

**ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ТИМУСНЫХ ТЕЛЕЦ  
У ПОЛОВОЗРЕЛЫХ ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА  
(Chordata, Vertebrata)<sup>1</sup>**

В.Я. Юрчинский\*/\*\* ORCID: [0000-0003-3019-3053](https://orcid.org/0000-0003-3019-3053)

\*Смоленский государственный университет  
(г. Смоленск)

\*\*Смоленский государственный медицинский университет  
(г. Смоленск)

Впервые с использованием методов световой микроскопии проведено сравнительное исследование морфологической изменчивости тимусных телец у половозрелых представителей наземных позвоночных животных, включая человека. В качестве материала для исследования послужили 502 тимуса, полученные от 16 видов половозрелых позвоночных животных, относящихся к четырем классам типа Хордовые (Chordata): Amphibia, Reptilia, Aves, Mammalia. Гистологические препараты тимуса изготавливали по стандартной методике в сагиттальных и горизонтальных плоскостях. Все тимусные тельца разбивали на три условные группы в зависимости от стадии развития: молодые, зрелые, стареющие. Подсчитывали количество телец разных стадий зрелости на условной единице площади среза (100 мкм), а также определяли относительную площадь, занимаемую тимусными тельцами (в процентах от площади среза). Установлено, что у всех позвоночных животных и человека тимусные тельца по мере своего созревания проходят сходные этапы морфологических преобразований. Вместе с тем у представителей различных классов и отрядов в зависимости от уровня организации и особенностей биологии в состав тимусного тельца, находящегося на стадии формирования, включается различное количество эпителиальных клеток. Выявлена зависимость относительных размеров и количества тимусных телец от особенностей биологии вида и факторов среды обитания организма. Так, у животных, изъятых из природной среды, по сравнению с позвоночными, организм которых подвержен воздействию ряда антропогенных факторов (норка американская и человек), повышены относительные размеры тимусных телец всех стадий зрелости. Кроме того, анализ полученных результатов показал, что морфология тимусных телец значительно различается у представителей безногой жизненной формы (змеи) и у других животных, обитающих в природной среде. На основе проведенного исследования делаются выводы о специфичности функциональной роли тимусных телец, связанной с поддержанием иммунологического гомеостаза.

**Ключевые слова:** тимус, тимусные тельца, позвоночные животные, сравнительная морфология.

---

<sup>1</sup>Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 11-04-97530 р-центр-а.

**Ответственный за переписку:** Юрчинский Владислав Янович, адрес: 214000, г. Смоленск, ул. Пржевальского, д. 4; e-mail: [zool72@mail.ru](mailto:zool72@mail.ru)

**Для цитирования:** Юрчинский В.Я. Особенности морфологии тимусных телец у половозрелых позвоночных животных и человека (Chordata, Vertebrata) // Журн. мед.-биол. исследований. 2020. Т. 8, № 1. С. 61–71. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2020.8.1.61

Современные ученые находят все больше доказательств того, что тимусные тельца (ТТ) играют одну из важнейших ролей, связанных с формированием пула иммунокомпетентных Т-лимфоцитов [1–6]. Активные исследования морфологии ТТ у различных представителей типа Хордовые продиктованы актуальностью данного вопроса для фундаментальной и прикладной биологии и медицины. Однако, как показывает анализ доступной научной литературы по данной проблематике, исследования, связанные с изучением морфологии ТТ, далеки от завершения [7]. Имеющиеся по этому вопросу данные во многом противоречивы и неоднозначны. С одной стороны, есть указания на сходство морфологии ТТ у всех позвоночных, начиная с рыб и заканчивая млекопитающими [8, 9]. С другой стороны, в условиях биологической нормы выявлена значительная степень полиморфизма ТТ даже у представителей близкородственных групп [9–11]. Отсутствие четкости представлений о морфологии ТТ в значительной степени затрудняет понимание роли, которую данные образования выполняют в рамках эндокринной и лимфоидной систем. На наш взгляд, такая ситуация требует более детального подхода в изучении морфологии ТТ, что в определенной степени может быть реализовано посредством сравнительно-морфологических исследований тимуса [12].

Цель данного исследования заключалась в сравнительном анализе морфологии ТТ разных стадий зрелости в тимусе половозрелых наземных позвоночных животных.

**Материалы и методы.** Исследование тимуса проводили на примере 16 видов позвоночных, относящихся к четырем классам:

– класс Земноводные (Amphibia): лягушка прудовая (*Rana esculenta*,  $n = 18$ ), лягушка травяная (*R. temporaria*,  $n = 14$ ), лягушка остро-мордая (*R. arvalis*,  $n = 18$ );

– класс Пресмыкающиеся (Reptilia): ящерица прыткая (*Lacerta agilis*,  $n = 18$ ), ящерица живородящая (*Zootoca vivipara*,  $n = 16$ ), гадюка обыкновенная (*Vipera berus*,  $n = 12$ ), уж обыкновенный (*Natrix natrix*,  $n = 18$ );

– класс Птицы (Aves): голубь сизый (*Columba livia*,  $n = 18$ ), галка обыкновенная (*Corvus monedula*,  $n = 6$ ), мухоловка серая (*Muscicapa striata*,  $n = 8$ );

– класс Млекопитающие (Mammalia): бурозубка обыкновенная (*Sorex araneus*,  $n = 18$ ), бурозубка средняя (*S. caecutiens*,  $n = 12$ ), рыжая полевка (*Clethrionomys glareolus*,  $n = 23$ ), мышь лесная (*Apodemus uralensis*,  $n = 16$ ), норка американская (*Mustella vison*,  $n = 8$ ), человек (*Homo sapiens*,  $n = 28$ ).

