

## **ФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ БЕГЕ**

**Безденежных А.В., Гончаров В.В.**

*ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России,  
Нижний Новгород, e-mail: anatom33pimu@pimunn.net*

**Цель работы:** используя факторный анализ, оценить степень влияния внешних факторов и индивидуальных гистотопографических особенностей на структурную организацию щитовидной железы в естественных условиях и при длительном беге. Факторным анализом оценивали влияние экзогенных ненормируемых (сезоны года, гелиогеомагнитная активность) и нормируемых (мышечная деятельность) показателей на эндогенные параметры органа, изученные на поперечных срезах правой доли щитовидной железы, окрашенных различными методами, включая иммуногистохимию. Исследовались животные в контрольной группе (16 собак-самцов) и эксперименте (25 животных), у которых в результате двигательной активности (бег на ленте тредмила) во время однократных и многократных тренирующих нагрузок формировалось различное морфофункциональное состояние органа. Факторный анализ выявил, что в контрольной группе животных ведущими переменными, оказывающими прямое и опосредованное (через регуляторное звено – С-тироциты и тучные клетки) влияние на фолликулы железы, являются сезонные и гелиогеомагнитные условия. Исследования показали, что мышечная деятельность зависит от экзогенных параметров (температуры, светового дня, солнечной и магнитной активности), продолжительности и кратности режимов бега; после двигательных нагрузок изменяются морфологический субстрат реагирования (площадь коллоида и его резорбция, секреция и пролиферация эпителия, проницаемость сосудистого русла), состояние и степень влияния локальных гуморальных регуляторов. Факторная модель структурной организации щитовидной железы зависит от конкретных сезонных и гелиогеомагнитных условий. Структура математической модели, количественный и качественный состав факторов определяли продолжительностью бега и количеством тренировок; каноническим корреляционным анализом показана динамика связей в зависимости от режима бега. Адаптация проявляется изменением секреторной и пролиферативной активности органа. Паракринные воздействия С-тироцитов и тучных клеток оказывают влияние на площадь коллоида и эпителия, индивидуальные особенности структурной реорганизации железы зависят от количественного показателя С-клеток.

Ключевые слова: щитовидная железа, факторный анализ, двигательная нагрузка, модель, морфометрия.

## **FACTOR MODEL OF STRUCTURAL ORGANIZATION OF THE THYROID GLAND DURING LONG-TERM RUNNING**

**Bezdeneshnykh A.V., Goncharov V.V.**

*Federal State Educational Establishment of the Russian Federation «Privolzhsky Research Medical University»  
Ministry of Health of Russia, Nizhny Novgorod, e-mail: anatom33pimu@pimunn.net*

**Objective:** using factor analysis, to assess the degree of influence of external factors and individual histotopographic features on the structural organization of the thyroid gland in natural conditions and during long-term running. Factor analysis was used to assess the influence of exogenous non-standardized (seasons of the year, heliogeomagnetic activity) and regulated (muscle activity) indicators on the endogenous parameters of the organ, studied on cross sections of the right lobe of the thyroid gland, stained by various methods, including immunohistochemistry. The animals in the control group (16 male dogs) and the experiment (25 animals) were studied, various morphofunctional states of the organ of animals were formed as a result of motor activity (running on a treadmill) during single and multiple training loads. Results and its discussion. Factor analysis showed that in the control group of animals, seasonal and heliogeomagnetic conditions are the leading variables that have a direct and indirect (through the regulators – C-thyocytes and mast cells) effects on the follicles of the gland. Muscle activity depends on exogenous parameters (temperature, daylight hours, solar and magnetic activity), duration and frequency of running modes, the morphological substrate of the response changes (colloid area and its resorption, secretion and proliferation of the epithelium, penetrating of the capillary network), the state and degree of influence of local humoral regulators are determined by on physical loads. Conclusion. The factor model of the structural organization of the thyroid gland depends on specific seasonal and heliogeomagnetic conditions.

