

Анатомическая асимметрия репродуктивной системы женщины: эволюционная ошибка или полезная особенность?

А.А. Баландин, А.М. Димидова, И.А. Баландина, А.С. Кобелева

ФГБОУ ВО Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера Минздрава России, Пермь, Россия

Резюме. В статье освещается анатомическая асимметрия репродуктивной системы женщины. Симметрия обычно ассоциируется с гармонией или чем-то совершенным, но также символизирует форму монотонной жесткости. Напротив, асимметрия, которая также распространена среди множества биологических видов нашей планеты, часто олицетворяет неупорядоченность, и именно эта непредсказуемость делает ее привлекательной для изучения. Больше того, симметрии как таковой в биологическом мире крайне мало. Таким образом, следует заключение, что появление асимметрии является важным эволюционным механизмом, позволяющим конкретному виду адаптироваться и выживать. Человек, будучи частью живой природы, не исключение. Большинство систем и органов, их составляющих в человеческом организме, асимметрично. Мы решили сосредоточить внимание на репродуктивной системе женщины. Наш выбор обусловлен тем, что эта система достаточно сложно устроена как анатомически, так и функционально. Репродуктивная система женского организма выполняет важнейшие функции, главная из которых – воспроизведение и вынашивание потомства. Вопрос анатомической асимметрии репродуктивной системы женщины в первую очередь актуален и тем, что высокая распространенность патологии, приводящей в том числе к бесплодию, имеет тенденцию, по данным научной литературы, к принципу симметрия–асимметрия.

Ключевые слова: репродуктивная система, маточные трубы, яичники, мозг, асимметрия, анатомия
Для корреспонденции: Ирина Анатольевна Баландина. E-mail: balandina_ia@mail.ru

Для цитирования: Баландин А.А., Димидова А.М., Баландина И.А., Кобелева А.С. Анатомическая асимметрия репродуктивной системы женщины: эволюционная ошибка или полезная особенность? Клин. эксп. морфология. 2025;14(2):80–86. DOI: 10.31088/СЕМ2025.14.2.80-86.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного бюджетного финансирования.

Статья поступила 17.05.2024. Получена после рецензирования 19.06.2024. Принята в печать 24.06.2024.

Anatomical asymmetry of the female reproductive system – evolutionary error or useful feature?

A.A. Balandin, A.M. Dimidova, I.A. Balandina, A.S. Kobeleva

E.A. Vagner Perm State Medical University, Perm, Russia

Abstract. The review highlights the issue of the anatomical asymmetry of a female reproductive system. Is this an evolutionary error or a useful feature? Symmetry is usually associated with harmony or something perfect; it also symbolizes a form of monotonous rigidity. On the contrary, asymmetry, which is common among biological species, often embodies disorder, and it is unpredictability that makes it attractive to study. Moreover, there is very little symmetry as such in the biological world. Thus, it follows that asymmetry is an important evolutionary mechanism that allows a particular species to adapt and survive. A human being, being a part of wildlife, is no exception at all. Most of the systems and organs that make up the human body are asymmetric. We decided to focus on the female reproductive system. We decided to study this system because it is complicated both anatomically and functionally. The female reproductive system performs the most important functions, the main of which is reproduction and bearing an offspring. Anatomical asymmetry of a female reproductive system is primarily relevant because the high prevalence of pathology, including infertility, tends, according to scientific literature, to the principle of symmetry–asymmetry.

Keywords: reproductive system, fallopian tubes, ovaries, brain, asymmetry, anatomy

Corresponding author: Irina A. Balandina. E-mail: balandina_ia@mail.ru

For citation: Balandin A.A., Dimidova A.M., Balandina I.A., Kobeleva A.S. Anatomical asymmetry of the female reproductive system – evolutionary error or useful feature? Clin. exp. morphology. 2025;14(2):80–86 (In Russ.). DOI: 10.31088/CEM2025.14.2.80-86.

Funding. The study was carried out within the framework of state budget funding.

Received 17.05.2024. **Received in revised form** 19.06.2024. **Accepted** 24.06.2024.