Отлов животных производили на территории Смоленской области, в экосистемах, не нарушенных антропогенным воздействием. Набор материала от норки американской осуществляли на базе ООО «Гагаринский звероплемхоз Центра Союза» (г. Гагарин, Смоленская область). Учитывая, что в период зимнего анабиоза у животных наблюдается акцидентальная инволюция тимуса, сбор материала проводили с начала июня до середины июля. Доли тимуса изымали у животных, находящихся на стадии второй зрелости: земноводные и пресмыкающиеся – 3–5 лет, птицы – 3–5 лет, насекомоядные млекопитающие и грызуны – 1–1,5 года, норка американская – 3–4 года. Возраст животных определяли по общепринятым методикам [13–15].

Материал от человека набирали на базе отделения клинической патологии при Смоленском областном институте патологии. Весь секционный материал тщательно отбирали по анамнезу с целью исключения причин смерти, которые могли бы существенно изменить структуру тимуса. Доли тимуса брали от индивидов в возрасте второй зрелости. Возраст человека определяли согласно классификации, принятой на 7-й Всесоюзной конференции по возрастной морфологии, физиологии и биохимии в 1965 году.

Всего изучено 502 органа половозрелых позвоночных. Эвтаназию животных осуществляли передозировкой эфирным наркозом (ЗАО «Вектон») в соответствии с требованиями Министерства здравоохранения Российской Федерации к работе экспериментально-

биологических клиник, а также «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях» (г. Страсбург, 1986). Тимус, изъятый сразу после эвтаназии, взвешивали и измеряли. Доли тимуса фиксировали 10 %-м нейтральным формалином, обезвоживали и заливали в парафин по стандартной методике. Срезы тимуса (5 мкм) получали в сагиттальной и горизонтальной плоскостях на санном микротоме НМ 430 (Thermo Shandon Limited; сер. № 31144), окрашивали гематоксилином и эозином, пикрофуксином по методу Ван Гизона, азур-эозином по Романовскому–Гимзе [16].

Съемку препаратов проводили с использованием системы визуализации Sony TourCam 5.1 (TourTek, Китай), установленной на микроскопе «Микромед-3 Professional» («Микромед», Китай). Морфометрические исследования осуществляли на цифровых изображениях препаратов тимуса с помощью лицензионной прикладной компьютерной программы обработки изображений TourView (TourTek, Китай). При тотальном изучении всей площади препарата подсчитывали обнаруженные ТТ разных стадий зрелости и определяли их площадь в микрометрах в квадрате (окуляр  $\times 15$ , объектив  $\times 40$ ). Для распределения ТТ по стадиям зрелости за основу взята классификация, предложенная О.В. Зайратьянцем и М. Raica [17, 18]. Все имеющиеся ТТ разделяли на три группы: незрелые, зрелые и стареющие. К незрелым ТТ относили клеточные скопления с началом накопления кератина и формированием очагов лизиса – I фаза, ТТ I (рис. 1), к зре-

лым – образования в виде концентрических наслоений – II фаза, ТТ II (рис. 2, см. с. 64), старыми считали скопления с некрозом и гиалинозом центральной части – III фаза, ТТ III (рис. 3, см. с. 64). В составе ТТ подсчитывали количество эпителиальных клеток, видимых на срезе. С целью сравнения тимуса разных групп позвоночных осуществляли пересчет количества ТТ на условную единицу площади ( $0,1 \text{ мм}^2$ ). Учитывали среднюю площадь для ТТ каждого типа, выраженную в процентах по отношению к площади среза.

Результаты обрабатывали статистически. Значимость различий между сравниваемыми группами оценивали методами непараметрической (*U*-критерий Манна–Уитни и тест Краскала–Уоллиса) и параметрической (*t*-критерий Стьюдента) статистики. Анализ распределения признаков на нормальность проводили с использованием критериев Лиллиефорса и Шапиро–Уилка, а условие равенства дисперсий выборок проверяли по критерию Левена. Критический уровень значимости  $p \leq 0,05$ .

**Результаты.** В тимусе изученных видов позвоночных обнаружены отличия в количестве клеток, вовлекаемых в образование ТТ I. У половозрелых земноводных и мелких млекопитающих в образовании ТТ I принимают участие 4–5 клеток (рис. 1а, з). У пресмыкающихся и птиц той же возрастной группы их количество возрастает уже практически вдвое, достигая 8–12 клеток (рис. 1б, в). В тимусе половозрелого человека в формировании тельца принимают участие от 5 до 12 клеток (рис. 1д).