The structure of the mathematical model, the quantitative and qualitative composition of factors are influenced by the duration of running and the number of trainings change, the canonical correlation analysis showed the dynamics of relationships are subjected by the running mode. Adaptation is manifested by changes in the secretory and proliferative activity of the organ. Paracrine effects of C-thyrococytes and mast cells influence to the area of the colloid and epithelium, individual features of the structural reorganization of the gland relates the quantitative indicator of C-cells.

Keywords: thyroid gland, factor analysis, motor load, model, morphometry.

**Введение.** Создание математических моделей с использованием факторного анализа [1, 2] позволяет выявить скрытые связи изучаемых переменных и оценить степень их взаимного влияния. Структурная организация щитовидной железы (ЩЖ) характеризуется гистотопографическими особенностями взаимоотношений функционального (фолликулы) и регуляторного (С-тироциты, тучные клетки) звеньев [3, с. 1–38], связана с эмбриогенезом органа [4] и проявляется в срочной и долговременной адаптации к воздействию внешних факторов – сезонов года, гелиогеомагнитной активности, мышечной деятельности [5].

В настоящем исследовании приведены данные о степени влияния экзогенных (ненормируемых и нормируемых) и эндогенных (на уровне структурно-функциональных единиц органа) факторов при продолжительных нагрузках у тренированных и нетренированных собак.

**Цель исследования.** Используя факторный анализ, оценить степень влияния внешних факторов и индивидуальных гистотопографических особенностей на структурную организацию щитовидной железы в естественных условиях и при длительном беге.

**Материалы и методы исследования.** Контрольную группу представляли 16 беспородных половозрелых собак-самцов, подобранных по возрасту (1,5–2,5 года) и массе (15,7±2,8 кг). Животных со средней частотой сердечных сокращений (ЧСС) 125±6,9 уд/мин содержали в условиях вивария со стандартным рационом питания сроком не менее одного месяца при среднесуточной температуре от –18,2°С до 20,1°С, с продолжительностью светового от 7 часов 03 мин до 17 часов 42 мин, при солнечной активности (число Вольфа) от 0 до 78, планетарном (магнитном) Кр-индексе от 3 до 33 нТл. Экспериментальное воздействие (бег на ленте тредмила со скоростью 15 км/час при динамическом контроле ЧСС) проводилось как однократно – группа 1 с предельными (бег «до отказа») нагрузками на организм (n=14), так и многократно после четырех циклов индивидуально дозируемых двигательных нагрузок (ИДДН), каждый из которых состоял из тренирующих (первый этап) и стартовых (второй этап) тренировок – группа 2 (n=11). В группе 1 эксперимент проходил на фоне различных сезонных и гелиогеомагнитных воздействий: среднесуточная температура от –18,2°С до 20,0°С, продолжительность светового дня от 6 часов 49 мин до 17 часов 43 мин, при показателях солнечной активности от 0 до 133 и геомагнитной активности от 3 до 30 (нТл), время бега составило 73,1±15,0 мин при ЧСС 179±8,5 уд/мин. В группе 2 общее количество нагрузок было

70,5±2,5, среднее время бега в последнем цикле 71,3±2,56 мин при средней ЧСС 173,6±2,6 уд/мин (среднее время бега при стартовых нагрузках составляло 9,9±0,3 мин, ЧСС 183,3±2,6 уд/мин). Так как продолжительность воздействий составляла от 56 до 82 тренировок, сезонные влияния включали широкий диапазон среднесуточного значения температуры – от –10,3°C до 10,9°C, продолжительности светового дня – от 09 часов 26 минут до 17 часов 07 минут, среднего значения показателей солнечной активности – от 13 до 188 и геомагнитной активности – от 10 до 47 (нТл).

Эксперименты над животными проводились в соответствии с Директивой Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 г. о защите животных, используемых для научных целей, с Федеральным законом от 27.12.2018 г. № 498-ФЗ (ред. от 27.12.2019) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», а также с учетом рекомендаций этического комитета от 21.12.2018 г. № 313.

