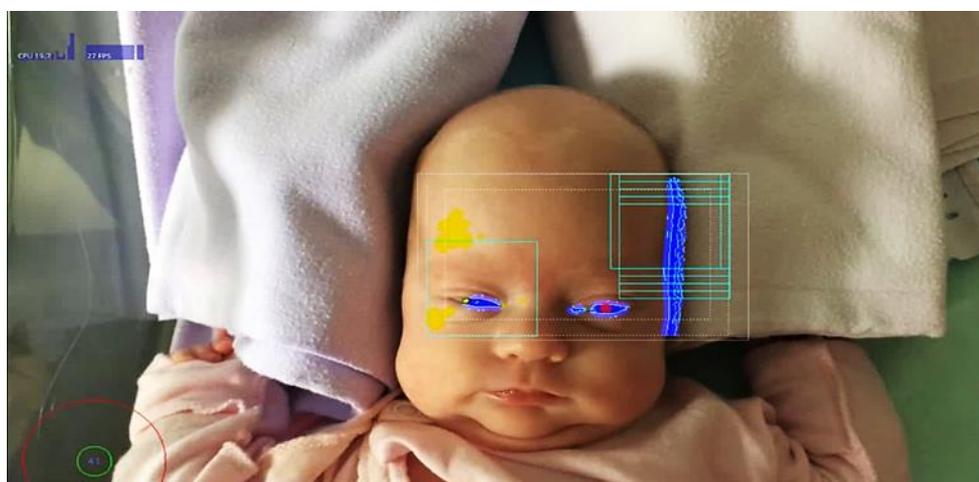


Рисунок 1. Анализ видеосъемки: система распознает расположение глаз и зрачков ребенка

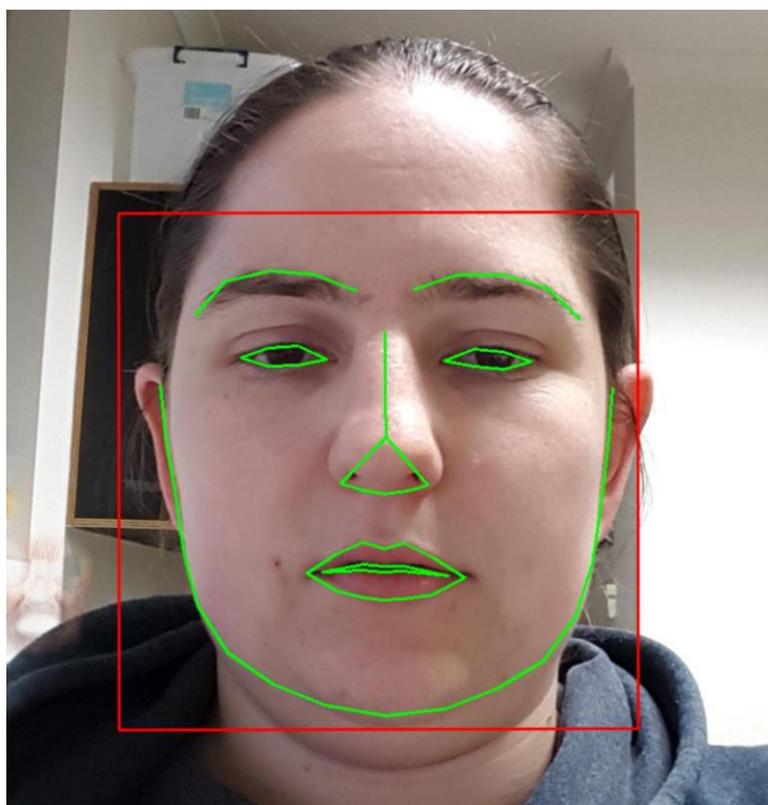
Разработка метода была разбита на три логические части с точки зрения анализа видео:

1. Покадровое распознавание образа лица новорожденного
2. Распознавание направления головы новорожденного
3. Распознавание направления взгляда новорожденного

Каждый из трех модулей разработан для независимого исполнения, модули могут работать параллельно.