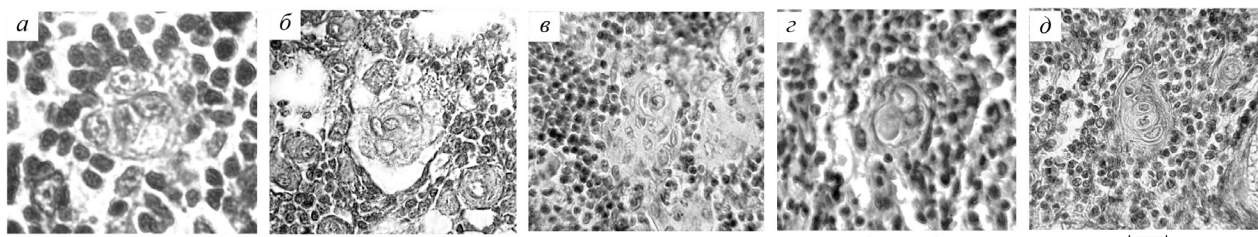


Рис. 1. Строение ТТ I половозрелых позвоночных животных: а – лягушка травяная; б – уж обыкновенный; в – голубь сизый; г – рыжая полевка; д – человек (окраска гематоксилином и эозином, масштабная линейка – 20 мкм)

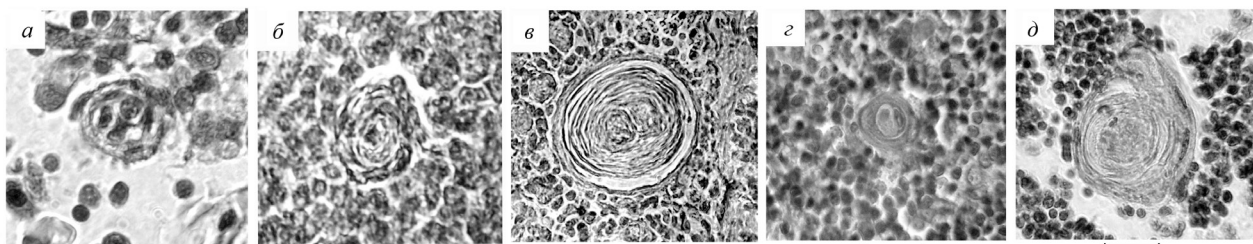


Рис. 2. Строение ТТ II половозрелых позвоночных животных: а – лягушка травяная; б – ящерица прыткая; в – голубь сизый; г – рыжая полевка; д – человек (окраска гематоксилином и эозином, масштабная линейка – 20 мкм)

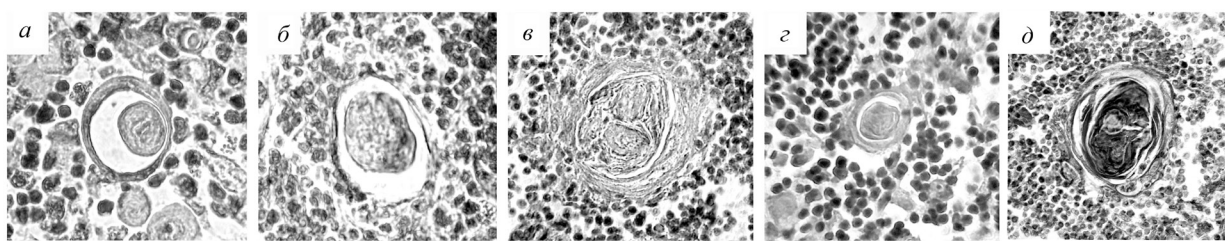


Рис. 3. Строение ТТ III половозрелых позвоночных животных: а – лягушка прудовая; б – ящерица прыткая; в – голубь сизый; г – рыжая полевка; д – человек (окраска гематоксилином и эозином, масштабная линейка – 20 мкм)

Дальнейшее развитие ТТ приводит к формированию концентрических наслоений в его периферических областях. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о существовании отличий в количестве слоев между исследованными группами. Так, у половозрелых земноводных и млекопитающих животных периферическая зона ТТ II состоит из 2-3 концентрических слоев, окружающих полость с клеточным инфильтратом (рис. 2а, г). У пресмыкающихся вокруг полости, заполненной клеточным инфильтратом, отмечается 3-4 концентрически расположенных слоя уплощенных клеток (рис. 2б). В тимусе половозрелых птиц количество слоев концентрически расположенных клеток в ТТ II уже вдвое больше – 6-7 (рис. 2в). Человек по данному показателю ТТ II тимуса занимает промежуточное положение – количество слоев колеблется от 4 до 6 (рис. 2д).

В тимусе половозрелых холоднокровных позвоночных и млекопитающих животных

ТТ III имеют 1-2 слоя плотно упакованных уплощенных клеток, окружающих полость, заполненную обызвествленным содержимым (рис. 3а, б, г). У половозрелого человека, а также птиц количество таких слоев в ТТ III может достигать до 3-4 (рис. 3в, д).

Сравнение относительной площади ТТ разных стадий зрелости (в процентах по отношению к площади среза) позволяет разделить всех изученных позвоночных на две группы (рис. 4). В первой группе объединены животные, в тимусе которых ТТ I по относительной площади превосходят ТТ II и ТТ III. К таким животным относятся: земноводные, ящерицы, птицы, насекомоядные млекопитающие и грызуны. В тимусе этих животных относительные размеры ТТ II и ТТ III оказываются схожими. Ко второй группе относятся змеи и человек, у которых по своим относительным размерам ТТ III превосходят другие группы телес. У представителей второй группы не обнаружено статистически значимых отличий в размерах ТТ I и ТТ II.

Лишь у норки американской по сравнению с другими позвоночными не только сильно снижены относительные размеры ТТ, но и отсутствуют статистически значимые отличия относительной площади ТТ разных стадий зрелости.