Исследования проводились на архивном материале.

Взятие материала осуществляли под внутривенным наркозом («золетил 50» в дозе 5 мг на 1 кг массы животного, с премедикацией 2%-ным ромитаром внутримышечно в дозе 0,2 мл на 1 кг массы животного) и управляемым внешним дыханием в стандартное время суток – 10–12 часов.

Аналізу подвергались поперечные срезы парафин-целлоидиновых блоков (фиксатор 10%-ный нейтральный формалин) средней части правой доли ЩЖ толщиной 3 мкм, изготовленные с помощью роторного микротомы (ERM-230L) и окрашенные различными методами (гематоксилин-эозином, азур-эозином для маркировки тучных клеток), в том числе иммуногистохимическими (С-тироциты, фибронектин, PCNA, тиреоглобулин (ТГ), фибронектин, фактор Виллебранда). Захват кадров (микроскоп «Leika DMLS», камера «CCB Camera DIGITAL Kосom», ув. 400) проводился в центральной, промежуточной и периферической зонах железы относительно ее геометрического центра [5]. Ряд показателей анализировали на всей поверхности среза (общее увеличение 600). Измерения морфологических параметров осуществляли в программе ImageJ после геометрической и фотометрической калибровки.

Исследуемые показатели представлены переменными: экзогенными ненормируемыми – сезонность<sup>1</sup>: продолжительность светового дня (мин), среднесуточная температура (°C), число (Вольфа) солнечных пятен (R), планетарный Кр-индекс геомагнитной активности (нТл), экзогенными нормируемыми – время бега<sup>2</sup> (мин): для группы 2 после 4 циклов ИДДН исследовался его прирост по отношению к 1-му циклу ( $\Delta$  времени бега); тренировки<sup>3</sup> – количество тренировок первого и второго этапа; эндогенными организменными – средняя

ЧСС (уд/мин) во время бега, включая ее динамику в отношении к 1-му циклу ИДДН –  $\Delta$ ЧСС<sup>4</sup>, ее изменения в циклах тренировок группы 2 – степень монотонности динамики (СМД), уровень трийодтиронина ( $T_3$ ) в периферической крови (пмоль/л) – в отношении групп 1 и 2 анализировалось изменение  $T_3$  к исходным значениям ( $\Delta T_3$ <sup>5</sup>), вес животного (кг), масса щитовидной железы (мг); эндогенными органами – средняя площадь<sup>6</sup> (мкм<sup>2</sup>) фолликулов, коллоида, эпителия (кроме группы 1, где площадь эпителия – отдельная переменная), площадь (мкм<sup>2</sup>) фибронектин-позитивной реакции, площадь реакции фактора фон Виллебранда<sup>7</sup> относительно площади стенки сосуда, индекс секреторной (ИСА) и пролиферативной активности (ИПА) – отношение тиреоглобулин- и PCNA-позитивных клеток к общему числу изученных клеток; резорбционные вакуоли<sup>8</sup> – отношение их количества к количеству тиреоглобулин-секретирующих клеток, высота фолликулярного эпителия (ВФЭ, мкм); общее количество (ед.), площадь (мкм<sup>2</sup>), интегрированная средняя оптическая плотность (усл. ед.) тучных клеток (мастоцитов, ТК, регуляторов-ТК<sup>9</sup>) и С-тироцитов (С-клеток, парафолликулярных клеток, регуляторов-СТ<sup>10</sup>), включая единичные клетки (Ед.) и их группы (Гр.). Руководствуясь рекомендациями [6, с. 302-364; 7, с. 247-263] программы Statistica Ultimate Academic 13 for Windows Ru сетевая версия серийный номер: JPZ009K288811CNETACD-V «Лицензия ФГБОУ ВО "ПИМУ" Минздрава России», проводили факторный анализ. Поскольку корреляционные матрицы экспериментальных данных оказались сингулярны и вследствие вырожденности не могли быть обращены, для выделения главных факторов использовали метод итеративной общности (MINRES), предложенный Harman и Jones (1966) [8]. Редукцию количества первично выделенных общих факторов проводили, опираясь на критерий «каменистой осыпи» Р. Кеттелла и метод отбора главных компонент по правилу Кайзера (значения объясненной дисперсии больше 1), до 7 или 8, что позволяет объяснить от 79,89 до 84,84% суммарной дисперсии модели [8, 9]. Методом вращения факторов был выбран «Varimax gaw» исходных значений [9, 10], значимыми считали нагрузки, превышающие или равные 0,5. «Моделирование структурными уравнениями» (SEPATH) использовали для оценки взаимоотношений между отдельными переменными. Для поиска скрытых (латентных) корреляционных связей между группами переменных использовали канонический анализ. При проведении указанных исследований в качестве статистических изучались такие показатели, как суммарная доля дисперсии главных факторов в модели, доля дисперсии признака в факторе, доля, объясняемая фактором во всей дисперсии математической модели, и коэффициенты корреляции признаков с каноническими корнями. Уровень значимости составлял  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Для группы Контроль (n=16) математическая модель включала 79,89% дисперсии 25 анализируемых признаков,

