

БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ, ЭМБРИОЛОГИЯ/DEVELOPMENT BIOLOGY, EMBRYOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.77> EDN: PVYBDF

ОСОБЕННОСТИ ЭМБРИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ СЕТЧАТКИ КУРИНЫХ ГЛАЗ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕВЫХ И ПРАВЫХ ГЛАЗНЫХ ЯБЛОК

Научная статья

Дмитриева О.С.¹, Аржанкова Ю.В.^{2,*}¹ORCID : 0000-0003-1326-7794;²ORCID : 0000-0003-0964-5270;^{1,2} Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, Великие Луки, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ar[at]vgsa.ru)

Предложена: 13.04.2026; Принята: 10.07.2026; Опубликовано: 17.07.2026

Аннотация

В статье проведен морфометрический анализ, позволивший выявить особенности развития и асимметрию в росте данных структур. Установлено, что толщина ганглиозного слоя сетчатки демонстрирует колебания доминирования: в левых глазных яблоках она преобладает на 6-10-е и 17-19-е сутки, тогда как в правых — на 11-16-е и 20-е сутки инкубации. Общее увеличение толщины слоя за период исследования составило 3,02 раза для левого глаза и 3,29 раза для правого.

Развитие слоя нервных волокон характеризуется доминированием левых глазных яблок на 6-8-е и 10-е сутки, с последующим устойчивым преобладанием правых глазных яблок на 9-е и 11-20-е сутки, при этом на 12-е, 14-е, 15-е и 17-е сутки отмечены статистически значимые различия ($p < 0,05$, $p < 0,001$). Толщина этого слоя увеличилась в 40,94 раза в левых и в 48,43 раза в правых глазных яблоках.

Внутренняя глиальная пограничная мембрана сетчатки также демонстрирует динамичную асимметрию: левые глазные яблоки имеют большую толщину на 6-13-е и 19-20-е сутки, а правые — на 14-18-е сутки инкубации. Общий рост толщины составил 37,08 раза для левого и 42,18 раза для правого глаза.

Полученные данные демонстрируют интенсивный рост всех исследованных структур сетчатки в ходе инкубации, при этом установлены сложные колебания в толщине слоёв между левым и правым глазом. Статистически значимая асимметрия ($p < 0,05$, $p < 0,001$) зафиксирована только для слоя нервных волокон в определённые дни развития с преобладанием правого глаза. Эти результаты указывают на наличие тонких асимметричных процессов в морфогенезе сетчатки, природа которых, вероятно, многофакторна и требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: куриные эмбрионы, сетчатка, ганглиозный слой, слой нервных волокон, внутренняя глиальная пограничная мембрана, асимметрия развития, инкубация.

FEATURES OF EMBRYONIC DEVELOPMENT OF THE RETINA IN CHICKEN EYES: A COMPARATIVE ANALYSIS OF LEFT AND RIGHT EYEBALLS

Research article

Dmitrieva O.S.¹, Arzhankova Y.V.^{2,*}¹ORCID : 0000-0003-1326-7794;²ORCID : 0000-0003-0964-5270;^{1,2} State Agricultural Academy of Velikie Luki, Velikie Luki, Russian Federation

* Corresponding author (ar[at]vgsa.ru)

Suggested: 13.04.2026; Accepted: 10.07.2026; Published: 17.07.2026

Abstract

The article presents a morphometric analysis that revealed features of development and asymmetry in the growth of the studied structures. It was established that the thickness of the retinal ganglion cell layer exhibits fluctuations in dominance: in the left eyeballs, it predominates on days 6–10 and 17–19, while in the right eyeballs, it predominates on days 11–16 and 20 of incubation. The overall increase in thickness of this layer during the study period was 3.02 times for the left eye and 3.29 times for the right eye.

The development of the nerve fiber layer is characterized by dominance of the left eyeballs on days 6–8 and 10, followed by a sustained predominance of the right eyeballs on days 9 and 11–20, with statistically significant differences noted on days 12, 14, 15, and 17 ($p < 0,05$, $p < 0,001$). The thickness of this layer increased by 40.94 times in the left and 48.43 times in the right eyeballs.

The inner glial limiting membrane of the retina also shows dynamic asymmetry: the left eyeballs have greater thickness on days 6–13 and 19–20, while the right eyeballs exhibit greater thickness on days 14–18 of incubation. The overall growth in thickness was 37.08 times for the left eye and 42.18 times for the right eye.