Различия в относительных размерах ТТ выявлены также и внутри выделенных групп позвоночных (рис. 4). Максимальные разме-

зуны и землеройки) в 6–8 раз, тогда как у половозрелого человека размеры зрелых и старых телец снижены по сравнению с теми же группами позвоночных в 3–4 раза. В свою очередь, наиболее высокая относительная площадь ТТ II и ТТ III характерна для земноводных, голубеобразных птиц и грызунов, по сравнению с которыми у ящериц, воробьинообразных птиц и насекомоядных млекопитающих соответству-

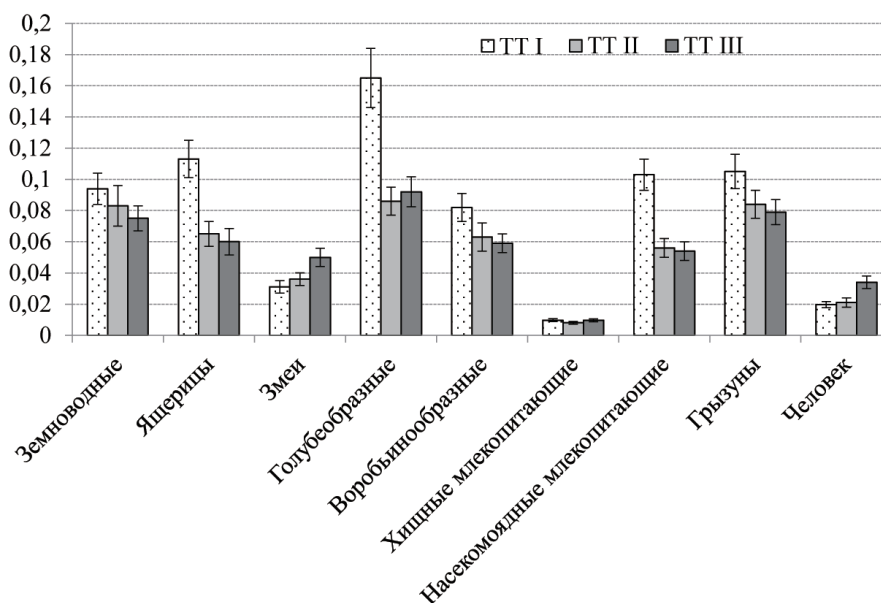


Рис. 4. Относительная площадь тимусных телец разных стадий зрелости у половозрелых позвоночных животных (% по отношению к площади среза)

ры ТТ I характерны для голубеобразных птиц, минимальные – для змей, человека и особенно норки американской, у которой относительный размер ТТ I в 16 раз снижен по сравнению с соответствующим показателем голубя сизого. Размеры ТТ I земноводных, ящериц, а также воробьинообразных птиц и мелких млекопитающих занимают промежуточное положение, уступая показателю голубя сизого в 1,5–2,0 раза. По размерам ТТ II и ТТ III половозрелая норка американская уступает холоднокровным позвоночным (земноводные и ящерицы), а также птицам и мелким млекопитающим (гры-

ющие морфометрические показатели телец этих стадий несколько снижены.

Сопоставление абсолютных показателей площади ТТ ( $\text{мкм}^2$ ) приводит к иным результатам. У всех половозрелых позвоночных абсолютные размеры зрелых телец (ТТ II) оказываются выше, чем соответствующие показатели ТТ I (см. таблицу, с. 66). Наиболее весомым такое отличие оказывается в тимусе человека, где размеры ТТ II превышают соответствующий показатель ТТ I более чем в 2 раза. У остальных позвоночных изменения размеров ТТ по мере их созревания оказываются не столь зна-

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТИМУСНЫХ ТЕЛЕЦ РАЗНЫХ СТАДИЙ ЗРЕЛОСТИ  
У ПОЛОВОЗРЕЛЫХ ПОЗВОНОЧНЫХ (X±S<sub>x</sub>)