объединенных в семь факторов (табл. 1), и учитывала сезонные влияния, солнечную и геомагнитную активность. Ведущей переменной фактора 1 (17,51% дисперсии в модели) являлось состояние функциональных единиц – фолликулов – в конкретных сезонных условиях (фактор 3) при зафиксированной солнечной активности (фактор 7). Второй фактор (14,16% модели) включал особенности организации С-тироцитов ЩЖ, их общее количество, характер распределения (единично расположенные и группы клеток), эти переменные линейно взаимосвязаны у всех исследуемых животных. Они отражают индивидуальные структурные особенности развития и организации ЩЖ и могут быть обозначены как «показатель количества С-клеток». Паракринные влияния ТК (фактор 4) превалируют над воздействием СТ (фактор 5). Отражением состояния функциональной активности органа в условиях покоя (Контроль) может служить соотношение процессов резорбции и синтеза ТГ – ведущая переменная фактора 6 (8,72%). Выявлена взаимосвязь сезонов и площади эпителия (преимущественно), коллоида и фолликулов. Влияние гелиогеомагнитной активности на площадь эпителия и коллоида опосредовано связями с площадью и оптической плотностью гранул ТК. «Показатель количества С-клеток» связан с их морфофункциональным состоянием и массометрическими переменными. В контроле для каждого из регуляторов обнаружена связь площади сечения и степени грануляции отдельно для С-клеток и ТК, находящихся в одном факторе. Канонический корреляционный анализ не выявил связей локальных гуморальных регуляторов с морфологическими показателями функциональной активности ЩЖ. Структурное моделирование показало влияние количества ТК на площадь и степень грануляции кальцитониноцитов, а показателя количества С-клеток – на площадь эпителия и коллоида фолликулов. Статистически значимые связи между переменными внутри факторов (1 и 6) и сторонними переменными, не входящими в фактор, немногочисленны (14 связей) и обусловлены только сезонными и гелиогеомагнитными влияниями.