The obtained data demonstrate intensive growth of all studied retinal structures during incubation, with complex fluctuations in layer thickness between the left and right eyes. Statistically significant asymmetry ($p < 0,05$, $p < 0,001$) was recorded only for the nerve fiber layer on certain days of development, with predominance of the right eye. These results

indicate the presence of subtle asymmetric processes in the morphogenesis of the retina, the nature of which is likely multifactorial and requires further investigation.

Keywords: chicken embryos, retina, ganglion cell layer, nerve fiber layer, inner glial limiting membrane, developmental asymmetry, incubation.

Введение

Орган зрения является одной из наиболее сложно организованных сенсорных систем позвоночных животных, обеспечивающей восприятие и первичную обработку зрительной информации. Сетчатка представляет собой высокоспециализированную многослойную нервную ткань, в которой происходят процессы преобразования световых сигналов в нервные импульсы. Формирование сетчатки в эмбриогенезе является результатом последовательных морфогенетических, клеточных и молекулярных процессов, включающих пролиферацию ретинальных клеток-предшественников, их дифференцировку, миграцию и организацию в функционально специализированные клеточные слои [5], [8].

Куриный эмбрион (*Gallus gallus domesticus*) на протяжении нескольких десятилетий остается одной из наиболее востребованных экспериментальных моделей для изучения эмбрионального развития глаза благодаря доступности объекта исследования, высокой воспроизводимости стадий эмбриогенеза, сходству основных механизмов формирования сетчатки с другими позвоночными и широким возможностям применения современных морфологических, иммуногистохимических и молекулярно-генетических методов исследования [1], [8]. Использование куриного эмбриона позволило детально охарактеризовать последовательность формирования глазного пузыря, глазного бокала, нейросетчатки и пигментного эпителия, а также определить временные особенности дифференцировки основных типов ретинальных клеток [4].

Изучение морфологии сетчатки у эмбрионов птиц имеет особое значение, поскольку птицы обладают одной из наиболее высокоорганизованных зрительных систем среди позвоночных. Высокая острота зрения обеспечивает ориентацию в пространстве, поиск пищи, распознавание объектов, пространственную навигацию и реализацию сложных поведенческих реакций. Именно поэтому процессы формирования структур сетчатки в эмбриогенезе представляют значительный интерес как для фундаментальной биологии развития, так и для ветеринарной офтальмологии.

Использование технологии одноклеточного секвенирования РНК (scRNA-seq) позволило существенно расширить представления о клеточном разнообразии сетчатки курицы. В исследовании была построена детальная транскриптомная карта сетчатки, позволившая идентифицировать многочисленные типы нейронов и глиальных клеток, а также проследить траектории их дифференцировки в процессе развития [9].

Особое внимание современных исследователей привлекает проблема формирования функциональной и молекулярной асимметрии зрительной системы птиц. Показано, что уже на поздних этапах эмбриогенеза между правым и левым глазом начинают формироваться различия, обусловленные особенностями положения эмбриона в яйце и неодинаковым воздействием света на сетчатку [2]. Воздействие света преимущественно на правый глаз в последние дни инкубации сопровождается изменением экспрессии генов, участвующих в развитии сетчатки, и определяет дальнейшее формирование зрительной латерализации мозга. Использование методов транскриптомного анализа подтвердило существование различий в экспрессии генов между левой и правой сетчаткой еще до момента вылупления, что свидетельствует о начале формирования функциональной асимметрии на эмбриональных стадиях развития [6].

В последние годы все большее внимание уделяется изучению морфогенетических особенностей развития сетчатки куриного эмбриона, поскольку именно в пренатальном периоде закладываются структурные основы функционирования зрительной системы. Наряду с исследованиями молекулярных механизмов нейрогенеза и клеточной дифференцировки, актуальным направлением остается количественная оценка морфологических изменений сетчатки на различных стадиях эмбриогенеза. Показано, что в процессе развития происходят закономерные изменения толщины отдельных слоев сетчатки, отражающие последовательную дифференцировку нейрональных элементов и созревание зрительной системы. При этом на отдельных этапах эмбриогенеза были выявлены статистически значимые межглазные различия морфометрических показателей, что свидетельствует о возможности формирования структурной асимметрии сетчатки уже в пренатальном периоде развития. Полученные результаты дополняют современные представления о морфогенезе органа зрения у птиц и подчеркивают необходимость дальнейших исследований, направленных на изучение закономерностей формирования левой и правой сетчатки в эмбриогенезе [3].