Введение

Стремление к симметричной организации биомеханических и биологических систем – достаточно широко распространенный признак в живой природе. Симметрия, особенно двусторонняя (билатеральная), обычно ассоциируется с гармонией или чем-то совершенным, но также символизирует форму монотонной жесткости. Напротив, асимметрия, которая также распространена среди множества биологических видов нашей планеты, часто олицетворяет неупорядоченность, и именно эта непредсказуемость делает ее привлекательной для изучения [1–3]. Каждый вид, существующий на нашей планете, является уникальным продуктом длинного эволюционного пути. Появление асимметрии является важным эволюционным механизмом, позволяющим конкретному виду адаптироваться и выживать [4]. Человек, будучи частью живой природы, не исключение. Большинство систем и органов, их составляющих, в человеческом организме, асимметрично. Мы решили сфокусировать свое внимание на женской репродуктивной системе. Наш выбор обусловлен тем, что эта система достаточно сложно устроена как анатомически, так и функционально. Репродуктивная система женского организма выполняет важнейшие функции, главная из которых – воспроизведение и вынашивание потомства, также эта система напрямую влияет и на гормональный фон, вызывая в разные периоды жизни понижение или повышение уровня определенных гормонов, что неизбежно оставляет след на самочувствии и здоровье женщины [5–8]. Вопрос анатомической асимметрии репродуктивной системы женщины в первую очередь актуален тем, что высокая распространенность патологии, приводящей в том числе к бесплодию, имеет тенденцию, по данным научной литературы, к принципу симметрия–асимметрия [9]. Так, X. Wei et al. проанализировали локализацию патологии в репродуктивной женской системе за 12-летний период [10]. Исследователи получили следующий результат: трубная беременность встречалась в правой маточной трубе в 54,48% всех случаев, что, по мнению авторов, значительно превышает 50% ($p < 0,001$, биномиальный тест). Также, по их данным, желтое тело чаще располагалось в правом яичнике (58,62%, $p < 0,001$), а разрыв маточной трубы вследствие трубной беременности чаще наблюдался слева. A. Prodromidou et al. выявили, что паховые грыжи, содержащие придатки матки, чаще локализуются слева (77%) [11]. Годом позже ученые из Шанхая X. He et al., изучавшие локализацию тератом яичников в популяции китайских пациенток, установили, что среди

3835 случаев эта патология в 53,24% имела правостороннюю локализацию [12].

Морфофункциональная характеристика репродуктивной системы женщины

С точки зрения физиологии правильность работы репродуктивной системы женщины заключается в ее цикличности. Руководят функционированием репродуктивной системы секреторные отделы головного мозга, прежде всего гипофиз и гипоталамус. Гормоны, редуцирующиеся передней долей гипофиза и яичниками, влияют на толщину эндометрия, длительность фаз менструального цикла и даже на температуру тела женщины [13].

Репродуктивная система сложна не только в плане физиологии, но и с точки зрения анатомического строения. К репродуктивной системе женщин относят матку, маточные трубы и яичники. Матка – достаточно подвижный и изменчивый орган. Вследствие того, что во время беременности матка увеличивается в несколько раз, ей необходим особый поддерживающий связочный аппарат [14, 15]. По краям матки находятся две широкие связки – правая и левая. Особенностью этих связок является то, что в их свободных краях расположены маточные трубы. На переднебоковой поверхности матки прикрепляется круглая связка. Прямокишечно-маточная связка проходит в прямокишечно-маточных складках и соединяет шейку матки с боковыми поверхностями прямой кишки. Кроме этого к матке прикрепляется собственная связка яичника, которая удерживает яичник так же, как и круглая связка матки [16, 17].

Заострим внимание на анатомических особенностях строения репродуктивной системы. Как показывают последние морфологические исследования, ее структура значительно асимметрична – правые отделы преобладают в размерах над левыми, причем это касается не только труб, но и яичников, а также строения кровеносного регионального русла [18–21]. Для чего сформировалась эта асимметрия? Это эволюционная ошибка или полезная особенность?

Асимметрия живого и ее виды

Для начала стоит разобраться, какой вообще бывает асимметрия. Достаточно полно виды асимметрии описывает в своей обзорной статье канадский ученый A.R. Palmer [22]. Он отмечает сложность классификации асимметрии вследствие большого разнообразия асимметричных форм в природе, а также многовариантных по строению тел животных и обращает внимание на необходимость сосредоточиться на направлении

(векторе) асимметрии. Palmer подразделяет анатомическую асимметрию живого на правостороннюю, левостороннюю и антисимметрию, когда часть в популяции имеет правостороннюю, а часть левостороннюю асимметрию [22]. В следующем обзоре A.R. Palmer подразделяет биологическую асимметрию на три типа: генетически обусловленную (в этом случае асимметрия как признак принадлежит подавляющему числу объектов в популяции), асимметрию, сформированную воздействием факторов внешней среды (как правило, присуща растениям), и стохастическую (она же случайная, когда в популяции нет четкого превалирования право- и леворукости) [23].

Японский ученый Н. Namada в своей обзорной статье также определил три вида асимметрии, но классифицировал их согласно осям туловища у билатеральных животных. Это асимметрия по переднезадней, дорсовентральной и лево/правой оси [24].

В случае изучения репродуктивной системы женщины мы имеем дело с генетически обусловленной (так как этот признак присутствует у большинства в популяции) лево/правой по оси асимметрией. Тут стоит заострить внимание на том, что формируется этот вид асимметрии намного позднее прочих, однако уже присутствует в раннем пренатальном периоде. В научной литературе описано раннее определение доминирующей руки у эмбриона человека. Так, уже к 15-й неделе гестации плод совершает существенно больше движений правой рукой, нежели левой [1, 25]. Согласно концепции интеграции асимметричного мозга в строение всего организма у билатеральных животных формируется лево/правая асимметрия как следствие влияния работы асимметричного мозга на функционирование внутренних органов. К настоящему времени в научной литературе описаны множественные морфофункциональные исследования, в которых доказываются наличие анатомической межполушарной асимметрии, доминантного полушария, а также «специализация» гемисфер и, что важно, структур не только большого мозга, но и мозжечка [1, 25–31].