Факторы, их участие в математической модели и переменные, их формирующие

Факторы	Контроль		Группа 1		Группа 2	
	#	Переменная, доля в факторе (%)	#	Переменная, доля в факторе (%)	#	Переменная, доля в факторе (%)
Фактор 1	17,51	Фолликулы <sup>6</sup> , 54 (19+18+16) Количество Тучных Клеток, 12 Масса животного, 6	13,88	Сезонность <sup>1</sup> , 42 (24+18) $\Delta T_3$ <sup>5</sup> , 12 Масса животного, 11 Планетарный Кр-индекс, 9	20,65	Регуляторы-ТК <sup>9</sup> , 20 (10+10) Время бега <sup>2</sup> , 11 $\Delta$ времени бега, 10 $\Delta T_3$ , 10 $\Delta$ ЧСС <sup>4</sup> (см. Фактор 4), ИСА, 6 ИПА (PCNA), 10 Число солнечных пятен, 5
Фактор 2	14,16	Ед. и Гр. С-тироцитов, 38 (17+21) Количество С-тироцитов, 12 Масса ЩЖ, 9 $T_3$ (см. Фактор 5), 7	13,27	Регуляторы-СТ <sup>10</sup> , 41 (23+19) Регуляторы-ТК, 31 (20+11) ВФЭ (см. Фактор 5), 9	15,52	Фолликулы, 42 (16+15+11) ВФЭ, 10 Средняя ЧСС при беге, 10 СМД ЧСС (см. Фактор 6), 8
Фактор 3	13,71	Сезонность, 42 (22+20) ИПА (PCNA), 17 Средняя ЧСС, 14 ВФЭ, 12	12,57	Фолликулы«-», 43 (22+21) Площадь фибронектина, 16 Масса ЩЖ (см. Фактор 7), 9 ИСА (см. Фактор 8), 8	13,74	Ед. и Гр. С-тироцитов, 35 (19+16) Количество С-тироцитов, 19 Количество ТК, 6
Фактор 4	10,66	Регуляторы-ТК, 53 (26+27) ИСА, 11	12,31	Ед. и Гр. С-тироцитов, 52 (28+24) Количество С-тироцитов, 28	11,60	Тренировки <sup>3</sup> , 40 (24+16) Сезонность, 28 (17+11) $\Delta$ ЧСС (см. Фактор 1), 8
Фактор 5	9,07	Регуляторы-СТ, 45 (17+28) Фактор Виллебранда <sup>7</sup> , 21 $T_3$ (см. Фактор 2), 11	11,28	Количество Тучных Клеток, 25 Средняя ЧСС при беге, 21 Площадь эпителия фолликулов, 17 ВФЭ (см. Фактор 2), 10	10,61	Регуляторы-СТ, 45 (23+22) Масса животного, 19
Фактор 6	8,72	Резорбционные вакуоли <sup>8</sup> , 33 Планетарный Кр-индекс, 14	9,08	Время бега, 34 Фактор Виллебранда, 23 ИПА (PCNA), 16	7,96	Площадь фибронектина, 34 СМД ЧСС (см. Фактор 2), 23 Количество Тучных Клеток, 10
Фактор 7	6,06	Число солнечных пятен, 38 Площадь фибронектина, 26	6,06	Резорбционные вакуоли, 42 Масса ЩЖ (см. Фактор 3), 14	7,77	Фактор Виллебранда, 34 Масса ЩЖ, 19
Фактор 8			5,02	Число солнечных пятен, 22 ИСА (см. Фактор 3), 20		

Примечание: состав групп переменных приведен в разделе «Материалы и методы», + – сумма значений долей отдельных переменных в факторе (%), # – доля, объясняемая фактором во всей дисперсии математической модели.