Методы и методы исследования

В исследовании использовался яичный кросс кур породы Ломанн Браун. Всего было инкубировано 45 яиц в лаборатории ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА. Инкубация осуществлялась в инкубаторе ИБЛ-770 при температуре $37,6 \pm 0,1$ °C и относительной влажности 54–57% в соответствии с рекомендациями ВНИТИП для инкубации яиц сельскохозяйственных птиц. Для морфологических, морфометрических и гистологических анализов сетчатки левых и правых глазных яблок отбирались эмбрионы на каждом исследуемом этапе — с 6-го по 20-й день инкубации.

Количество анализируемых эмбрионов в каждую суточную точку составило по 3 глазных яблока с каждой стороны (левого и правого). Данный объем выборки обусловлен высокой однородностью биологического материала (использование одного кросса птицы в строго стандартизированных условиях инкубации) и этическими нормами работы с эмбрионами, что позволяет выявить ключевые тенденции асимметрии развития.

Для фиксации глазные яблоки сразу после изъятия помещались в 10%-ный раствор нейтрального формалина и выдерживались в нем до полной фиксации. После фиксации ткани подвергались стандартным процедурам заливки в

парафин с последующим приготовлением гистологических срезов толщиной до 10 мкм. Срезы окрашивались гематоксилин-эозином для выявления структурных особенностей тканей сетчатки.

Исследование проводилось на срезах в сагиттальной плоскости, включающей центральную область сетчатки глазного яблока. Точка измерения стандартизировалась по анатомическому ориентиру — морфометрию проводили в области сетчатки на фиксированном расстоянии (500 мкм) латеральнее и медиальнее от места выхода зрительного нерва.

Оценивалась толщина трёх ключевых структур сетчатки: ганглиозного слоя, слоя нервных волокон и внутренней глиальной пограничной мембраны. Морфометрический анализ толщины осуществлялся с использованием светового микроскопа с постоянным увеличением $\times 400$. Для измерений применялось программное обеспечение ImageJ (версия 1.53), что обеспечивало высокую точность и воспроизводимость результатов. На каждом гистологическом срезе выполнялось по 5 измерений толщины каждой исследуемой структуры в различных точках центральной области сетчатки, после чего рассчитывалось среднее значение для каждого глазного яблока. Для исключения субъективного фактора морфометрия проводилась «слепым» методом — исследователь проводил измерения на зашифрованных препаратах, не зная латеральности (левый/правый) оцениваемого глаза.

Полученные данные были систематизированы и представлены в таблице 1, где для каждого исследуемого дня инкубации приведены средние значения толщины соответствующих слоев с указанием стандартного отклонения для левых и правых глазных яблок. Анализ данных включал сравнение толщины соответствующих структур между левыми и правыми глазными яблоками на каждом этапе инкубации. Для оценки статистической значимости различий применялся парный t-критерий Стьюдента. Применение параметрического критерия при малом объеме выборки ($n=3$) в данном исследовании обосновано ожидаемо близким к нормальному распределением морфометрических признаков у генетически однородных эмбрионов, развивающихся в строго контролируемых условиях инкубации.

Визуализация динамики изменений толщины ганглиозного слоя, слоя нервных волокон и внутренней глиальной пограничной мембраны сетчатки левых и правых глазных яблок в процессе эмбрионального развития кур представлена на рисунках 1, 2 и 3 соответственно. Эти графические представления позволяют наглядно оценить характер и степень асимметрии в развитии исследуемых структур.

Основные результаты

В ходе исследования была проанализирована динамика толщины трёх слоёв сетчатки в период с 6-х по 20-е сутки инкубации (табл. 1).

