

**РАЗВИТИЕ, СТРОЕНИЕ И РЕГУЛЯЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
САЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ  
(обзор литературы)**

**Ключевые слова:** кожа, сальные железы, себоциты, онтогенез, андрогены.

В данной статье представлен обзор литературы о развитии и регуляции деятельности сальных желез, которые активно изучаются в последние десятилетия. Исследования проводятся на биологическом материале, лабораторных животных, культурах клеток и тканей. Последние достижения в создании диагностических методик, использование методов иммуноцитохимических исследований и иммунофлуоресцентных маркеров расширили возможности изучения кожи.

**Цель обзора** – систематизация сведений о сальных железах человека по данным отечественных и зарубежных источников с использованием современных методов исследования. В данной статье представлены сведения о развитии, строении и регуляции деятельности сальных желез человека, которые относятся к важнейшему производным кожи и обладают уникальным голокриновым типом секреции. Они выделяют кожное сало, которое формирует водно-липидную мантию на поверхности эпидермиса. Развитие сальных желез начинается на 13–16-й неделе эмбриогенеза и происходит параллельно с развитием волосяных фолликулов и эпидермиса. Их деятельность находится под контролирующим влиянием различных факторов. Это генетическая предрасположенность и факторы окружающей среды, гормоны и негормональные факторы, нейропептиды, фармакологические средства, которые влияют на выработку кожного сала.

Анализ литературных источников проводился в базах данных PubMed, eLIBRARY.RU, КиберЛенинка, которые представляют собой крупные агрегаторы научных публикаций по всему миру. По запросу «sebaceous gland» было получено 10 967 публикаций. Для более глубокого исследования была выбрана 51 публикация из различных отечественных и зарубежных научных изданий. Были изучены научные обзоры и оригинальные исследования, в которых представлены результаты изучения сальных желез. В настоящее время возрастает интерес к изучению различных структур кожи, особенно сальных желез, которые участвуют в регенерации, процессах старения, нейромедиаторных взаимодействиях, трансформациях гормонов и нейропептидов и выполняют сложные нейроэндокринные и иммунологические функции.

**Введение.** В настоящее время интерес к изучению различных структур кожи возрастает, особенно в исследовании сальных желез, которые участвуют в регенерации, процессах старения, нейромедиаторных взаимодействиях, трансформациях гормонов и нейропептидов и выполняют сложные нейроэндокринные и иммунологические функции. Исследования проводятся на биологическом материале, на лабораторных животных, культурах клеток и тканей с использованием современных диагностических методик, методов иммуноцитохимических исследований и иммунофлуоресцентных маркеров [1, 9, 49].

**Целью обзора** явилась систематизация современных сведений о сальных железах человека по данным отечественных и зарубежных источников с использованием современных методов исследования.

Анализ литературных источников проводился в базах данных PubMed, eLIBRARY.RU, КиберЛенинка, которые представляют собой крупные агрегаторы научных публикаций по всему миру. По запросу «sebaceous gland» было

получено 10 967 публикаций. Поиск указанного названия производился в названиях, резюме, а также среди ключевых слов публикаций. Для анализа отбирались статьи на английском и русском языках. После исключения дублированных оставшиеся публикации проанализировали на предмет соответствия критериям включения/исключения.

Критерии включения: научные обзоры, оригинальные статьи в периодических журналах, оригинальные исследования. Критерии исключения: тезисы и статьи в сборниках конференций, учебная литература. В результате поиска было найдено 685 источников. После исключения дублирования и оценки на предмет критериев включения/исключения для более глубокого исследования была выбрана 51 публикация из различных отечественных и зарубежных научных изданий.

**1. Распределение и размеры сальных желез.** Сальные железы (СЖ) относятся к производным кожи и являются простыми альвеолярными разветвленными железами с голокриновым типом секреции, которые вырабатывают кожное сало.

СЖ кожи человека были описаны в 1689 г. итальянским анатомом и физиологом Марчелло Мальпиги (M. Malpighi, 1628–1694), а их интенсивное изучение началось в XVIII в.

СЖ расположены во всей коже, за исключением ладоней и подошв. Большая часть их структурно и функционально связана с волосяными фолликулами, образуя сально-волосяные комплексы или сально-волосяные фолликулы.

На отдельных участках СЖ могут открываться непосредственно на поверхность кожи (свободные СЖ) [1–3]. Примерами таких желез являются:

- мейбомиевые (по имени немецкого врача Генриха Мейбома, Heinrich Meibom, 1638–1700), или тарзальные, железы, которые связаны с веками. Они вырабатывают вязкий секрет – мейбум, который, смешиваясь со слезной жидкостью, препятствует ее испарению и выполняет защитную функцию [7];

- гранулы Фордайса (по имени американского дерматолога Джона Фордайса, John Fordyce, 1858–1925), которые находятся на границе красной каймы губ и слизистой оболочки рта;

- железы, или бугорки, Монтгомери (по имени британского врача Уильяма Монтгомери, William Montgomery, 1797–1859), расположенные в области околососковой каймы (ареолы) молочной железы;

- железы Тайсона (по имени британского врача Эдварда Тайсона, Edward Tyson, 1650–1708) в зоне крайней плоти головки полового члена;

- железы в области ануса, малых половых губ и клитора.