Асимметрия и головной мозг

Перед исследователями встает еще один вопрос: что собой представляет «внутренняя асимметрия» мозга, которая оказывает влияние на строение организма? Для чего в ходе эволюции появился асимметричный головной мозг? Обратимся к истории изучения этого вопроса. Еще в середине XIX века известные ученые в области нейроанатомии и психоморфологии Поль Брока и Карл Вернике выявили «выраженную неодинаковость» между визуально одинаковыми полушариями единого головного мозга. У пациентов, перенесших острые ишемические нарушения в левом полушарии, клиническая картина сильно разнилась с картиной у тех, у кого инфаркт мозга произошел в правом полушарии. Через несколько десятилетий после первоначальных исследований пациентов с афазией было

показано, что поражения правого полушария мозга приводят к снижению выраженности эмоций вплоть до патологического безразличия. У пострадавших с поражением структур правого полушария мозга описывались синдромы, называемые левосторонним невниманием, при котором пациенты не обращают внимания на предметы, попавшие в их левое поле зрения. Слова Поля Брока: «Мы говорим левым полушарием!» произвели на собрании Национальной медицинской академии (Париж, 1865) фурор [1, 32, 33]. Немного позже, уже в начале XX столетия, выдающийся немецкий ученый Корбиниан Бродман создал карты коры больших полушарий. В своих работах он описывал среди прочего функциональную и тканевую разнородность между полушариями мозга [34–36]. Больше того, как показывают исследования, проведенные на грызунах, головному мозгу присуща региональная гетерогенность на уровне органелл (митохондрий) [37]. Были выявлены серьезные различия у нейрональных митохондрий разных областей мозга, что делает их по-разному уязвимыми перед ишемическими повреждениями. Современная наука нашла ответ на вопрос о морфофункциональной асимметричности мозга – это латерализация. Процесс латерализации полушарий большого мозга эволюционно обеспечил когнитивные преимущества тем видам, у которых он прошел; это позволяет полушариям выполнять одновременно несколько задач, значительно сокращая время принятия решения. Исследований, показывающих эволюционное преимущество латерализации, много. Их проводили на цыплятах, жабах, собаках и лошадях. Известный пример: птенцы, имевшие латерализацию, быстрее реагировали на макет хищника, отвлекаясь от процесса добычи пищи. Похожий эксперимент был проведен с рыбами: рыбы, обладающие латерализацией головного мозга, имели более высокий коэффициент полезного действия при добыче корма в присутствии хищника, чем рыбы без латерализации [1, 38–40]. Кроме того, есть исследования, в которых приводятся аргументы в пользу того, что латерализация не является новым веянием эволюции [33]. Группа ученых проанализировала следы укусов на спине кембрийских трилобитов, живших на планете сотни миллионов лет назад. В результате этой работы было выявлено, что у двух третей животных следы укусов локализовались на правой стороне их тела, в то время как у оставшейся трети были либо левосторонние, либо двусторонние отметины от укусов. Крупный хищник *Anomalocaris* регулярно охотился на трилобитов, в качестве инструмента выживания используя пару колючих передних конечностей. При реконструкции охоты этого хищника выяснилось, что наиболее вероятным вариантом его биомеханического воздействия на жертву было использование левой конечности при удержании трилобита в нужном положении. При этом укусы располагались в задней части трилобита справа. Если допустить, что такая реконструкция верна, то охотничья стратегия ано-

малокариса является первым примером латерализации структур головного мозга, а значит, она существовала задолго до появления человека.

Необходимо заметить, что асимметрия нестабильна и может изменяться с возрастом. Так, например, в исследовании Н.И. Ананьевой и соавт. [41] описано неравномерное уменьшение структур головного мозга в разных гемисферах. Такие структуры как бледный шар и хвостатое ядро уменьшаются сильнее в левом полушарии, в то время как в правом полушарии становятся меньше размеры скорлупы.