Таблица 1 - Динамика толщины ганглиозного слоя, слоя нервных волокон, внутренней глиальной пограничной мембраны сетчатки левых и правых глазных яблок в период инкубации куриных эмбрионов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.77.1>

Сутки развития	Толщина ганглиозного слоя, мкм		Толщина слоя нервных волокон, мкм		Толщина внутренней глиальной пограничной мембраны, мкм	
	Левое (Л)	Правое (П)	Левое (Л)	Правое (П)	Левое (Л)	Правое (П)
6	23,18 $\pm$ 0,52	21,75 $\pm$ 0,19	0,78 $\pm$ 0,24	0,68 $\pm$ 0,27	1,12 $\pm$ 0,40	0,97 $\pm$ 0,37
7	25,54 $\pm$ 0,30	24,08 $\pm$ 0,58	2,14 $\pm$ 0,44	1,75 $\pm$ 0,35	3,22 $\pm$ 0,13	2,72 $\pm$ 0,23
8	28,56 $\pm$ 0,70	27,82 $\pm$ 0,52	3,65 $\pm$ 0,51	3,00 $\pm$ 0,40	4,85 $\pm$ 0,55	3,84 $\pm$ 0,34
9	31,55 $\pm$ 0,64	30,24 $\pm$ 0,78	4,37 $\pm$ 0,36	4,66 $\pm$ 0,33	6,47 $\pm$ 0,99	5,57 $\pm$ 0,66
10	34,29 $\pm$ 0,53	33,39 $\pm$ 0,82	7,17 $\pm$ 0,43	6,62 $\pm$ 0,28	9,21 $\pm$ 0,48	8,02 $\pm$ 0,56
11	36,45 $\pm$ 0,39	36,93 $\pm$ 0,70	9,18 $\pm$ 0,40	9,52 $\pm$ 0,63	11,47 $\pm$ 0,68	10,66 $\pm$ 0,66
12	38,58 $\pm$ 0,43	40,16 $\pm$ 0,60	10,90 $\pm$ 0,37	12,76 $\pm$ 0,52*	15,69 $\pm$ 0,49	14,73 $\pm$ 0,71
13	41,75 $\pm$ 0,88	43,71 $\pm$ 0,53	13,65 $\pm$ 0,42	15,76 $\pm$ 0,64	18,29 $\pm$ 0,94	17,74 $\pm$ 0,48
14	45,86 $\pm$ 0,62	46,71 $\pm$ 0,59	15,61 $\pm$ 0,65	18,70 $\pm$ 0,74*	20,66 $\pm$ 0,62	21,87 $\pm$ 0,67
15	48,85 $\pm$ 1,03	49,76 $\pm$ 0,57	17,01 $\pm$ 0,03	21,17 $\pm$ 0,39*** *	23,08 $\pm$ 0,51	25,34 $\pm$ 0,64
16	52,41 $\pm$ 0,66	52,84 $\pm$ 0,54	20,71 $\pm$ 0,65	22,91 $\pm$ 0,60	26,87 $\pm$ 0,46	28,38 $\pm$ 0,43
17	57,49 $\pm$ 0,82	55,88 $\pm$ 0,53	23,68 $\pm$ 0,37	25,90 $\pm$ 0,51*	30,27 $\pm$ 0,54	31,48 $\pm$ 0,76
18	61,36 $\pm$ 1,02	60,42 $\pm$ 0,84	26,08 $\pm$ 0,64	28,52 $\pm$ 0,67	34,03 $\pm$ 1,02	34,79 $\pm$ 0,66
19	65,84 $\pm$ 0,99	64,45 $\pm$ 0,84	28,20 $\pm$ 0,52	29,53 $\pm$ 0,64	37,42 $\pm$ 0,59	37,28 $\pm$ 0,55
20	70,08 $\pm$ 0,84	71,65 $\pm$ 1,39	31,93 $\pm$ 0,77	32,93 $\pm$ 0,55	41,53 $\pm$ 0,53	40,91 $\pm$ 0,69

Примечание: * – $p < 0,05$; *** – $p < 0,001$

На 6-е сутки инкубации средняя толщина ганглиозного слоя в левых глазных яблоках ($23,18 \pm 0,52$ мкм) была выше, чем в правых ($21,75 \pm 0,19$ мкм). На 7-е сутки эта тенденция сохранялась. Данные различия не были статистически значимыми.

Ганглиозный слой демонстрировал колебательный характер асимметрии: его толщина была выше в левых глазных яблоках на 6-10-е и 17-19-е сутки, а в правых — на 11-16-е и 20-е сутки; за весь период наблюдения статистически значимых различий для данного слоя выявлено не было (рис. 1).