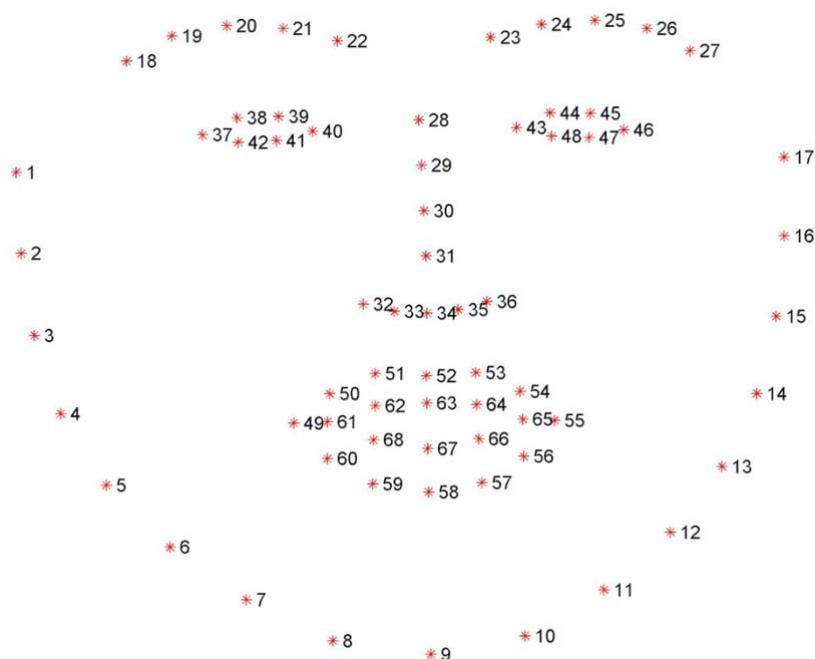
Детекция лица на изображении происходит с использованием подхода, предложенного Rowley Н. с соавт, и Viola Р. с соавт. [10,11]. Данный подход основан на применении последовательности сверточных нейронных сетей для определения лицевых ориентиров на каждом последовательном кадре в видео – рисунок 2.

Рисунок 2. Пример детекции лица взрослого на изображении с выделением зон глаз по найденным координатам



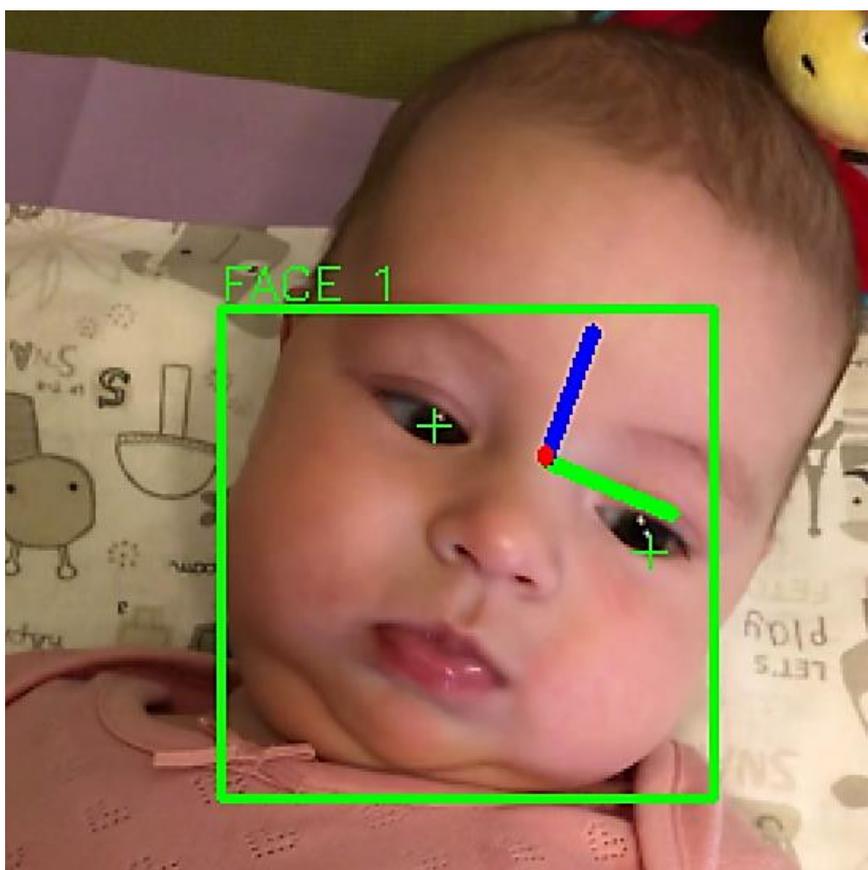
После достоверного обнаружения лица в кадре вычислялись и нумеровались координаты ориентиров, необходимых для дальнейшего вычисления позы головы новорожденного – рисунок 3. Лицевые ориентиры определяются аналогичным методом [12].

Рисунок 3. Пример вычисления координат ориентиров взрослого лица, необходимых для последующего вычисления положения лица и головы пациента\обследуемого в пространстве.



Для моделирования направления головы ребенка, применялся геометрический метод определения вектора вращения. Исходя из известных точек ориентиров, а также используя факт симметрии лица, метод, описанный Viola P. и Jones M. (2001) вычисляет угол поворота и наклона головы относительно модели, использующей пять точек на лице: углы глаз, кончик носа и углы рта [11]. Далее проецируется полученная двухмерная матрица точек лица на трехмерную модель человеческого лица, вычисляются углы поворота относительно трех осей: продольной, поперечной и вертикальной – рисунок 4.

Рисунок 4. Проекция полученной двухмерной матрицы точек лица ребенка на трехмерную модель с вычислением направлений осей.