Объект исследования	ТТ I (незрелые)		ТТ II (зрелые – концентрические наслоения)		ТТ III (старые – некротические полости)	
	Количество на 1 мм <sup>2</sup>	Площадь, мкм <sup>2</sup>	Количество на 1 мм <sup>2</sup>	Площадь, мкм <sup>2</sup>	Количество на 1 мм <sup>2</sup>	Площадь, мкм <sup>2</sup>
а. Земноводные	1,21±0,3 (II, III; c, d, e, f, i)	481±51,2 (II, III; d, e, g, i)	0,41±0,08 (I, II; e, f, h, i)	655±61,2 (I, III; c, d, e, g, h, i)	0,11±0,03 (I, II; b, d, e, f, g, h, i)	951±112,6 (I, II; e, f, g, h, i)
б. Ящерицы	1,31±0,4 (II, III; c, d, e, f, g, i)	563±43,8 (III; e, g, h, i)	0,31±0,09 (I; c, d, f, g, h, i)	751±59,5 (I, III; c, d, e, g, h, i)	0,27±0,07 (I; a, c, d, f, g, h, i)	1015±94,2 (I, II; a, c, e, f, g, h, i)
в. Змеи	0,41±0,1 (a, b, d, e, f, g, h, i)	488±40,6 (II, III; d, e, g, i)	0,05±0,01 (I, III; a, b, d, e, g, h)	1023±88,6 (I, III; a, b, e, f, g, h, i)	0,10±0,02 (I, II; a, b, d, e, f, g, h, i)	632±50,3 (I, II; a, b, d, e, g, h, i)
г. Голубе- образные птицы	2,30±0,6 (II, III; a, b, c, e, f, g, h, i)	682±57,1 (II, III; a, c, f, g, h, i)	0,47±0,1 (I; b, c, e, f, h, i)	941±89,1 (I; a, b, c, e, f, g, h, i)	0,59±0,1 (I; a, b, c, e, f, g, h, i)	1027±71,5 (I; c, e, f, g, h, i)
е. Воробьино- образные птицы	0,80±0,2 (II, III; a, b, c, d, f, h, i)	777±64,4 (II, III; a, b, c, e, f, g, h, i)	0,23±0,09 (I; a, c, d, f, g, h, i)	1357±200 (I, III; a, b, c, e, f, g, h, i)	0,27±0,06 (I; a, c, d, f, g, h, i)	2196±228 (I, II; a, b, c, d, f, g, h, i)
ф. Хищные млекопитающие	0,11±0,03 (III; a, b, c, d, e, g, h, i)	524±43,1 (II; d, e, g, i)	0,07±0,01 (I, III; a, b, d, e, g, h, i)	661±48,2 (c, d, e, g, h, i)	0,02±0,004 (a, b, c, d, e, g, h)	555±39,4 (a, b, d, e, g, h, i)
г. Насекомо- ядные млеко- питающие	0,93±0,22 (II, III; b, c, d, f, h, i)	292±24,6 (II; a, b, c, d, e, f, h, i)	0,48±0,1 (b, c, e, f, g, h, i)	452±40,1 (I, III; a, b, c, d, e, f, i)	0,35±0,1 (I; a, b, c, d, e, f, h, i)	245±23,8 (II; a, b, c, d, e, f, h, i)
h. Грызуны	1,54±0,4 (II, III; c, d, e, f, g, i)	413±34,8 (b, d, e, g, i)	1,11±0,3 (I, III; a, b, c, d, e, f, g, i)	418±34,6 (a, b, c, d, e, f, i)	0,68±0,2 (I, II; a, b, c, e, f, g, i)	377±26,1 (a, b, c, d, e, f, g, i)
и. Человек	0,03±0,008 (a, b, c, d, e, f, g, h)	2168±294 (II, III; a, b, c, d, e, f, g, h)	0,04±0,01 (III; a, b, d, e, f, g, h)	5357±436 (I, III; a, b, c, d, e, f, g, h)	0,02±0,003 (I; a, b, c, d, e, g, h)	3697±386 (I, II; a, b, c, d, e, f, g, h)

Примечание. В скобках указана статистическая значимость отличий ( $p \leq 0,05$ ): I, II, III – от показателей ТТ I, ТТ II и ТТ III соответственно; a, b, c, d, e, f, g, h, i – от соответствующих показателей других групп животных.

чительными, а в тимусе грызунов не выявлено увеличения размеров ТТ II в сравнении с ТТ I. Изменения размеров ТТ по мере их старения в тимусе половозрелых позвоночных в значительной степени зависят от таксономической принадлежности животных. Так, у голубей, норки американской и грызунов статистической значимости различий в размерах ТТ II и ТТ III не обнаружено. У изученных видов земноводных, а также мухоловки серой установлено незначительное (в 1,5–1,6 раза) увеличение размера ТТ III по сравнению с размером ТТ II. Напротив, у змей, землероек и человека выявлено незначительное снижение размеров ТТ по мере их старения.

У всех половозрелых позвоночных относительное количество ТТ I превышает соответствующие показатели ТТ II и ТТ III (см. *таблицу*). У холоднокровных позвоночных и птиц количественное преобладание ТТ I над ТТ II оказывается более чем трехкратным, тогда как у млекопитающих количество ТТ I превышает соответствующий показатель ТТ II только в 1,5–2,0 раза. Лишь в тимусе половозрелого человека численность ТТ II и ТТ I сходна. У всех половозрелых млекопитающих, включая человека, а также земноводных наблюдается уменьшение количества старых телец (ТТ III) по сравнению со зрелыми (ТТ II). Максимальным такое снижение оказывается у норки американской и земноводных (в 3,5–4,0 раза), тогда как у насекомоядных млекопитающих и грызунов численность ТТ III по сравнению с ТТ II снижается незначительно. При этом в тимусе человека отмечается двукратное уменьшение количества старых телец в сравнении со зрелыми. У птиц, а также ящериц статистически значимых отличий количества ТТ II по сравнению с ТТ III не выявлено, в тимусе половозрелых змей количество ТТ II вдвое превышает соответствующий показатель ТТ III.

Примечательно, что по размерам и количеству ТТ разных стадий зрелости представители безногой жизненной формы оказались более схожими с млекопитающими и птицами, нежели с холоднокровными тетраподами. Сравнение

различных групп позвоночных между собой по относительному количеству телец разных стадий зрелости показало, что среди холоднокровных позвоночных количество ТТ всех трех стадий зрелости в значительной степени снижено у змей, а среди теплокровных позвоночных – у человека. Например, у человека в сравнении с грызунами, которые являются модельными объектами для лабораторных биомедицинских исследований, количество телец снижено в десятки раз. Эти различия уменьшаются при переходе от ТТ I к ТТ III. Максимальным, среди всех позвоночных, количеством ТТ I отличаются голубеобразные птицы, у грызунов, ящериц и земноводных значения данного показателя повышены. Наиболее высокими показателями количества ТТ II и ТТ III в тимусе отличаются грызуны и голубеобразные птицы.