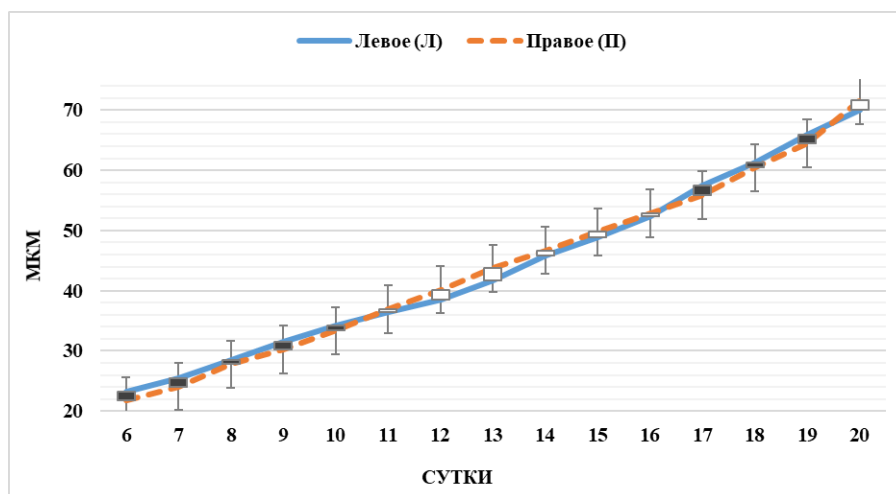


Рисунок 1 - Изменение толщины ганглиозного слоя сетчатки левых и правых глазных яблок в процессе эмбрионального развития кур

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.77.2>

В отличие от ганглиозного слоя, слой нервных волокон показал более выраженную и устойчивую асимметрию. После начального периода преобладания левого глаза (6–8-е, 10-е сутки) с 11-х суток установилось устойчивое преобладание правого глаза, причём различия в его пользу были статистически значимыми на 12-е ($p < 0,05$), 14-е ($p < 0,05$), 15-е ($p < 0,001$) и 17-е ($p < 0,05$) сутки инкубации (рис. 2).

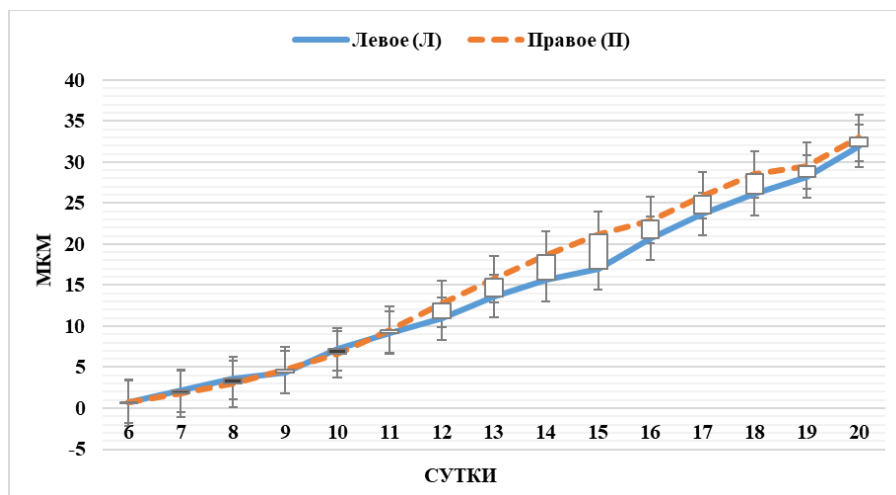


Рисунок 2 - Изменение толщины слоя нервных волокон сетчатки левых и правых глазных яблок в процессе эмбрионального развития кур

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.77.3>

Внутренняя глиальная пограничная мембрана, в свою очередь, также показала динамичную асимметрию с преобладанием левого глаза в начале (6–13-е сутки) и в конце (19–20-е сутки) периода и преобладанием правого глаза в середине (14–18-е сутки), однако статистически значимых различий для этого слоя также не зафиксировано (рис. 3).