Из имеющихся координат ориентиров лица выделялись зоны изображения, содержащие изображения левого и правого глаза. Для нахождения положения зрачка относительно глаза использовался метод обнаружения эллипсов, предложенный Timm, F. и Barth, E. [13] в модификации Baltrusaitis, T. с соавт. [14] и Fanelli, G., с соавт. [15] – рисунок 5.

Рисунок 5. Метод обнаружения эллипсов для определения положения зрачка человеческого глаза [13–15].



Максимальный угол поворота глаз новорожденного был принят за константу в 120 градусов по горизонтали и вертикали. Относительный угол поворота глаза вычислялся по формулам:

$$\text{rotx}=60*(1-2\text{lenx-centx}/\text{lenx})$$

$$\text{roty}=60*(1-2\text{leny-centy}/\text{leny}),$$

Где lenx - длина зоны глаза по координате x , leny - длина зоны глаза по координате y , centx и centy - значение центра зрачка относительно левого края глаза.

Исходя из вычисленных значений относительного поворота головы и относительного направления взгляда вычислялся абсолютный вектор направления взгляда, посредством суммирования полученных углов поворота по осям x и y .

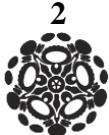
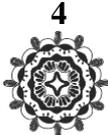
Итоговым шагом метода является вычисление граничных значений углов, соответствующих границам исследуемого объекта. В данном случае объектом являлась картинка формата А4, расположенная на расстоянии около 30 - 40 см от глаз новорожденного или младенца – рисунок 6.

Новорожденные предпочитают черно-белые изображения, так как они являются наиболее контрастными и в клинической практике для новорожденных и младенцев используются черно-белые изображения в виде простых геометрических фигур (круг, прямоугольник, треугольник). Для стимуляции зрительного анализатора мы использовали более сложные черно-белые изображения окружающего мира – «Cosmic Baby Books» [5]. Для проведения исследования автором изображений была рекомендована методология частоты, порядка показа визуальных образов по мере усложнения симметрии (Рис.7). Для дальнейшей работы нами был подготовлен буклет (памятка) для родителей, сделан адаптированный перевод книги «Космик бэби».

Рисунок 6. Процесс демонстрации визуального черно-белого стимула новорожденному с видеофиксацией в условиях стационара.



Рисунок 7. Порядок показа визуальных образов по мере усложнения симметрии

Порядок показа образов по мере усложнения симметрии			
1 	2 	3 	4 
5 	6 	7 	8 
9 	10 	11 	12 

При съемках использовалась камера мобильного телефона с фокусным расстоянием 28 мм, закрепленным в плоскости изображения, также на расстоянии 30-40 см от глаз новорожденного. Граничные значения углов, соответствующих объекту наблюдения, вычислялись по формулам:

$$x = \text{atan}((\text{width}/2)/\text{length})$$

$$x = \text{atan}(1/10) 10^\circ$$

$$y = \text{atan}((\text{height}/2)/\text{length})$$

$$y = \text{atan}((10,5)/70) 15^\circ$$

Где *width* - ширина демонстрируемого объекта, *length* – расстояние от глаз до объекта, *height* – высота демонстрируемого объекта, *atan* – арктангенс полученного в скобках значения.

Вычисленные значения абсолютного угла взгляда покадрово сравнивались с граничными значениями показываемого изображения. По полученным данным вычислялись значения времени концентрации на объекте, время исследования объекта (время непрерывного движения взгляда по объекту), а также время, когда взгляд младенца или новорожденного не был фиксирован на объекте или смотрел в одну точку.

Каждая видеосъемка анализировалась по нескольким параметрам:

- ✓ Детекция глаз методами компьютерного зрения
- ✓ Отслеживание движения зрачка, построение графика движения глаз
- ✓ Расчет времени фиксации взгляда на объекте
- ✓ Оценка движений взгляда по объекту

Далее проводился анализ видеоданных в плане распознавания образов с применением компьютерного зрения. На части данных были опробованы существующие библиотеки

аннотированных изображений лиц взрослых людей в фас и профиль, показавшие удовлетворительные результаты на видео с новорожденными и младенцами.

Результаты исследования

На основе полученных видеоданных был разработан комплексный метод анализа направления взгляда младенца.

Разработаны алгоритмы распознавания лица ребенка нейросетью на основе открытых аннотированных данных, настроена система распознавания глаз и нахождения зрачков ребенка, а также методы оценки абсолютного направления головы ребенка, и относительного направления взгляда.

Была разработана и дообучена улучшенная модель распознавания лиц младенцев, нейросеть обучалась на собранных данных, аннотированных вручную. Данная нейросеть позволила в 93 из 100 случаев правильно распознавать лицо ребенка в кадре и давать четкие контуры лицевых ориентиров, что позволило нам с хорошей точностью предсказывать положение головы ребенка. Текущая точность распознавания лица ребенка на снятых видео: в профиль съемка не производилась, в фас составила 90% (количество кадров, на которых система смогла распознать зрачки ребенка).