Среди множества исследований, посвященных изучению латерализации структур головного мозга, отдельно стоит выделить работы M.S. Gazzaniga, американского ученого, нейропсихолога и нейроморфолога, отдавшего десятилетия изучению асимметрии головного мозга и опубликовавшего немало научных трудов [42–46]. Он склоняется к тому, что разнообразие речи (письменной и устной) возникло именно благодаря разделению «специализаций» полушарий. Если рассуждать упрощенно, письменная речь относится к упорядочению слов (информации), основанной на особых правилах. Она нужна людям для обеспечения максимально информативного общения. А вот устная речь – это «внутренний словарь» разума, в котором определенные слова ассоциируются с определенными значениями. Механизм функционирования с большой долей вероятности заключается в том, что работу письменной речи обуславливает фактор долговременной памяти, поскольку именно с помощью памяти такие цепочки из слов, как, например, идиомы или пословицы, могут быть выучены наизусть. Хотя очевидно, что память не может обеспечивать все разнообразие речи, поскольку существует бесконечно много уникальных предложений. При произнесении фраз такие цепочки слов не отражают находящееся в их основе взаимодействие синтаксических и семантических систем. Вместо этого они, по сути, являются заимствованиями из «лексикона памяти». Если подводить сказанное к логическому заключению, то система мозга, отвечающая за письменную речь, должна иметь четкую локализацию, а система, отвечающая за устную, должна быть распределенной в сетях нейронов мозга, и поэтому ее труднее повредить полностью [45]. Отдельно хочется выделить асимметричность гиппокампа: так, синаптическое распределение рецепторов NMDA в гиппокампе взрослого человека асимметрично между структурами левого и правого полушария. Лево/правая асимметрия гиппокампа, по мнению ученых, может быть необходима для более качественного пространственного обучения и запоминания [24].

Генетическая обусловленность асимметрии

Вернемся к асимметрии человеческого организма. Так как асимметричность в репродуктивной системе женщины присуща большинству в популяции, она является генетически обусловленной. Каков же молеку-

лярно-клеточный механизм внутренней асимметрии? В середине 1990-х годов идентификация таких генов как *Nodal* и *Lefty*, асимметрично экспрессируемых у эмбрионов цыплят и мышей, стала прорывом в изучении этого вопроса асимметрии у билатеральных животных.

Чуть позднее было обнаружено, что ген с мутацией *iv* кодирует аксонемный белок динеин. Это подтверждает идею, что асимметрия по лево/правой оси требует подвижных ресничек эмбриона, а ген, в котором содержится мутация *inv*, кодирует крупный белок, называемый инверсином [24]. Цитоплазматический динеин отвечает за транспортировку молекул внутри клеточной сомы в интерфазных клетках, опосредует сборку веретена и правильное позиционирование хромосом во время процесса клеточного деления. Некоторые изоформы динеина транспортируют молекулы в ресничках и стимулируют их движение. Динеины как группа белков были наименее изученными структурами клеточного цитоскелета из-за проблем с восстановлением их активных динеиновых комплексов *in vitro* и нехватки методов с высоким разрешением для углубленного изучения структурных и биофизических характеристик. Реснички у эмбриона на ранних сроках формирования своей работой определяют асимметрию тела. Без такого движения ресничек форма тела была бы случайной. Дужки динеина двигаются по часовой стрелке, если смотреть от основания к концу дужек, направляя реснички по той же траектории. Такие вращательные движения ресничек создают однонаправленный поток в экстраэмбриональной жидкости. Это приводит к нарушению лево/правой симметрии в формирующемся эмбрионе. Однако этот направленный ламинарный поток не просто деформирует изначальную лево/правую симметрию эмбриона, а формирует «остов» будущей асимметричности организма. Любые нарушения этого процесса могут вести к функциональным дефектам [20, 47–52]. Инверсин является вставочным компонентом сложного белкового комплекса *Frizzled* (*Fzd*), функция которого заключается в поддержке развития практически всех тканей таких жизненно важных органов как головной мозг, почки, поджелудочная железа и прочие. Он формирует в тех самых ресничках периаксонемный отдел, который и оказывает основное воздействие на формирование лево/правой асимметрии путем перераспределения внутри ресничек белковых фракций различной плотности [53–58].

Зеркальная, билатеральная симметрия действительно вызывает у наблюдателя множество положительных эмоций, ассоциируется с эстетикой, гармонией и порядком. Тем не менее именно асимметрия принесла множеству видов эволюционное преимущество, послужившее основой для создания целого «анатомического направления». Таким образом, ответом на вопрос, анатомическая асимметрия репродуктивной системы женщины – эволюционная ошибка или полезная особенность, будет «полезная особенность», так как вид *Homo sapiens* смог преодолеть эволюционный барьер

выживания, тем самым естественным путем, в том числе благодаря асимметрии, продолжая свое существование по сей день.

Заключение

Анатомо-функциональная асимметрия женской репродуктивной системы – крайне важный фактор, который должен быть учтен как врачами в практической медицине (особенно таких специальностей как акушерство и гинекология, репродуктология, рентгенология, ультразвуковая диагностика), так и учеными. В-первых, асимметрия оказывает ключевое влияние на топографо-анатомическую локализацию той или иной патологии органов репродуктивной системы женщины, а во-вторых, на наш взгляд, исключительно системный подход к изучению асимметрии, объединяющий морфологические, генетические и молекулярно-клеточные исследования в комплексе с прижизненными методами диагностики, позволит получить более полное представление об онтогенезе и филогенезе человека, что крайне важно для понимания нормального функционирования репродуктивной системы женщины.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare no conflict of interest.