Для группы 1 (n=14) с максимальной продолжительностью бега при однократном взаимодействии математическая модель представлена восемью факторами (табл. 1), которые характеризуют 84,41% дисперсии 26 анализируемых переменных. Ведущей переменной фактора 1 (13,88%) является влияние сезонов, которые связаны с магнитным Кр-индексом, массой животного и уровнем гормонов. Вторым фактором (13,27% влияния) служит состояние С-тироцитов и ТК как со стороны морфологических показателей (средняя площадь сечения), так и со стороны функционального состояния (оптическая плотность гранул). Функциональное напряжение при беге «до отказа» объединяет их в общий фактор, в отличие от группы Контроль. Площадь фолликулов и площадь коллоида формируют ведущую переменную третьего фактора (12,57%). Уменьшение площади фолликулов связано с уменьшением массы железы, а меньшая площадь коллоида – с меньшей площадью фибронектина как компонента стромы. Отметим, что более медленно реагирующий показатель состояния фолликулов – площадь эпителия – находится в факторе 5, совместно с общим количеством ТК. Для фактора 5 (11,28%) характерна связь ЧСС в процессе бега и площади эпителия, количества ТК, ВФЭ. «Показатель количества С-клеток», отражающий особенности индивидуальной структурной организации ЩЖ, формирует отдельный фактор 4 (12,31%) с долей влияния этих переменных (единичных клеток, их групп) 80%. Ведущей переменной фактора 6 (9,08%) в условиях предельных однократных нагрузок является время бега, связанное как с уровнем пролиферативной активности (признак долговременной адаптации), так и с состоянием эндотелия сосудистой стенки (признак срочных адаптационных изменений). Таким образом, время бега не является уникальной (изолированной) переменной, формирующей отдельный фактор. Фактор 7 (7,01%) включал взаимозависимые переменные – относительное количество резорбционных вакуолей и массу железы. Для данной экспериментальной группы характерно влияние сезонов (продолжительности светового дня и среднесуточной температуры) на снижение массы животного и ЩЖ. Для группы 1 по сравнению с Контролем характерен самый большой диапазон числа солнечных пятен (от 0 до 133), наряду с наличием связи сезонных и гелиогеомагнитных показателей выделяется восьмой фактор (5,02% влияния), включающий солнечную и секреторную активность. В этой группе можно отметить небольшое увеличение (до 20) значимых линейных корреляционных связей с *другими* переменными, не входящими в данный фактор в этой группе. Для регуляторов-СТ и -ТК характерно формирование зависимости морфометрических и функциональных показателей преимущественно за счет гранул ТК. Выявлена зависимость степени дегрануляции С-тироцитов и ТК от увеличения ВФЭ. Площади коллоида и эпителия фолликулов связаны с проницаемостью сосудистой стенки (позитивная реакция фактора Виллебранда в сосуде) и функциональным состоянием

(средней оптической плотностью) ТК, что демонстрирует срочные адаптационные изменения. Наряду с этим выявлена зависимость состояния фолликулов и пролиферативной активности – признаки долговременной адаптации.

Для группы 2 (n=11) с продолжительностью воздействий от 56 до 82 тренировок была предложена семифакторная модель (табл. 1), характеризующая 87,84% дисперсии 31 признака. В факторе 1 (20,65%) наряду с 37% влияния параметров эксперимента (4 из 8 переменных) ведущими переменными являются средняя площадь сечения и оптическая плотность гранул ТК, таким образом, доля воздействия регуляторов-ТК составила 20%. Показатели эксперимента (продолжительность времени бега, его прирост и динамика ЧСС по отношению к 1-му циклу ИДДН, изменения уровня Т<sub>3</sub>) формируют сложные связи с показателями секреторной (рост ИСА) и пролиферативной активности (рост ИПА), состоянием ТК (уменьшение средней площади сечения и оптической плотности гранул) и происходит на фоне увеличения солнечной активности (среднего количества солнечных пятен). В факторе 2 (влияние на 15,52% модели) ведущие переменные отражают состояние функциональных единиц ЩЖ (средняя площадь фолликулов, коллоида, эпителия). ЧСС для этой группы, ее динамика, ВФЭ (как маркер функционального напряжения тироцитов) связаны с площадью фолликулов, коллоида и эпителия в них. Фактор 3 (13,74%) формирует «показатель количества С-клеток» со степенью влияния 54%, и, если для группы 1 это изолированный фактор, то для группы 2 характерно наличие в данном факторе и другого локального гуморального регулятора (кроме того, общее количество ТК связано с С-тироцитами). Ведущей переменной в четвертом факторе (11,60%) является общее количество тренировок (40% влияния). Сезонные переменные (28% влияния), в первую очередь увеличение среднесуточной температуры и изменения ЧСС (по отношению к 1-му циклу тренировок), связаны с уменьшением как общего числа, так и количества тренирующих нагрузок 1-го этапа. Пятый фактор (10,61%) – морфофункциональное состояние регуляторов-СТ (средняя площадь сечения и оптическая плотность гранул), обеспечивающих 45% влияния. Ведущей переменной шестого фактора (7,96% модели) является площадь фибронектина (26%) – субстрата для пролиферации тироцитов при мышечных нагрузках, седьмого фактора (7,77%) – отношение количества резорбционных вакуолей к количеству тиреоглобулин-секретирующих клеток (34% влияния), что отражает интенсивность синтеза и выведения гормонов. Каноническим анализом выявлена связь морфофункционального состояния фолликулов с ИПА (PCNA), что может служить одним из признаков долговременной адаптации. Увеличение времени бега, его прирост по отношению к 1-му циклу тренировок и среднесуточная температура взаимосвязаны, как и показатели ЧСС (СМД, средние и максимальные значения). Состояние регуляторов-ТК (средняя площадь сечения и оптическая