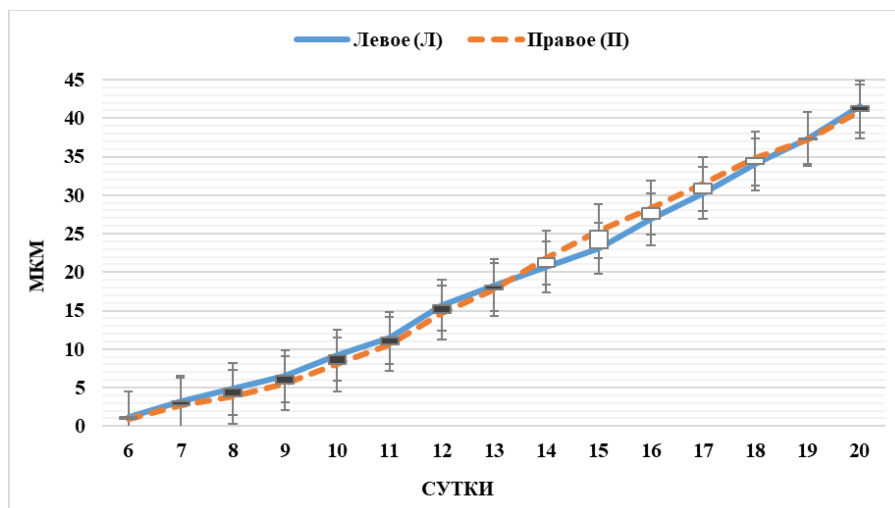


Рисунок 3 - Изменение толщины внутренней глиальной пограничной мембраны сетчатки левых и правых глазных яблок в процессе эмбрионального развития кур
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.77.4>

Ключевым результатом нашего исследования является выявление сложных, специфичных для каждого слоя паттернов морфометрической асимметрии в развитии внутренних слоёв сетчатки у куриных эмбрионов. Полученные данные показывают, что латерализация зрительной системы является не монолитным, а гетерогенным процессом, где разные структурные компоненты демонстрируют различную динамику развития.

Наиболее ярко и последовательно теория о свето-индуцированной латерализации подтверждается нашими данными о развитии слоя нервных волокон. В этом слое, после начального периода колебаний, с 11-х суток устанавливается устойчивое и статистически значимое доминирование правого глаза ($p < 0,05$; $p < 0,001$). Это полностью согласуется с устоявшимся представлением о том, что положение эмбриона в яйце приводит к преимущественному освещению правого глаза, стимулируя более активное развитие и созревание его зрительных путей. Поскольку слой нервных волокон состоит из аксонов ганглиозных клеток, формирующих зрительный нерв, его утолщение является прямым морфологическим коррелятом усиленного роста и организации исходящих зрительных проекций.

В отличие от этого, ганглиозный слой, содержащий тела ганглиозных клеток, продемонстрировал более сложную, колебательную динамику без статистически значимых различий между левым и правым глазом. Полученные нами данные свидетельствуют о выраженной динамике развития ганглиозного слоя с незначительным общим преимуществом в утолщении правых глазных яблок к концу инкубации. Эти результаты соотносятся с рядом исследований, посвящённых латерализации зрительной системы у *Gallus gallus* и других видов птиц. Однако отсутствие устойчивого доминирования одного из глаз на протяжении всего периода может указывать на то, что развитие клеточных тел подвержено влиянию более сложного набора факторов, чем просто световая стимуляция. Эти колебания могут отражать идущие волнами процессы пролиферации, апоптоза и миграции клеток, которые регулируются не только внешними (свет), но и внутренними генетическими и эпигенетическими программами. Таким образом, асимметрия развития ганглиозного слоя у *Gallus gallus* является следствием комплексного взаимодействия факторов внешней среды и внутреннего генетического кода, что соответствует современным представлениям о формировании функциональной латерализации у птиц [10].

Динамика развития внутренней глиальной пограничной мембраны также носила колебательный характер, что может быть связано с её поддерживающей функцией. Развитие глиальных структур, формирующих эту мембрану, вероятно, следует за циклами нейронального развития, обеспечивая структурную поддержку и гомеостаз в периоды наиболее интенсивного роста и реорганизации нейронов. Отсутствие устойчивой латерализации в этом слое может означать, что его развитие в большей степени определяется локальными клеточными взаимодействиями, а не глобальным асимметричным стимулом, таким как свет.

В заключение, наше исследование демонстрирует, что морфологическая асимметрия сетчатки куриного эмбриона не является однородной. В то время как развитие аксональных путей (слой нервных волокон) четко следует модели свето-индуцированной латерализации, развитие клеточных тел (ганглиозный слой) и поддерживающих глиальных структур (внутренняя глиальная пограничная мембрана) подчиняется более сложной, волнообразной динамике.

Таким образом, можно предположить, что наблюдаемая нами динамика асимметрии является следствием комплексного взаимодействия различных факторов. Данное предположение соответствует современным представлениям о формировании функциональной латерализации у птиц, однако для его подтверждения необходимы дальнейшие прямые экспериментальные исследования.