Литература/References

1. Duboc V, Dufourcq P, Blader P, Roussigné M. Asymmetry of the brain: development and implications. *Annu Rev Genet.* 2015;49:647–72. DOI: 10.1146/annurev-genet-112414-055322.
2. Martinovic J, Huber J, Boyanova A, Gheorghiu E, Reuther J, Lemarchand RB. Mirror symmetry and aging: the role of stimulus figureality and attention to colour. *Atten Percept Psychophys.* 2023;85(1):99–112. DOI: 10.3758/s13414-022-02565-5.
3. Bertamini M, Rampone G, Makin ADJ, Jessop A. Symmetry preference in shapes, faces, flowers and landscapes. *PeerJ.* 2019;7:e7078. DOI: 10.7717/peerj.7078.
4. Петру Н.Д. Эволюционное разнообразие механизмов установления лево-правой асимметрии у животных. *Онтогенез.* 2020;51(2):96–112. DOI: 10.31857/S0475145020020056. Petri ND. Evolutionary diversity of the mechanisms providing the establishment of left-right asymmetry in metazoans. *Ontogenез = Russian Journal of Developmental Biology.* 2020;51(2):96–112 (In Russ.). DOI: 10.31857/S0475145020020056.
5. Beymer M, Willmes CG. Fruitful futures for reproductive health. *Trends Endocrinol Metab.* 2021;32(8):531–2. DOI: 10.1016/j.tem.2021.05.010.
6. Mehta FF, Son J, Hewitt SC, Jang E, Lydon JP, Korach KS et al. Distinct functions and regulation of epithelial progesterone receptor in the mouse cervix, vagina, and uterus. *Oncotarget.* 2016;7(14):17455–67. DOI: 10.18632/oncotarget.8159.
7. Fuqua JS, Eugster EA. History of puberty: normal and precocious. *Horm Res Paediatr.* 2022;95(6):568–78. DOI: 10.1159/000526464.
8. Zhu B, Tao Z, Edupuganti L, Serrano MG, Buck GA. Roles of the microbiota of the female reproductive tract in gynecological and reproductive health. *Microbiol Mol Biol Rev.* 2022;86(4):e0018121. DOI: 10.1128/mmbr.00181-21.
9. Петрова О.П., Романенко Н.М. Латерализация органической внутриматочной патологии. *Таврический медико-биологический вестник.* 2016;19(4):72–75. Доступно по адресу: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28301740> (получено 15.05.2024). Petrova OP, Romanenko NM. Lateralization of organic intrauterine pathology. *Tavrisheskiy mediko-biologicheskiy vestnik.* 2016;19(4):72–75 (In Russ.). Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28301740> (accessed 15.05.2024).
10. Xia W, Zhang J, Zhang D, Zhu Q, Zhang H, Huang Z et al. Left-right asymmetry of tubal pregnancy: a 12-year retrospective hospital-based study. *J Minim Invasive Gynecol.* 2019;26(4):671–8. DOI: 10.1016/j.jmig.2018.07.010.
11. Prodromidou A, Machairas N, Garoufalia Z, Kostakis ID, Kyriakidis AV, Spartalis E et al. Ovarian inguinal hernia. *Ann R Coll Surg Engl.* 2020;102(2):75–83. DOI: 10.1308/rcsann.2019.0137.
12. He X, Zhao X, Wang X, Liang G, Qi H, Zhu C et al. Distinctive pattern of left-right asymmetry of ovarian benign teratomas in Chinese population: a 12-year-long cross-sectional study. *Arch Gynecol Obstet.* 2021;303(3):729–737. DOI: 10.1007/s00404-020-05864-0.
13. Bendarska-Czerwińska A, Zmarzły N, Morawiec E, Panfil A, Bryś K, Czarniecka J et al. Endocrine disorders and fertility and pregnancy: an update. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023;13:970439. DOI: 10.3389/fendo.2022.970439.
14. Garcia-Alonso L, Handfield LF, Roberts K, Nikolakopoulou K, Fernando RC, Gardner L et al. Mapping the temporal and spatial dynamics of the human endometrium in vivo and in vitro. *Nat Genet.* 2021;53(12):1698–711. DOI: 10.1038/s41588-021-00972-2.
15. Kieserman-Shmoker C, Swenson CW, Chen L, Desmond LM, Ashton-Miller JA, DeLancey JO. From molecular to macro: the key role of the apical ligaments in uterovaginal support. *Am J Obstet Gynecol.* 2020;222(5):427–36. DOI: 10.1016/j.ajog.2019.10.006.
16. Драндрова Е.Г., Меркулова Л.М., Драндров Г.Л., Драндров Д.Г. Хирургическая анатомия фасций и клетчаточных пространств подбрюшинного этажа женского таза. *Современные проблемы науки и образования.* 2022;1:99. DOI: 10.17513/spno.31470. Drandrova EG, Merkulova LM, Drandrov GL, Drandrov DG. Surgical anatomy of fasciae and cellular spaces of subperitoneal storey of female pelvis. *Modern problems of science and education.* 2022;1:99 (In Russ.). DOI: 10.17513/spno.31470.
17. Mobeen S, Apostol R. Ovarian Cyst. 2023. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. PMID: 32809376.
18. Санькова И.В., Каплунова О.А., Чаплыгина Е.В. Асимметрия сосудов матки. *Журнал анатомии и гистопатологии.* 2017;6(4):42–46. DOI: 10.18499/2225-7357-2017-6-4-42-46. Sankova IV, Kaplunova OA, Chaplygina EV. Asymmetry of the uterine vessels. *Journal of Anatomy and Histopathology.* 2017;6(4):42–46 (In Russ.). DOI: 10.18499/2225-7357-2017-6-4-42-46.
19. Sharara FI, McClamrock HD. The effect of aging on ovarian volume measurements in infertile women. *Obstet Gynecol.* 1999;94(1):57–60. DOI: 10.1016/s0029-7844(99)00242-2.