**Обсуждение.** Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что у всех изученных нами половозрелых позвоночных ТТ на этапах своего возникновения, созревания и старения характеризуются сходными особенностями морфологии. Это указывает на идентичность причин, приводящих к формированию ТТ, и механизмов, контролирующих этот процесс, что определяется общностью функций данных образований. При переходе от земноводных к рептилиям и далее к птицам наблюдается усиление гуморальных механизмов, вовлекающих эпителиальные клетки в процессы формирования будущего тельца [1, 7]. Эта особенность объясняет увеличение количества клеток в ТТ I и количества концентрических слоев на периферии ТТ II в тимусе этих животных. Напротив, мелкие млекопитающие оказались в большей степени обособлены от данного процесса и, как результат, поддержание иммунологического гомеостаза в их лимфоидной системе оказывается возможным без увеличения количества клеточных единиц в составе ТТ.

Для всех позвоночных, за редким исключением, характерно сниженное количественное содержание ТТ III по сравнению с ТТ I и ТТ II. Эта закономерность свидетельствует о том, что в большинстве своем старые тельца постепен-

но утрачивают свое функциональное значение. Соответственно, именно на стадии своего образования и созревания ТТ наиболее активно обеспечивают реализацию механизмов антигенпрезентации и синтеза гуморальных факторов, важных для сбалансированности функций тимуса [1, 3, 6, 18]. Также определенное влияние на снижение количества ТТ по мере их созревания оказывают процессы слияния этих образований.

Факторы внешней среды оказывают сильное влияние на лимфоидную систему [7, 12, 17]. Два неродственных вида – человек и норка американская, в отличие от других изученных нами животных, испытывают на себе воздействие факторов, индуцированных антропогенной средой: гиподинамия и применение лекарственных средств. Возможно, по этой причине у норки американской и человека существенно, по сравнению с другими позвоночными, снижены относительный размер и количество ТТ всех стадий зрелости, что можно рассматривать как компенсаторный ответ на присутствие специфических внешних факторов. Также определенное влияние на строение ТТ оказы-

вают морфофункциональные особенности организма, возникающие в рамках той или иной жизненной формы. Обнаружено, что переход пресмыкающихся к безногой жизненной форме привел к существенному сокращению количества и снижению относительного объема ТТ. Вместе с тем змеи по многим показателям морфологии ТТ более сходны с теплокровными позвоночными, чем с пресмыкающимися, к которым они принадлежат.

Таким образом, результаты проведенного исследования дают возможность утверждать, что морфология ТТ зависит от целого ряда факторов: условий внешней среды, особенностей биологии вида и, отчасти, уровня организации. В норме ТТ являются неотъемлемым компонентом мозгового вещества тимуса половозрелых позвоночных животных, что свидетельствует о важности выполняемых ими функций на поздних стадиях онтогенеза, когда тимус задействован в обеспечении сохранности и целесообразности иммунологических реакций [7, 18–20].

**Конфликт интересов.** Возможность для конфликта интересов отсутствует.

### Список литературы

1. Беловешкин А.Г. Морфогенез эпителиальных клеток телец Гассалья тимуса человека // Мед. журн. 2012. № 2. С. 19–22.
2. Беловешкин А.Г. К вопросу о классификации телец Гассалья тимуса человека // Молодой ученый. 2013. № 4(51). С. 631–634.
3. Bodey B., Bodey B. Jr., Siegel S.E., Kaiser H.E. Novel Insights into the Function of the Thymic Hassall's Bodies // *In Vivo*. 2000. № 14. P. 407–418.
4. Mikušová R., Mešťanová V., Polák Š., Varga I. What Do We Know about the Structure of Human Thymic Hassall's Corpuscles? A Histochemical, Immunohistochemical, and Electron Microscopic Study // *Ann. Anat.* 2017. Vol. 211. P. 140–148.
5. Miller C.N., Proekt I., von Moltke J., Wells K.L., Rajpurkar A.R., Wang H., Rattay K., Khan I.S., Metzger T.C., Pollack J.L., et al. Thymic Tuft Cells Promote an IL4-Enriched Medulla and Shape Thymocyte Development // *Nature*. 2018. Vol. 559, № 7715. P. 627–631.
6. Wang J., Sekai M., Matsui T., Fujii Y., Matsumoto M., Takeuchi O., Minato N., Hamazaki Y. Hassall's Corpuscles with Cellular-Senescence Features Maintain IFN $\alpha$  Production Through Neutrophils and pDC Activation in the Thymus // *Int. Immunol.* 2018. Vol 31, Iss. 3. P. 127–139.
7. Беловешкин А.Г. Системная организация телец Гассалья. Минск: Медисонт, 2014. 180 с.
8. Bowden T.J., Cook P., Rombout J.H.W.M. Development and Function of the Thymus in Teleosts // *Fish Shellfish Immunol.* 2005. Vol. 19, № 5. P. 413–427.