Такой комплексный подход позволил в режиме реального времени получать данные о направлении взгляда младенца, используя камеру обычного смартфона, либо простую веб камеру. В зависимости от размеров показываемого изображения и расстояния до него, система высчитывала общее время концентрации на изображении, а также выявляла моменты, когда ребенок не интересовался изображением.

Данная модель с высокой точностью (98% на выборке взрослых людей) определяет лицо на кадре, а также 58 реперных точек, используемых нами в дальнейшем анализе.

Для определения направления взгляда, было необходимо понимать направление поворота головы ребенка. Данный анализ был выполнен с помощью обратного преобразования проекции модели на плоскость изображение на каждом кадре [16].

Связь модели и проекции осуществлялись по данным алгоритма распознавания лиц и привязывались по реперным точкам угла глаз, носа, губ и подбородка ребенка. Распознавание направления взгляда было разработано методами компьютерного зрения и анализа изображений [17]. Для каждого распознанного лица по известным точкам определялась область глаз, далее выявлялось относительное расположение зрачков, тем самым определяя направление взгляда новорожденного относительно поворота его головы. Однако, в связи с физиологическими особенностями строения глаза и большими размерами зрачка, не всегда удавалось установить точное направление взгляда, в таких случаях

система следила только лишь за фактом моргания и критических отклонениях зрачка от центра глаза. Результаты работы алгоритмов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Статистика по данным с коэффициентом сосредоточения* выше 0,1

	Время распознавания лиц в кадре (в сек.)	Количество кадров			Коэффициент сосредоточения*
		со взглядом, (в кадрах)	с морганием, (в кадрах)	без взгляда (в кадрах)	
Среднее значение (min – max)	21,86 (0,45 - 45,39)	596,10 (0 – 7165)	32,23 (0 – 429)	17,80 (0 – 158)	0,38 (0,1 – 1,0)
Ср. кв. отклонение	52,56	1511,51	87,08	41,25	0,25

* Коэффициент сосредоточения – нормированное отношение общего количества кадров, на которых ребенок смотрит на демонстрируемый объект, к общему количеству кадров с распознанным лицом ребенка

Система позволяет распознать несколько состояний:

- Ребенок смотрит на объект перед камерой
- Ребенок смотрит в другую сторону
- Лицо ребенка распознано, но определение взгляда невозможно
- Лицо ребенка не распознано

Также для всех видео была рассчитана длительность каждой непрерывной серии положительных состояний новорожденного, то есть статусов, когда ребенок смотрит на объект перед камерой. Эти данные могут говорить о вовлеченности младенца в процесс визуальной стимуляции, и о частоте его отвлечения от процесса.

На рис. 8 - пример графика данных младенца с частым отвлечением от объекта. Большое количество недолгих периодов наблюдения за объектом говорит о частом моргании или отсутствия концентрации на объекте, отвлечением от него.

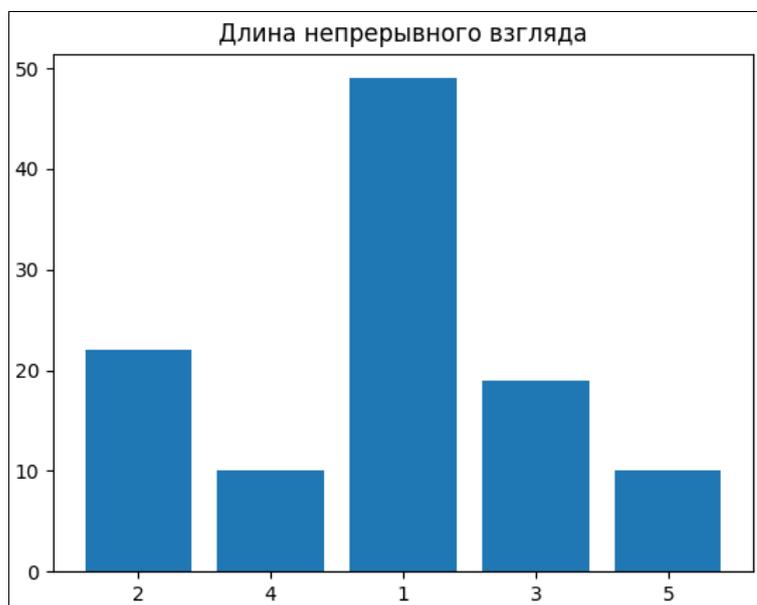
Рисунок 8. Пример графика длительности внимания младенца с большим количеством отвлечений от объекта.



По оси y – количество кадров, на которых ребенок непрерывно смотрит на демонстрируемый объект. По оси x – количество периодов с непрерывной серией кадров, на которых ребенок непрерывно смотрит на демонстрируемый объект.

На рис. 9 - Пример данных новорожденного, в котором преобладают долгие периоды концентрации и их небольшое число, то есть внимание ребенка было сконцентрировано на демонстрируемом объекте, и он редко отводил взгляд от изображения.