20. Баландина И.А., Некрасова А.М., Баландин А.А. Морфологические различия ампулы маточной трубы в молодом и старческом возрасте. Успехи геронтологии. 2021;34(6):857–862. DOI: 10.34922/AE.2021.34.6.006.
Balandina IA, Nekrasova AM, Balandin AA. Morphological differences of the fallopian tube ampoule in young and old age. *Advances in Gerontology.* 2021;34(6):857–862 (In Russ.). DOI: 10.34922/AE.2021.34.6.006.
21. Li JH, Sun TC, Zhang SW, Jiao TT, Cheng YB, Dong P et al. Effect of dominant follicle status at the time of retrieval on the clinical outcomes in natural cycle IVF combined with immature oocyte treatment. *Aging (Albany NY).* 2022;14(11):4728–38. DOI:10.18632/aging.204106.
22. Palmer AR. Animal asymmetry. *Curr Biol.* 2009;19(12):R473–7. DOI: 10.1016/j.cub.2009.04.006.
23. Palmer AR. What determines direction of asymmetry: genes, environment or chance? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2016;371(1710):20150417. DOI: 10.1098/rstb.2015.0417.
24. Hamada H. Molecular and cellular basis of left–right asymmetry in vertebrates. *Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci.* 2020;96(7):273–96. DOI: 10.2183/pjab.96.021.
25. Баландин А.А., Баландина И.А., Железнов Л.М. Анатомические характеристики таламусов человека по данным магнитно-резонансной томографии в первом и втором периодах зрелого возраста. Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). 2021;5(3):5–9. DOI: 10.17116/operhirurg202150315.
Balandin AA, Balandina IA, Zheleznov LM. Morphometric characteristics of human thalamuses according to magnetic resonance imaging data in the first and second periods of adulthood. *Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy.* 2021;5(3):5–9 (In Russ.). DOI: 10.17116/operhirurg202150315.
26. Shu N, Liu Y, Duan Y, Li K. Hemispheric asymmetry of human brain anatomical network revealed by diffusion tensor tractography. *Biomed Res Int.* 2015;2015:908917. DOI: 10.1155/2015/908917.
27. Баландина И.А., Железнов Л.М., Баландин А.А., Косарева П.В., Бородулин Д.В., Амарантов Д.Г. Сравнительная органометрическая характеристика мозжечка у мужчин и женщин молодого и старческого возраста. Успехи геронтологии. 2016; 29(4):676–680. Доступно по адресу: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27451511> (получено 15.05.2024).
Balandina IA, Zheleznov LM, Balandin AA, Kosareva PV, Borodulin DV, Amarantov DG. Comparative organometric characteristics of the cerebellum of the young and old age. *Advances in Gerontology.* 2016;29(4):676–680 (In Russ.). Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27451511> (accessed 15.05.2024).
28. Катерлина И.Р., Изранов В.А., Соловьева И.Г., Рымар О.Д., Насонова Н.В., Абрамов В.В. Межполушарная асимметрия головного мозга и морфологическая асимметрия щитовидной железы. Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина. 2010;8(1):129–132. Доступно по адресу: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12999322> (получено 15.05.2024).
Katerlina IR, Izranov VA, Solovieva IG, Ryamar OD, Nasonova NV, Abramov VV. Functional asymmetry of brain hemispheres and morphological asymmetry of thyroid gland. *Vestnik NSU. Series: Biology and clinical medicine.* 2010;8(1):129–132 (In Russ.). Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12999322> (accessed 15.05.2024).
29. Клименко А.А., Абмаев А.С., Пархоменко А.А., Харахордин С.Е. Влияние межполушарной асимметрии на развитие скоростно-силовых качеств спортсменов. Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт. 2023;4:78–84. DOI: 10.24412/2305-8404-2023-4-78-84.
Klimenko AA, Abmaev AS, Parkhomenko AA, Kharakhordin SE. The influence of interhemispheric asymmetry on the development of speed and strength qualities of athletes. *Bulletin of Tula State University. Physical culture. Sport.* 2023;4:78–84 (In Russ.). DOI: 10.24412/2305-8404-2023-4-78-84 (In Russ.).
30. Ridding MC, Flavel SC. Induction of plasticity in the dominant and non-dominant motor cortices of humans. *Exp Brain Res.* 2006;171(4):551–7. DOI: 10.1007/s00221-005-0309-2.
31. Lychkova AE. Functional asymmetry in the innervation of smooth muscle organs. *Bull Exp Biol Med.* 2005;139(2):163–7. DOI: 10.1007/s10517-005-0237-y.
32. Фоминых Т.А., Дьяченко А.П., Кутя С.А. Поль Пьер Брока и его вклад в медицину. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2021; 121(6):67–70. DOI: 10.17116/jnevro202112106167.
Fominykh TA, Dyachenko AP, Kutia SA. Paul Pierre Broca: his contribution to medicine. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2021;121(6):67–70 (In Russ.). DOI: 10.17116/jnevro202112106167.
33. Güntürkün O, Ströckens F, Ocklenburg S. Brain lateralization: a comparative perspective. *Physiol Rev.* 2020;100(3):1019–63. DOI: 10.1152/physrev.00006.2019.
34. Amunts K, Zilles K. Architectonic mapping of the human brain beyond Brodmann. *Neuron.* 2015;88(6):1086–107. DOI: 10.1016/j.neuron.2015.12.001.
35. Zilles K. Brodmann: a pioneer of human brain mapping—his impact on concepts of cortical organization. *Brain.* 2018;141(11):3262–78. DOI: 10.1093/brain/awy273.
36. Процина А.Е., Харламова А.С., Кривова Ю.С., Савельев С.В. Современные тенденции картирования головного мозга. Клиническая и экспериментальная морфология. 2023;12(1):15–23. DOI: 10.31088/CEM2023.12.1.15-23.
Proshchina AE, Kharlamova AS, Krivova YuS, Saveliev SV. Modern trends in brain mapping and atlas. *Clinical and experimental morphology.* 2023;12(1):15–23 (In Russ.). DOI: 10.31088/CEM2023.12.1.15-23.
37. Егорова А.В., Воронков Д.Н., Федорова Е.Н., Баранич Т.И., Глинкина В.В., Сухоруков В.С. Особенности строения и функции митохондрий в нейронах и глиоцитах различных отделов головного мозга лабораторных грызунов. Клиническая и экспериментальная морфология. 2023;12(2):5–13. DOI: 10.31088/CEM2023.12.2.5-13.
Egorova AV, Voronkov DN, Fedorova EN, Baranich TI, Glinkina VV, Sukhorukov VS. Structural and functional features of mitochondria in neurons and gliocytes of various cerebral regions of laboratory rodents. *Clinical and experimental morphology.* 2023;12(2):5–13 (In Russ.). DOI: 10.31088/CEM2023.12.2.5-13.
38. Rogers LJ. Brain lateralization and cognitive capacity. *Animals (Basel).* 2021;11(7):1996. DOI: 10.3390/ani11071996.