9. Kannan T.A., Ramesh G., Ushakumary S., Dhinakarraj G., Vairamuthu S. Thymic Hassall's Corpuscles in Nandanam Chicken – Light and Electronmicroscopic Perspective (*Gallus domesticus*) // J. Anim. Sci. Technol. 2015. Vol. 57. Art. № 30.
10. Якименко Л.Л., Луппова И.М., Маценович А.А., Якименко В.П., Грушин В.Н. Морфофункциональные особенности телец Гассалья тимуса позвоночных // Уч. зап. УО ВГАВМ. 2012. Т. 48, вып. 1. С. 150–153.
11. Asghar A., Syed Y.M., Nafis F.A. Polymorphism of Hassall's Corpuscles in Thymus of Human Fetuses // Int. J. Appl. Basic Med. Res. 2012. Vol. 2, № 1. P. 7–10.
12. Yurchinskij V.Ja. Age-Related Morphological Changes in Hassall's Corpuscles of Different Maturity in Vertebrate Animals and Humans // Adv. Gerontol. 2016. Vol. 6, № 2. P. 117–122.
13. Виноградова Н.В., Дольник В.Р., Ефремов В.Д., Паевский В.А. Определение пола и возраста воробьиных птиц фауны СССР: справ. М.: Наука, 1976. 189 с.
14. Клевезаль Г.А. Принципы и методы определения возраста млекопитающих. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2007. 283 с.
15. Песков В.Н., Малюк А.Ю., Петренко Н.А. Линейные размеры тела и биологический возраст амфибий и рептилий на примере *Lacerta agilis* (Linnaeus, 1758) и *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2013. Т. 18, вып. 6. С. 3055–3058.
16. Меркулов Г.А. Курс патологистологической техники. Л.: Медицина, 1969. 424 с.
17. Зайратьянц О.В., Карташева В.И., Тарасова Л.Р., Тришкина Н.В. Функциональная морфология тимуса при системной красной волчанке // Архив патологии. 1990. № 2. С. 25–31.
18. Raica M., Encică S., Motoc A., Cîmpean A.M., Scridon T., Bârsan M. Structural Heterogeneity and Immunohistochemical Profile of Hassall Corpuscles in Normal Human Thymus // Ann. Anat. 2006. Vol. 188, № 4. P. 345–352.
19. Харченко В.П., Саркисов Д.С., Ветшев П.С., Галил-Оглы Г.А., Зайратьянц О.В. Болезни вилочковой железы. М.: Триада-Х, 1998. 232 с.
20. Matsui N., Ohigashi I., Tanaka K., Sakata M., Furukawa T., Nakagawa Y., Kondo K., Kitagawa T., Yamashita S., Nomura Y., Takahama Y., Kaji R.R. Increased Number of Hassall's Corpuscles in Myasthenia Gravis Patients with Thymic Hyperplasia // J. Neuroimmunol. 2014. Vol. 269, № 1–2. P. 56–61.

## References

1. Beloveshkin A.G. Morfogenez epitelial'nykh kletok telets Gassalya timusa cheloveka [Morphogenesis of Epithelial Cells of Hassall's Corpuscles in Human Thymus]. *Meditinskiy zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 19–22.
2. Beloveshkin A.G. K voprosu o klassifikatsii telets Gassalya timusa cheloveka [On the Classification of Thymic Hassall's Corpuscles in Humans]. *Molodoy uchenyy*, 2013, no. 4, pp. 631–634.
3. Bodey B., Bodey B. Jr., Siegel S.E., Kaiser H.E. Novel Insights into the Function of the Thymic Hassall's Bodies. *In Vivo*, 2000, vol. 14, no. 3, pp. 407–418.
4. Mikušová R., Mešťanová V., Polák Š., Varga I. What Do We Know About the Structure of Human Thymic Hassall's Corpuscles? A Histochemical, Immunohistochemical, and Electron Microscopic Study. *Ann. Anat.*, 2017, vol. 211, pp. 140–148.
5. Miller C.N., Proekt I., von Moltke J., Wells K.L., Rajpurkar A.R., Wang H., Rattay K., Khan I.S., Metzger T.C., Pollack J.L., et al. Thymic Tuft Cells Promote an IL-4-Enriched Medulla and Shape Thymocyte Development. *Nature*, 2018, vol. 559, no. 7715, pp. 627–631.
6. Wang J., Sekai M., Matsui T., Fujii Y., Matsumoto M., Takeuchi O., Minato N., Hamazaki Y. Hassall's Corpuscles with Cellular-Senescence Features Maintain IFN $\alpha$  Production Through Neutrophils and pDC Activation in the Thymus. *Int. Immunol.*, 2018, vol. 31, no. 3, pp. 127–139.
7. Beloveshkin A.G. *Sistemnaya organizatsiya telets Gassalya* [The Systemic Organization of Hassall's Corpuscles]. Minsk, 2014. 180 p.
8. Bowden T.J., Cook P., Rombout J.H.W.M. Development and Function of the Thymus in Teleosts. *Fish Shellfish Immunol.*, 2005, vol. 19, no. 5, pp. 413–427.
9. Kannan T.A., Ramesh G., Ushakumary S., Dhinakarraj G., Vairamuthu S. Thymic Hassall's Corpuscles in Nandanam Chicken – Light and Electronmicroscopic Perspective (*Gallus domesticus*). *J. Anim. Sci. Technol.*, 2015, vol. 57. Art. no. 30.