Рисунок 9. Пример графика длительностей, когда новорожденный был сконцентрирован на демонстрируемом объекте и редко отводил взгляд от изображения.



По оси y – количество кадров, на которых ребенок непрерывно смотрит на демонстрируемый объект. По оси x – количество периодов с непрерывной серией кадров, на которых ребенок непрерывно смотрит на демонстрируемый объект.

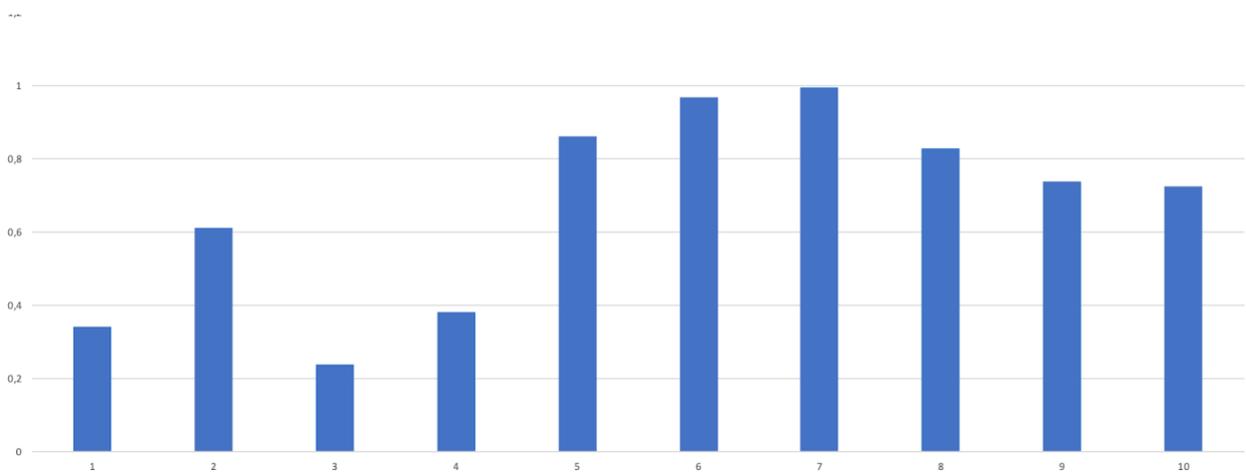
Общее количество кадров, на которых ребенок смотрит на демонстрируемый объект, было нормировано по отношению к общему количеству кадров с распознанным лицом ребенка, данный коэффициент назван “Коэффициентом сосредоточения” (Таб.1).

Из таблицы 1 видно, что в итоговую выборку с коэффициентом сосредоточения выше 0,1 попали случаи с большой вариативностью результатов, что говорит о необходимости набора материала и продолжении эксперимента в более жестких условиях, однако визуальное сравнение данных системы с исходным видео говорит о правдивости результатов. Так младенцы с меньшим коэффициентом сосредоточения заметно менее вовлечены в процесс рассматривания картинки, в то время как младенцы с коэффициентом более 0,7 почти неотрывно смотрят на демонстрируемое изображение.

Также стоит отметить, что разработанная система может фиксировать не только время сосредоточения, а также скорость реакции и, при дальнейшей доработке, оценивать способность детей грудного возраста/новорожденных следить за динамическими объектами, что, возможно, предоставит дополнительные данные для оценки текущего неврологического статуса ребенка.

В качестве пилотного исследования возможностей метода, в частности, его динамической оценки на конкретном пациенте, нами был проведен эксперимент с ребенком в возрасте 2.5 месяцев, которому в течение 10 дней в одно и то же время показывали контрастное черно-белое изображение по методике «Cosmic Baby». Изображение показывалось на протяжении минуты, все это время камерой мобильного телефона фиксировалась его реакция. Затем, с помощью описанного выше метода были обработаны видео и вычислено время концентрации на показываемом объекте. В процессе эксперимента было отмечено, что интерес к изображению у ребенка растет на протяжении первых 3-4 дней, затем ребенок начинает все чаще отвлекаться, и изображение ему становится неинтересно (Рис. 10).

Рисунок 10. Динамика времени фиксации внимания ребенка на демонстрируемом объекте за 10 дней эксперимента.



На графике по оси x – 10 видеофайлов, пронумерованных в хронологическом порядке, по оси y – отношение кадров, на которых было достоверно распознано лицо и взгляд ребенка был направлен в сторону объекта к общему количеству распознанных кадров.

Обсуждение результатов

В последние несколько лет разработка нейровизуальных и нейрофизиологических методов оценки зрительной функции в раннем возрасте позволили лучше понять механизмы, лежащие в основе развития зрения, как у здоровых детей, так и у детей с перинатальными поражениями зрительного анализатора и ЦНС в целом. Очевидно, что зрительная функция ребенка включает в себя многочисленные аспекты, начало и время созревания которых отличается [18–21]. В настоящее время есть возможность оценивать различные функции зрительного анализатора, такие как острота зрения, поля зрения или зрительное внимание уже в неонатальном периоде, что позволило исследовать в динамике созревание каждой из этих составляющих у здоровых детей, а также создать нормативы в зависимости от возраста [22–25].