Распределение СЖ на различных участках кожи неодинаково и подвержено большим индивидуальным колебаниям. Наиболее многочисленны они в коже лба, подбородка, кончика носа, волосистой части головы, ушных раковин, где их количество составляет 400–900 на см<sup>2</sup>, несколько меньше (в порядке убывания) – на задней поверхности шеи и спине, коже лобка, груди, живота, плеч, бедер, предплечий. Преимущественное расположение их на открытых частях тела в сочетании с густой капиллярной сетью является защитным приспособлением, предотвращающим высыхание и охлаждение кожи. Минимальная плотность расположения – около 50 желез на см<sup>2</sup> – в коже голеней, тыльной поверхности кистей и стоп, красной кайме губ и в области ануса. Наиболее крупные СЖ находятся в коже вблизи средней линии спины, лица (особенно на лбу, крыльях носа и подбородке), волосистой части головы, в слуховом проходе. По мере удаления от головы и туловища их размеры уменьшаются [1–3].

**2. Структура СЖ.** СЖ относятся к простым альвеолярным железам. Их концевые отделы, связанные с волосным фолликулом, локализуются на границе сосочкового и сетчатого слоев дермы, формируя единый сально-волосной комплекс. В его состав входят волосной фолликул и одна или несколько СЖ. Комплекс располагается наклонно по отношению к поверхности кожи и окружен соединительнотканной стромой, состоящей из фибробластов и коллагена. Сбоку от этих структур также наклонно находится мышца, поднимающая волос, которая прикрепляется к волосной сумке и участвует в выделении кожного сала через проток в волосную воронку и на поверхность кожи. Нередко в воронку волоса открывается и проток потовой железы. СЖ состоят из двух частей: концевого (секреторного) отдела и выводного протока. Секреторные отделы состоят из округлых ацинусов, содержащих железистые клетки – себоциты, находящиеся на разных стадиях дифференцировки. Малодифференцированные себоциты располагаются в один ряд на базальной мембране и связаны с ней полудесмосомами, а с окружающими клетками – десмосомами и щелевидными контактами. Эти себоциты обладают высокой пролиферативной активностью и образуют периферическую зону или базальный слой. Цитоплазма этих клеток содержит много свободных рибосом, митохондрии, липидные капли, включения гликогена и тонофиламенты. По мере дифференцировки клетки отдаляются от базальной мембраны в сторону выводного протока. В них накапливаются липидные капли, а аппарат Гольджи, гранулярная и агранулярная эндоплазматическая сеть становятся хорошо выраженными, ядерно-цитоплазматическое соотношение уменьшается, клетки увеличиваются в размерах. Зрелые клетки крупнее базальных в 100–200 раз, заполнены липидными каплями и немногочисленными лизосомами, в них часто отсутствуют ядра. Выделение секрета происходит по голокриновому типу путем апоптоз-индуцированного лизиса клеток, за счет активности гидролитических ферментов и мембранных рецепторов. Время дифференцировки себоцитов у человека составляет приблизительно 7–14 дней. Синтез, накопление и выведение липидов кожного сала происходит примерно в течение 7 дней. Выводные протоки СЖ выстланы многослойным плоским неороговевающим эпителием, имеющим самое большое количество рядов клеток в месте впадения в волосную воронку [1, 3, 17, 18, 34, 36].

Ацинусы хорошо васкуляризируются, иннервация осуществляется вегетативными нервными волокнами, окружающими СЖ [49].

**3. Регенерация СЖ.** На протяжении всей жизни человека СЖ постоянно обновляются за счет популяции клеток-предшественников базального слоя под влиянием гормонов, цитокинов и медиаторов, поддерживая равновесие между пролиферацией и терминальной дифференцировкой клеток. Физиологическая регенерация СЖ регулируется количеством органных коммитированных стволовых клеток, их пролиферацией и интенсивностью терминальной дифференцировки себоцитов [6, 26].

В последние годы, благодаря исследованиям стволовых клеток и их маркеров в сально-волосном комплексе, выделяют несколько клеточных субкомпартов. Стволовые клетки появляются в эмбриональном периоде, они однородны. В постэмбриональном периоде в сально-волосном комплексе уже присутствует множество субпопуляций стволовых клеток. Распределение маркеров этих клеток меняется в зависимости от стадии цикла смены волос. Существует несколько предположений о месте локализации клеток-предшественников

себоцитов: в пределах сальных желез, в колбе наружного волосяного эпителиального влагалища, в межфолликулярном эпидермисе, а также – в области перешейка между волосяным фолликулом и сальной железой [23, 27, 33, 34, 37, 39, 44].