10. Yakimenko L.L., Luppova I.M., Matsinovich A.A., Yakimenko V.P., Grushin V.N. Morfofunktsional'nye osobennosti telets Gassalya timusa pozvonochnykh [Morphofunctional Features of Thymic Hassall's Corpuscles in Vertebrates]. *Uchenye zapiski UO VGAVM*, 2012, vol. 48, no. 1, pp. 150–153.
11. Asghar A., Syed Y.M., Nafis F.A. Polymorphism of Hassall's Corpuscles in Thymus of Human Fetuses. *Int. J. Appl. Basic Med. Res.*, 2012, vol. 2, no. 1, pp. 7–10.
12. Yurchinskij V.Ja. Age-Related Morphological Changes in Hassall's Corpuscles of Different Maturity in Vertebrate Animals and Humans. *Adv. Gerontol.*, 2016, vol. 6, no. 2, pp. 117–122.
13. Vinogradova N.V., Dol'nik V.R., Efremov V.D., Paevskiy V.A. *Opreделение pola i vozrasta vorob'inykh ptits fauny SSSR* [Determination of the Sex and Age of Old World Sparrows in the USSR]. Moscow, 1976. 189 p.
14. Klevezal' G.A. *Printsipy i metody opredeleniya vozrasta mlekoopitayushchikh* [Principles and Methods for Determining the Age of Mammals]. Moscow, 2007. 283 p.
15. Peskov V.N., Malyuk A.Yu., Petrenko N.A. Lineynye razmery tela i biologicheskij vozrast amfibiyy i reptiliy na primere *Lacerta agilis* (Linnaeus, 1758) i *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) [Linear Dimensions of Body and Biological Age of Amphibians and Reptiles on Example of *Lacerta agilis* (Linnaeus, 1758) and *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, vol. 18, no. 6, pp. 3055–3058.
16. Merkulov G.A. *Kurs patologogistologicheskoy tekhniki* [A Course of Pathohistological Technology]. Leningrad, 1969. 424 p.
17. Zayrat'yants O.V., Kartasheva V.I., Tarasova L.R., Trishkina N.V. Funktsional'naya morfologiya timusa pri sistemnoy krasnoy volchanke [Functional Morphology of the Thymus in Systemic lupus erythematosus]. *Arkhiv patologii*, 1990, no. 2, pp. 25–31.
18. Raica M., Encică S., Motoc A., Cîmpean A.M., Scridon T., Bârsan M. Structural Heterogeneity and Immunohistochemical Profile of Hassall Corpuscles in Normal Human Thymus. *Ann. Anat.*, 2006, vol. 188, no. 4, pp. 345–352.
19. Kharchenko V.P., Sarkisov D.S., Vetshev P.S., Galil-Ogly G.A., Zayrat'yants O.V. *Bolezni vilochkovoy zhelezy* [Thymus Diseases]. Moscow, 1998. 232 p.
20. Matsui N., Ohigashi I., Tanaka K., Sakata M., Furukawa T., Nakagawa Y., Kondo K., Kitagawa T., Yamashita S., Nomura Y., Takahama Y., Kaji R. Increased Number of Hassall's Corpuscles in Myasthenia Gravis Patients with Thymic Hyperplasia. *J. Neuroimmunol.*, 2014, vol. 269, no. 1–2, pp. 56–61.

DOI: 10.17238/issn2542-1298.2020.8.1.61

Vladislav Ya. Yurchinskij\*/\*\* ORCID: [0000-0003-3019-3053](https://orcid.org/0000-0003-3019-3053)

\*Smolensk State University  
(Smolensk, Russian Federation)

\*\*Smolensk State Medical University  
(Smolensk, Russian Federation)

### PECULIARITIES OF THE MORPHOLOGY OF HASSALL'S CORPUSCLES IN MATURE VERTEBRATE ANIMALS AND HUMANS (Chordata, Vertebrata)

For the first time, using the methods of light microscopy, a comparative study was conducted into the morphological variability of Hassall's corpuscles in mature land vertebrates, including humans. The material for the study included 502 thymus glands from 16 species of mature vertebrate animals belonging to four Chordata classes: Amphibia, Reptilia, Aves, and Mammalia. Histological thymus specimens were prepared by the standard method in the sagittal and horizontal planes. All Hassall's corpuscles, depending on their stage of development, were divided into three relative groups: young, mature, and ageing. The number of Hassall's corpuscles was counted at different stages of maturity on a conventional unit of

the shear area (100  $\mu\text{m}$ ) and the percent area occupied by the thymic bodies was determined. It was established that in all vertebrate animals and humans, Hassall's corpuscles, as they mature, go through similar stages of morphological transformations. At the same time, in representatives of various classes and orders, depending on the level of organization and peculiarities of their biology, a different number of epithelial cells are included in the composition of the Hassall's corpuscle at the stage of its formation. We found a dependence of the relative size and number of thymic bodies on the characteristics of the organism's biology and environmental factors. For instance, in animals from the natural environment, compared with vertebrates exposed to a number of anthropogenic factors (American mink and human), the relative size of Hassall's corpuscles is increased at all stages of maturity. In addition, the analysis of the results showed that the morphology of Hassall's corpuscles in legless creatures (snakes) differs significantly from that of other animals living in the natural environment. On the basis of this study, conclusions are drawn about the specificity of the functional role of Hassall's corpuscles associated with the maintenance of immunological homeostasis.

**Keywords:** *thymus, Hassall's corpuscles, vertebrates, comparative morphology.*

Поступила 18.06.2019

Принята 20.11.2019

Received 18 June 2019

Accepted 20 November 2019

---

**Corresponding author:** Vladislav Yurchinskiy, *address:* ul. Przheval'skogo 4, Smolensk, 214000, Russian Federation; *e-mail:* zool72@mail.ru

**For citation:** Yurchinskiy V.Ya. Peculiarities of the Morphology of Hassall's Corpuscles in Mature Vertebrate Animals and Humans (Chordata, Vertebrata). *Journal of Medical and Biological Research*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 61–71. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2020.8.1.61