Совместное использование нейровизуализации и электрофизиологических методов также помогло выявить корреляцию между различными аспектами зрительной функции и различными областями мозга и предложить возможный механизм созревания зрительной функции у здоровых детей и у детей с перинатальным поражением головного мозга. Нормальное развитие зрения зависит от целостности сложной сети, которая включает зрительные пути и первичную зрительную кору, а также другие корковые и подкорковые области, такие как лобные или височные доли или базальные ганглии, которые, как известно, связаны с визуальным вниманием и с другими аспектами зрительной функции [26–30].

В 70-х годах Bronson G. предложил модель развития зрения человека, в которой зрение новорожденного, в основном, контролируется на подкорковом уровне, причем кора начинает созревать, примерно, через 2 месяца после рождения [19].

Другие исследования впоследствии подтвердили, что кора головного мозга берет на себя контролирующую функцию в отношении от подкорковых структур, а также предположили, что корковая функция включает в себя различные пути, обрабатывающие специфические аспекты визуальной информации. Каждый из этих составляющих начинает функционировать в разные периоды развития ребенка, и взаимодействует с подкорковыми структурами, образуя отдельные модули [31]. Методы, используемые для оценки зрительной функции у маленьких детей, включают поведенческие и электрофизиологические методы. Поведенческие методики весьма субъективны – большая часть получаемых данных зависит от субъективной оценки исследователем, электрофизиологические методы более объективны, но достаточно инвазивны, дорогостоящи, их трудно применять в периоде новорожденности и у детей грудного возраста, они требуют дополнительного оборудования и специального помещения.

В таблице 2 представлена программа оценки зрительной функции у детей, которая была предложена группой исследователей во главе с Ricci D. для рутинного неврологического осмотра младенцев, начиная с 48 ч жизни.

Таблица 2. Программа оценки зрительной функции у новорожденного, разработанная Ricci D. С соавт. [32].

Спонтанная глазная активность Обратите внимание на спонтанные движения глаз перед тем, как представить цель	Больше содружественная	Редкий Страбизм R L	Редкий латеральный нистагм R L	Переменяющийся Страбизм R L Нистагм R L	Постоянный Страбизм R L Нистагм R L
Глазные движения с целью: отмечать движения глаз при представлении цели 	Больше содружественная	Редкий Страбизм R L	Редкий латеральный нистагм R L	Переменяющийся Страбизм R L Нистагм R L	Постоянный Страбизм R L Нистагм R L
Фиксация: поставив цель перед младенцем на расстоянии 25 см, обратите внимание на способность младенца фиксироваться на мишени. 	Стабильно более 3 сек	НЕ стабильно более 3 сек		Отсутствует	
Отслеживание черно/белой цели					
Отслеживание: обратите внимание на движение глаз младенца в ответ на движения цели 					
По горизонтали: с целью на расстоянии 25 см, начиная с средней линии, медленно перемещайте ее влево и вправо. ↔	Полное R L	Неполное R L		Краткое R L	Отсутствует

<p>По вертикали: с целью на расстоянии 25 см, начиная с средней линии, медленно перемещайте ее вверх и вниз. ↓</p>	<p>Полное U D</p>	<p>Неполное U D</p>	<p>Краткое U D</p>	<p>Отсутствует</p>
<p>Дуга: с целью на расстоянии 25 см, начиная с средней линии, медленно перемещайте ее по дуге.</p> 	<p>Полное R L</p>	<p>Неполное R L</p>	<p>Краткое R L</p>	<p>Отсутствует</p>
Цвет \ распознавание \ внимание				
<p>Отслеживание цветного стимула Обратите внимание на движение глаз младенца в ответ на движения цели, начиная от средней линии к боковой.</p> 	+	-		
<p>Распознавание полос обратите внимание на способность младенца фиксироваться на серии целей с уменьшающейся шириной полосы, удерживаемых на расстоянии 38 см, начиная с самой широкой полосы; обратите внимание на ширину самой узкой полосы, на которой ребенок фиксирует взгляд</p> 		Последняя распознавая- мая карта		
<p>Внимание на расстоянии После установления центральной фиксации медленно отодвиньте цель на несколько сантиметров в сторону от младенца и отметьте максимальное расстояние, на котором сохраняется фокусировка.</p> 	См.....			

Используя ее, можно получить информацию о развитии других аспектов зрения, таких, как внимание на расстоянии или различение полос, которые ранее не оценивались у доношенных новорожденных. Такой же алгоритм обследования можно использовать у недоношенных детей, чтобы предоставить дополнительную информацию о раннем созревании различных аспектов зрительной функции, как у здоровых детей, так и у детей, с поражениями головного мозга и риском нарушения зрительной функции.