Деятельность стволовых клеток сально-волосяного комплекса регулируется микроокружением, о чем свидетельствует их расположение в топографически и молекулярно четко определенных местах. В состав микроокружения входят фибробласты дермы, молекулярные сигнальные пути (Wnt, BMP, FGF18, TGF- $\beta$ , лиганды FGF, ингибиторы Wnt), соседние популяции стволовых клеток (меланоциты, адипоциты), мышца, поднимающая волос, иммунные клетки, трансмембранные рецепторы (интегрины), специализированные сенсорные нейроны [10, 14, 34, 35, 38, 45].

**4. Развитие СЖ.** Формирование СЖ у человека начинается на 13–16-й неделе эмбрионального развития из эктодермы. С 18-й недели эмбриогенеза они начинают активно функционировать и играют важнейшую роль в выработке плодом первородной смазки – богатого липидами вещества, состоящего из слушающих клеток и кожного сала, которая образуется примерно с 21-й недели беременности. Этот секрет покрывает кожу плода восковидной сыровидной смазкой, которая защищает ее от мацерации амниотической жидкостью и механического повреждения во время родов. К 24-й неделе беременности СЖ увеличиваются в размерах, становятся разветвленными, содержат до 6–7 секреторных долек. Активность СЖ регулируется уровнем гормонов матери и синтезом эндогенных стероидов [5, 18, 37].

После рождения СЖ полностью сформированы и секреторируют кожное сало, особенно в коже лица, волосистой части головы, спины и аногенитальной области. Наиболее выраженная секреция наблюдается к концу первой недели жизни. К концу первого года продукция кожного сала уменьшается, и до начала периода полового созревания она минимальна. В период полового созревания СЖ достигают наибольшего развития под влиянием половых гормонов. Появляется много крупных СЖ с короткими протоками, особенно в области лица, волосистой части головы, груди и спины. Размеры их достигают максимального развития к 20–25 годам. В зрелом возрасте они функционируют во всей коже. С возрастом количество СЖ в основном остается неизменным, в то время как их размеры по мере старения сначала увеличиваются, особенно в коже, подверженной воздействию солнечного света, а затем уменьшаются. На начальных этапах старения под влиянием андрогенов, инсулина, тиреотропного гормона и гидрокортизона дифференцировка себоцитов подавляется, а пролиферация усиливается. Следовательно, наблюдаются снижение секреции и компенсаторная гиперплазия СЖ. С возрастом выработка кожного сала постепенно снижается и происходят существенные изменения в его составе [2, 18, 29, 30, 49, 51].

**5. Функции СЖ.** Основная функция СЖ – секреция и выделение кожного сала, которое обеспечивает защиту организма от воздействия факторов окружающей среды, смазывая кожу и волосы. Кожное сало – это вязкий светло-желтый секрет, состоящий из жидкости (2/3 объема) и собственно кожного сала. В его состав входят глицериды (моно-, ди- и триглицериды) (30–50%), восковые эфиры (26–30%), свободные жирные кислоты (15–30%), сквален (12–20%), холестерин (1,5–2,5%), эфиры холестерина (3–6%). Кожное сало содержит восковые эфиры и сквален, которые в организме больше нигде не вырабатываются и служат своеобразными маркерами, по концентрации которых можно судить о функциональной

активности СЖ. За сутки у взрослого человека на всем кожном покрове в среднем вырабатывается около 20 г кожного сала [1, 3, 14, 28].

На поверхности кожи секрет смешивается с потом, эпидермальными липидами, кератиноцитами. Эта смесь образует пленку с pH 4,5–6,2, называемую водно-липидной мантией кожи. Она препятствует высыханию кожи, участвует в динамической терморегуляции, предотвращает проникновение щелочных загрязняющих веществ. Липиды кожного сала участвуют в гидроизоляции, антибактериальной защите, способствуют абсорбции соединений [51].

В исследованиях последних лет показана роль СЖ в регенерации и регулировке темпов дифференцировки и десквамации кератиноцитов и нормальном функционировании волосяного фолликула. Доказана роль кожи в сложных иммунологических взаимодействиях, в реализации которых могут участвовать СЖ [16, 25, 40, 48]. Наличие у себоцитов рецепторов к эндотоксинам, а также Toll-подобных рецепторов свидетельствует об их причастности к формированию как врожденного, так и приобретенного иммунитета [37, 49].

Важная роль СЖ – секреция витамина Е – главного антиоксиданта в коже, обеспечивающего поддержание нормальной функции эпидермального барьера и способствующего предотвращению процессов старения кожи [15].