плотность гранул) положительно связано с общим числом (от 56 до 82) и количеством тренирующих нагрузок. Структурным моделированием выявлено влияние сезонов на площадь эпителия и коллоида фолликулов, а гелиогеомагнитной активности – на площадь коллоида. Между регуляторами-СТ и -ТК формируется сложная система взаимного влияния количества, средней площади сечения клеток и оптической плотности. Подобная связь сходна по структуре с группой Контроль. Количество ТК и «показатель количества С-клеток» оказывают влияние на площадь эпителия и коллоида фолликулов. Среди 55 статистически значимых (максимальное количество для всех групп) линейных корреляционных связей с *другими* переменными, не входящими в данный фактор, канонический корреляционный анализ показал, что снижение гелиогеомагнитной активности сопровождается уменьшением «количественного показателя С-клеток» и дегрануляцией регуляторов-СТ и -ТК.

**Заключение.** Исследования показали, что факторная модель структурной организации ЩЖ в группе Контроль (n=16) представлена семью факторами. Для группы характерен широкий спектр сезонных влияний (среднесуточной температуры, продолжительности светового дня), солнечной и геомагнитной активности, которые оказывают значимое влияние на состояние функциональных единиц органа – фолликулов. В структурной организации ЩЖ в этой группе паракринные влияния ТК превалируют над воздействием С-тироцитов. Выявлено прямое воздействие сезонов и опосредованное (через морфофункциональное состояние ТК) – гелиогеомагнитной активности на площадь эпителия и коллоида. Обнаружена связь переменных (площади сечения и степени грануляции) отдельно для С-клеток и ТК, находящихся в разных факторах – 4 и 5. Отмечено влияние количества ТК на площадь и степень грануляции кальцитониноцитов, а «показателя количества С-клеток» – на площадь эпителия и коллоида фолликулов. Отражением состояния функциональной активности органа в условиях покоя (Контроль) может служить соотношение процессов резорбции и синтеза ТГ – ведущая переменная фактора 6.

Предельные нагрузки и большой диапазон солнечной активности (от 0 до 133) приводят к выделению в факторной модели структурной организации ЩЖ в группе 1 (n=14), в отличие от других групп восьмого фактора. При «беге до отказа» признаки, характеризующие функциональные единицы: площадь фолликулов, коллоида и площадь эпителия, разобщены и находятся в разных факторах. По степени воздействия по отношению к Контролю в группе более значимой является сезонная активность, а влияние С-тироцитов превалирует над влиянием ТК. Выявлена большая значимость гелиогеомагнитной активности по сравнению с организменными – массометрическими показателями. Следует отметить роль гуморальных регуляторов: ведущие переменные трех из восьми факторов формируют регуляторы-СТ и -ТК, они расположены во втором по значимости факторе и действуют

содружественно, при этом «показатель количества С-клеток» формирует отдельный, изолированный фактор 4, характеризующий индивидуальные особенности развития и структурной организации органа.