Оценка зрительной функции в первые несколько дней после рождения, в основном, ограничена исследованием глазных движений и способности фиксировать взгляд и проследить предметы. Окуломоторное поведение можно оценивать, наблюдая за спонтанными движениями глаз и возможными отклонениями, такими как спонтанный нистагм, или проверяя способность фиксировать взгляд и проследить предмет, однако это оценивается субъективно и не позволяет фиксировать, сравнивать и хранить результаты обследования по мере роста и развития ребенка.

Предложенная нами методика позволяет объективно определить длительность каждого периода времени, когда ребенок смотрит на объект перед камерой, что свидетельствует о возможности и длительности сосредоточения на привлекательном для

ребенка объекте (черно-белое контрастное изображение различной степени сложности), о вовлеченности новорожденного или ребенка грудного возраста в процесс визуальной стимуляции, и о частоте его отвлечения от процесса. В дальнейшем необходима разработка нормативных данных для детей различного гестационного и постконцептуального возраста. Данная методика может использоваться при оценке фиксационного сдвига - теста зрительного внимания, позволяющего оценивать направление и латентность саккадических движений глаз в ответ на периферическую цель в боковом поле. Центральная мишень используется в качестве стимула фиксации до появления периферийной мишени. Сдвиг внимания в ситуации отсутствия конкуренции между двумя стимулами наблюдается уже в первые недели жизни, в то время как активные повторения появляются в возрасте 4–5 месяцев [33,34]. Остроту зрения у новорожденного можно проверить с помощью принудительного выбора, который является врожденным. Стимулы состоят из черно-белых полос разных пространственных частот, представленных по обе стороны от средней линии и в паре с равномерным серым фоном с другой стороны. Уровень остроты измеряется с помощью специальных рисунков («решетка»), для которых ребенок демонстрирует постоянное предпочтение. Разработаны нормативные данные для детей разного возраста.

Зрительные поля могут быть оценены с использованием кинетической периметрии с устройством, состоящим из двух перпендикулярных черных металлических полос, согнутых для образования двух дуг. Для оценки контура полей зрения фиксируется движение глаз и головы к периферическому шару. Для этого метода также разработаны нормативы для доношенных и недоношенных детей [35]. Применение этих тестов позволило создать своего рода календарь начала и созревания различных аспектов зрительной функции в первый год после рождения, начиная с неонатального периода и в первые месяцы после рождения. Предложенная нами система объективной оценки движения глаз с помощью компьютерного зрения может быть использована для совершенствования, объективизации и повышения точности этих методов.

Таким образом, оценка созревания различных составляющих зрительной функции позволяет получить более точную информацию о развитии зрения, что важно для оценки когнитивного развития в целом.

Заключение

Предложенные алгоритмы легли в основу разработки комплексной системы анализа внимательности новорожденных при визуальной стимуляции, что может быть одним из объективных методов оценки зрительного анализатора новорожденного с первых дней жизни, а также ребенка грудного возраста в течение длительного времени. При дальнейшей разработке может быть поставлена задача оценки времени концентрации на

демонстрируемом объекте. Также данная система может применяться для анализа эффективности различных методов ранней визуальной стимуляции у детей в контексте отдаленных результатов психомоторного и когнитивного развития. Дальнейшая работа состоит в наборе видеоматериалов достаточного качества с фиксацией одного и того же ребенка в продолжительном времени для анализа динамики коэффициента внимательности.

Список используемой литературы:

1. Valenza E. и др. Face Preference at Birth // *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 1996. Т. 22, № 4. С. 892–903.
2. Dannemiller J., Stephens B. A critical test of infant pattern preference models // *Child Dev.* 1988. Т. 2, № 1. С. 210–216.
3. Hunnius S. и др. Effects of preterm experience on the developing visual system: a longitudinal study of shifts of attention and gaze in early infancy. // *Dev. Neuropsychol.* 2008. Т. 33.
4. Кунникова К.И., Котюсов А.И., Валиева Э.Р. Методика оценки зрительного внимания у недоношенных младенцев в социальном и несоциальном контекстах // *Научный форум: Педагогика и психология: сб. ст. по материалам IV междунар. Науч.-практ. Конф.* 2017. С. 119–125.
5. Whiteley I., Whiteley G., Fisher R. *EARTH DESIGNS: Black and White Book for a Newborn Baby and the Whole Family: Volume 1.* Bath: Cosmic Baby Books, 2016. 36 с.
6. 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.
7. Kushsairy K. и др. A comparative study between LBP and Haar-like features for Face Detection using OpenCV // *4th International Conference on Engineering Technology and Technopreneuship (ICE2T).* 2014.
8. Morimoto C.H., Mimica M.R.M. Eye gaze tracking techniques for interactive applications // *Comput. Vis. Image Underst.* 2005. Т. 98, № 1. С. 4–24.
9. Hansen D.W., Ji Q., Member S. A Survey of Models for Eyes and Gaze.pdf. 2010. Т. 32, № 3. С. 478–500.
10. Rowley H.A., Baluja S., Kanade T. Neural network-based face detection // *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 1998. Т. 20, № 1. С. 23–38.
11. Viola P., Jones M. Managing work role performance: Challenges for twenty-first century organizations and their employees. // *Rapid Object Detect. using a Boost. Cascade Simple*