Заключение

В ходе исследования установлен надёжный факт значительного роста всех трёх изученных структур сетчатки в период с 6-х по 20-е сутки инкубации. Толщина ганглиозного слоя увеличилась примерно в 3 раза, а толщина слоя нервных волокон и внутренней глиальной пограничной мембраны – более чем в 35 раз, что подчёркивает интенсивность морфогенеза зрительной системы.



Анализ межглазных различий выявил сложную динамику с периодами доминирования то левого, то правого глаза. Однако статистически значимая асимметрия была подтверждена только для слоя нервных волокон на 12, 14, 15 и 17-е сутки, где правые глазные яблоки демонстрировали большую толщину ($p < 0,05$, $p < 0,001$). Для ганглиозного слоя и внутренней глиальной мембраны значимых различий не обнаружено.

Наблюдаемые колебания и точечные проявления асимметрии предположительно могут быть результатом взаимодействия внутренних (генетических) и внешних (пренатальное воздействие света) факторов, однако для подтверждения этой гипотезы и выяснения конкретных механизмов требуются дальнейшие исследования.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке АО «Альфа-Банк» в рамках грантовой программы «Альфа-Будущее Гранты Преподавателям».

Благодарности

Автор статьи выражает глубокую признательность программе «Альфа-Будущее Гранты Преподавателям» за оказанную поддержку и финансовое содействие, которые способствовали успешному проведению исследования.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The research was carried out with the financial support of JSC "Alfa-Bank" within the framework of the grant program "Alfa-Future Grants for Teachers".

Acknowledgement

The author of the article expresses deep gratitude to the "Alpha-Future Grants for Teachers" program for the support and financial assistance that contributed to the successful completion of the research.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Belecky-Adams T.L. The Chick as a Model for Retina Development and Regeneration / T.L. Belecky-Adams, T. Haynes, J.M. Wilson [et al.] // *Animal Models in Eye Research*. — 2008. — P. 102–119. — DOI: 10.1016/B978-0-12-374169-1.00008-4.
2. Cvekl A. PAX6: 25th anniversary and more to learn / A. Cvekl, P. Callaerts // *Experimental Eye Research*. — 2017. — Vol. 156. — P. 10–21.
3. Dmitrieva O. Morphogenetic dynamics of the eye retina of chicken embryos in the second half of the antenatal period / O. Dmitrieva, Ju. Arzhankova, T. Skoptsova [et al.] // *BIO Web of Conferences*. — 2025. — Vol. 160. — DOI: 10.1051/bioconf/202516001012.
4. Doh S.T. Analysis of retinal cell development in chick embryo by immunohistochemistry and in ovo electroporation techniques / S.T. Doh, H. Hao, S.C. Loh [et al.] // *BMC Developmental Biology*. — 2010. — Vol. 10. — DOI: 10.1186/1471-213X-10-8.
5. Fuhrmann S. Eye morphogenesis and patterning of the optic vesicle / S. Fuhrmann // *Current Topics in Developmental Biology*. — 2010. — Vol. 93. — P. 61–84. — DOI: 10.1016/B978-0-12-385044-7.00003-5.
6. Versace E. Light-induced asymmetries in embryonic retinal gene expression are mediated by the vascular system and extracellular matrix / E. Versace, P. Sgadò, J. George [et al.] // *Scientific Reports*. — 2022. — Vol. 12. — № 1 — DOI: 10.1038/s41598-022-14963-8.
7. Martinez-Morales J.R. Differentiation of the vertebrate retina is coordinated by a network of eye field transcription factors / J.R. Martinez-Morales, F. Del Bene, G. Nica [et al.] // *Development*. — 2004. — Vol. 131, № 22. — P. 5669–5681.
8. Vergara M.N. Rediscovering the chick embryo as a model to study retinal development / M.N. Vergara, M.V. Canto-Soler // *Neural Development*. — 2012. — Vol. 7. — DOI: 10.1186/1749-8104-7-22.
9. Yamagata M. A cell atlas of the chick retina based on single-cell transcriptomics / M. Yamagata, W. Yan, J.R. Sanes // *eLife*. — 2021. — Vol. 10. — DOI: 10.7554/eLife.63907.
10. Soma M. Behavioral and Evolutionary Perspectives on Visual Lateralization in Mating Birds: A Short Systematic Review / M. Soma // *Frontiers in Physiology*. — 2022. — Vol. 12. — DOI: 10.3389/fphys.2021.801385.