39. *Packheiser J, Schmitz J, Arning L, Beste C, Güntürkün O, Ocklenburg S.* A large-scale estimate on the relationship between language and motor lateralization. *Sci Rep.* 2020;10(1):13027. DOI: 10.1038/s41598-020-70057-3.
40. *Miletto Petrazzini ME, Sovrano VA, Vallortigara G, Messina A.* Brain and Behavioral asymmetry: a lesson from fish. *Front Neuroanat.* 2020;14:11. DOI: 10.3389/finana.2020.00011.
41. *Ананьева Н.И., Лукина Л.В., Андреев Е.В., Саломатина Т.А., Сафонова Н.Ю., Парфенова А.В. и др.* Гендерные различия объема структур головного мозга в аспекте физиологического старения. *Успехи геронтологии.* 2021;34(3):352–359. DOI: 10.34922/AE.2021.34.3.003.
Ananyeva NI, Lukina LV, Andreev YeV, Salomatina TA, Safonova NYu, Parfyonova AV et al. Gender differences in the volume of brain structures in the aspect of physiological aging. *Advances in Gerontology.* 2021;34(3):352–359 (In Russ.). DOI: 10.34922/AE.2021.34.3.003.
42. *Gazzaniga MS.* The split-brain: rooting consciousness in biology. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2014;111(51):18093–4. DOI: 10.1073/pnas.1417892111
43. *Gazzaniga MS.* Principles of human brain organization derived from split-brain studies. *Neuron.* 1995;14(2):217–28. DOI: 10.1016/0896-6273(95)90280-5.
44. *Gazzaniga MS.* Forty-five years of split-brain research and still going strong. *Nat Rev Neurosci.* 2005;6(8):653–9. DOI: 10.1038/nrn1723.
45. *Gazzaniga MS.* On neural circuits and cognition. *Neural Comput.* 1995;7(1):1–12. DOI: 10.1162/neco.1995.7.1.1.
46. *Volz LJ, Gazzaniga MS.* Interaction in isolation: 50 years of insights from split-brain research. *Brain.* 2017;140(7):2051–60. DOI: 10.1093/brain/awx139.
47. *Canty JT, Tan R, Kusakci E, Fernandes J, Yildiz A.* Structure and mechanics of dynein motors. *Annu Rev Biophys.* 2021;50:549–74. DOI: 10.1146/annurev-biophys-111020-101511.
48. *Allan VJ.* Cytoplasmic dynein. *Biochem Soc Trans.* 2011;39(5):1169–78. DOI: 10.1042/BST0391169.
49. *Bhabha G, Johnson GT, Schroeder CM, Vale RD.* How dynein moves along microtubules. *Trends Biochem Sci.* 2016;41(1):94–105. DOI: 10.1016/j.tibs.2015.11.004.
50. *Afzelius BA.* Asymmetry of cilia and of mice and men. *Int J Dev Biol.* 1999;43(4):283–286. PMID: 10470644.
51. *Rank KC, Rayment I.* Functional asymmetry in kinesin and dynein dimers. *Biol Cell.* 2013;105(1):1–13. DOI: 10.1111/boc.201200044.
52. *Mercola M.* Left-right asymmetry: nodal points. *J Cell Sci.* 2003;116(Pt 16):3251–7. DOI: 10.1242/jcs.00668.
53. *Lienkamp S, Ganner A, Walz G.* Inversin, Wnt signaling and primary cilia. *Differentiation.* 2012;83(2):S49–55. DOI: 10.1016/j.diff.2011.11.012.
54. *Li L, Gao S, Wang L, Bu T, Chu J, Lv L et al.* PCP protein inversin regulates testis function through changes in cytoskeletal organization of actin and microtubules. *Endocrinology.* 2022;163(4):bqac009. DOI: 10.1210/endo/bqac009.
55. *Werner ME, Ward HH, Phillips CL, Miller C, Gattone VH, Bacallao RL.* Inversin modulates the cortical actin network during mitosis. *Am J Physiol Cell Physiol.* 2013;305(1):C36–47. DOI: 10.1152/ajpcell.00279.2012.
56. *Morgan D, Turnpenny L, Goodship J, Dai W, Majumder K, Matthews L et al.* Inversin, a novel gene in the vertebrate left-right axis pathway, is partially deleted in the inv mouse. *Nat Genet.* 1998;20(2):149–56. DOI: 10.1038/2450.
57. *Petzoldt AG, Coutelis JB, Gémard C, Spéder P, Suzanne M, Cerezo D et al.* DE-Cadherin regulates unconventional Myosin ID and Myosin IC in *Drosophila* left-right asymmetry establishment. *Development.* 2012;139(10):1874–84. DOI: 10.1242/dev.047589.
58. *Bennett HW, Gustavsson AK, Bayas CA, Petrov PN, Mooney N, Moerner WE et al.* Novel fibrillar structure in the inversin compartment of primary cilia revealed by 3D single-molecule super-resolution microscopy. *Mol Biol Cell.* 2020;31(7):619–39. DOI: 10.1091/mbc.E19-09-0499.