- Featur. 2001. С. 511–518.
12. Blanz V., Vetter T. Face Recognition Based on Fitting a 3D Morphable Model (Initial idea for SfT + NRSfM combination). 2003. Т. 25, № 9. С. 1–12.
 13. Timm F., Barth E. Accurate eye centre localisation by means of gradients // VISAPP 2011 - Proc. Int. Conf. Comput. Vis. Theory Appl. 2011. С. 125–130.
 14. Baltrusaitis T. и др. OpenFace 2.0: Facial behavior analysis toolkit // Proc. - 13th IEEE Int. Conf. Autom. Face Gesture Recognition, FG 2018. 2018. С. 59–66.
 15. Fanelli G., Gall J., Van Gool L. Real time head pose estimation with random regression forests // Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. 2011. С. 617–624.
 16. Newman R. и др. Real-time stereo tracking for head pose and gaze estimation // Proc. - 4th IEEE Int. Conf. Autom. Face Gesture Recognition, FG 2000. 2000. С. 122–128.
 17. Chen J., Ji Q. 3D gaze estimation with a single camera without IR illumination // Proc. - Int. Conf. Pattern Recognit. 2008. С. 1–4.
 18. Sciences N. The Role of the Superior Colliculus Behavior in Visually Guided. 1965. Т. 146. С. 115–146.
 19. Bronson G. The postnatal growth of visual capacity. // Child Dev. 1974. Т. 45. С. 873–890.
 20. Dubowitz L.M.S. и др. Visual Function in the Newborn Infant: Is It Cortically Mediated? // Lancet. 1986. Т. 327, № 8490. С. 1139–1141.
 21. Atkinson J. The developing visual brain // The developing visual brain. Oxford: Oxford Scholarship Online, 2008. 65–90 с.
 22. Allen D., Tyler C.W., Norcia A.M. Development of grating acuity and contrast sensitivity in the central and peripheral visual field of the human infant // Vision Res. 1996. Т. 36, № 13. С. 1945–1953.
 23. Dubowitz L.M.S. и др. The maturation of visual acuity in neurologically normal and abnormal newborn infants // Behav. Brain Res. 1983. Т. 10, № 1. С. 39–45.
 24. Tinelli F. и др. The assessment of visual acuity in children with periventricular damage: A comparison of behavioural and electrophysiological techniques // Vision Res. 2008. Т. 48, № 10. С. 1233–1241.
 25. Atkinson J. и др. Changes in infants' ability to switch visual attention in the first three months of life. // Perception. 1992. Т. 21, № 5. С. 643–653.
 26. Cioni G. и др. Cerebral visual impairment in preterm infants with periventricular leukomalacia // Pediatr. Neurol. 1997. Т. 17, № 4. С. 331–338.
 27. Cioni G. и др. Visual information processing in infants with focal brain lesions // Exp.

- Brain Res. 1998. Т. 123, № 1–2. С. 95–101.
28. De Vries L.S. и др. Neurological, Electrophysiological and MRI Abnormalities in Infants with Extensive Cystic Leukomalacia. 1987. Т. 18, № 02. С. 61–66.
 29. Mercuri E. и др. Basal ganglia damage and impaired visual function in the newborn infant // Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed. 1997. Т. 77, № 2.
 30. Cajal S.R. Histologie du système nerveux de l'homme & des vertébrés. Ed. frança. Paris: Maloine.
 31. Zeki S. The distribution of wavelength and orientation selective cells in different areas of monkey visual cortex // Proc. R. Soc. London - Biol. Sci. 1983. Т. 217, № 1209. С. 449–470.
 32. Ricci D. и др. Early assessment of visual function in full term newborns // Early Hum. Dev. 2008. Т. 84, № 2. С. 107–113.
 33. Mercuri E. и др. Visual function and perinatal focal cerebral infarction // Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed. 1996. Т. 75, № 2. С. 76–82.
 34. Mercuri E. и др. Visual outcome in children with congenital hemiplegia: Correlation with MRI findings // Neuropediatrics. 1996. Т. 27, № 4. С. 184–188.
 35. Duin J. van H. van и др. Visual field and grating acuity development in low-risk preterm infants during the first 2 1/2 years after term // Behav. Brain Res. 1992. Т. 49, № 1. С. 115–122.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

На описываемую компьютерную программу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020662875 «Программная реализация алгоритма отслеживания направления взгляда новорожденного»

Правообладатель: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации.

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