Факторная модель структурной организации ЩЖ в группе 2 с длительным бегом (n=11) включает семь факторов. Показатели эксперимента для группы 2 превалируют над другими переменными: 4 из 8 переменных ведущего фактора 1, ведущая переменная (Тренировки) и динамики изменения ЧСС фактора 4. По степени значимости впервые вслед за состоянием функциональных единиц – фолликулов – выступает количество Тренировок, а влияние Сезонов демонстрирует самые низкие значения среди всех исследуемых групп. Несмотря на наличие в первом факторе регуляторов-ТК (20% влияния), в общем воздействии на модель более значимы регуляторы-СТ (отражающие индивидуальные особенности развития и строения органа), количественный показатель С-клеток дополняется в факторе 3 тучными клетками. Состояние сердечно-сосудистой системы (ЧСС и ее динамика) превалирует над гелиогеомагнитной активностью (планетарный Кр-индекс при этом не входит ни в один фактор), а массометрические показатели распределены по факторам и связаны с процессами резорбции коллоида и состоянием регуляторного звена. Высокая гелиоактивность сопровождается признаками срочной (ИСА) и долговременной (ИПА) адаптации ЩЖ.

Каноническим корреляционным анализом показано увеличение числа статистически значимых связей как внутри факторов (контроль – 2, группа 1 – 6, группа 2 – 4), так и с *другими* переменными, не входящими в данный фактор (контроль – 14, группа 1 – 20, группа 2 – 55), что авторы рассматривали как изменение влияния регуляторного звена ЩЖ на функциональные единицы органа при адаптации к продолжительному бегу.

### Список литературы

1. Abduvaliev A., Saydalieva M., Hidirova M., Gildieva M. Mathematical Modeling of the Thyroid Regulatory Mechanisms // Am. J. Med. Sci. Med. 2015. Vol. 3. Is. 3. P. 28-32.  
DOI: 10.12691/ajmsm-3-3-1.
2. Kalmin O.V., Kalmin O.O. Mathematical Modeling of Morphometric Parameters of Thyroid Gland Structure // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT): proceedings (Moscow, 11-13 March 2020). Moscow: National Research University Higher School of Economics, 2020. P. 1-4. DOI: 10.1109/MWENT47943.2020.9067485.
3. Nikiforov Y.E., Biddinger P.W., Thompson L.D.R. Diagnostic pathology and molecular genetics of the thyroid: a comprehensive guide for practicing thyroid pathology. 3-rd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2020. 533 p.

4. De Felice M., Di Lauro R. Anatomy and Development of the Thyroid. In book: Endocrinology: Adult and Pediatric (Seventh Edition) / Elsevier, 2016. P. 1257-1277.e5.  
DOI: 10.1016/B978-0-323-18907-1.00073-1.
5. Безденежных А.В. Математическая модель реакции щитовидной железы собак на индивидуально дозированную двигательную нагрузку // Нижегородский медицинский журнал. 2004. № 3. С.88-92.
6. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного статистического анализа данных: учебное пособие. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2022. 484 с.  
URL: <https://znanium.ru/catalog/product/1815604> (дата обращения: 18.12.2024).
7. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных и машинное обучение на STATISTICA. Москва: Горячая линия-Телеком, 2024. 354 с.
8. Howard M.C. A systematic literature review of exploratory factor analyses in management // J. Bus. Res. 2023. Vol. 164. Is. 1. P. 113969. DOI: 10.1016/j.jbusres.2023.113969.
9. Trendafilov N., Hirose K. Exploratory factor analysis // In book: In International Encyclopedia of Education (Fourth Edition). Elsevier Science, 2023. P. 600–606.  
DOI: 10.1016/B978-0-12-818630-5.10015-6.
10. Fávero L.P., Belfiore P. Principal Component Factor Analysis // Data Science for Business and Decision Making. Academic Press, 2019. P. 383-438. DOI: 10.1016/B978-0-12-811216-8.00012-4.