Информация об авторах

Анатолий Александрович Баландин – доктор медицинских наук, доцент кафедры нормальной, топографической и клинической анатомии, оперативной хирургии ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера.

Алина Манолисовна Димидова – методист кафедры нормальной, топографической и клинической анатомии, оперативной хирургии ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера.

Ирина Анатольевна Баландина – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой нормальной, топографической и клинической анатомии, оперативной хирургии ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера.

Анна Сергеевна Кобелева – методист кафедры нормальной, топографической и клинической анатомии, оперативной хирургии ПГМУ им. академика Е.А. Вагнера.

Author information

Anatolii A. Balandin – Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Normal, Topographic and Clinical Anatomy, Operative Surgery, E.A. Vagner Perm State Medical University.
<http://orcid.org/0000-0002-3152-8380>

Alina M. Dimidova – Methodologist, Department of Normal, Topographic and Clinical Anatomy, Operative Surgery, E.A. Vagner Perm State Medical University.
<https://orcid.org/0000-0002-6564-9519>

Irina A. Balandina – Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Normal, Topographic and Clinical Anatomy, Operative Surgery, E.A. Vagner Perm State Medical University.
<http://orcid.org/0000-0002-4856-9066>

Anna S. Kobeleva – Methodologist, Department of Normal, Topographic and Clinical Anatomy, Operative Surgery, E.A. Vagner Perm State Medical University.
<http://orcid.org/0009-0003-1741-1316>