СЖ осуществляют экскрецию некоторых продуктов обмена (гормонов, ферментов), лекарственных и токсических веществ (кортикостероидов, витаминов). Кроме того, они выполняют иммунорегуляторные функции, вырабатывая пептиды и липиды с антимикробной активностью. Накоплено немало фактов, что СЖ играет роль эндокринного органа-мишени, реагирующего на половые и другие гормоны, и принимает активное участие в различных нейроэндокринных и нейромедиаторных взаимодействиях в коже. В работе, проведенной на трех клеточных популяциях, полученных из клеток кожи (себоциты, кератиноциты и клетки меланомы), показано, что себоциты способны сами синтезировать тестостерон и инактивировать его гормональные предшественники [9–11, 13, 16, 21].

**6. Регуляция деятельности СЖ.** Деятельность СЖ находится под контролирующим влиянием различных факторов. Это генетическая предрасположенность и внешние факторы окружающей среды, гормоны и негормональные факторы, нейропептиды, фармакологические средства. Изменение количественного и качественного состава кожного сала нарушает структурную и функциональную целостность кожного барьера, влияя на структуру и состав липидной пленки, повышая pH кожи, уменьшая содержание влаги.

Генетическая предрасположенность, факторы окружающей среды и образ жизни (диета, стресс) оказывают существенное влияние на активность СЖ и выработку кожного сала. Например, диеты с высоким содержанием рафинированных сахаров и молочных продуктов могут усиливать выработку кожного сала и способствовать акне [24].

СЖ содержат рецепторы к гормонам, медиаторам и витаминам, факторам роста, различным пептидам, которые способны контролировать, чаще всего влияя на процессы транскрипции и трансляции, весь жизненный цикл клетки, будь то стадия покоя, размножения или терминальной дифференцировки. Комплексы лиганд-рецептор активируют пролиферацию, дифференцировку, липогенез, метаболизм гормонов, освобождение цитокинов и хемокинов. Выделены три группы рецепторов СЖ. К первой группе относятся рецепторы к пептидным гормонам. Это рецепторы к кортикотропин-высвобождающему гормону, меланцитстимулирующему гормону, вазоактивному интестинальному пептиду,

каннабиноидам, инсулиноподобному фактору роста и гормону роста, а также к гистамину. Точная локализация этих рецепторов не указывается, но, скорее всего, они находятся на поверхности себоцитов и в их цитоплазме [11–13, 20, 22, 41, 42, 46, 49–51].

Ко второй группе относятся рецепторы, локализующиеся в ядре. Это рецепторы к андрогенам, эстрогенам, прогестерону, ретиноидам, витамину D, активаторам содержания в клетках сальной железы митохондрий, рибосом и пероксисом, X-рецептору печени и ваниллоидам [8, 19, 32, 43].

Наконец, к третьей группе отнесены рецепторы к фактору роста фибробластов, эпидермальному фактору роста, фактору роста гепатоцитов, эндотоксинам, а также Toll-подобные рецепторы [11, 47]. Наличие такого большого числа рецепторов в себоцитах указывает на то, что биологически активные вещества, которые с ними связываются, контролируют пролиферацию и терминальную дифференцировку и в конечном счете количественный и качественный состав кожного сала. Например, показано, что рецептор к эпидермальному фактору роста причастен к пролиферации и синтезу липидов клетками сальной железы [37, 49]. Разные медиаторы и сигнальные молекулы могут влиять на синтез липидов, связываясь с различными рецепторами на поверхности клеточной мембраны, цитоплазматическими и ядерными рецепторами себоцитов. В процессе дифференцировки себоцита экспрессируются и/или активируются определенные липидные гены. Эти гены могут активизироваться непосредственно или опосредованно через внутриклеточные сигнальные пути. Установлено, что подъем внутриклеточной концентрации кальция в себоцитах ведет к угнетению липидогенного действия различных медиаторов. Такой механизм возможен при различных заболеваниях СЖ, связанных с нарушением выработки кожного сала [40, 48].

Основным средством управления развитием и функцией СЖ и экскреции кожного сала у человека являются мужские половые гормоны. Наиболее важными андрогенами для них являются тестостерон, 5 $\alpha$ -дигидротестостерон и 5 $\alpha$ -андростен-3 $\beta$ -17 $\beta$ -диол. Исследования показали, что СЖ обладают клеточной способностью транскрибировать гены, необходимые для метаболизма андрогенов. Рецепторы к андрогенам присутствуют в нормальных себоцитах, причем они обнаружены в базальных и дифференцированных клетках, что указывает на участие андрогенов в регуляции клеточной пролиферации и липогенезе СЖ. В литературе имеется немало доказательств, что их развитие и функциональная активность в отношении липидогенеза являются андрогензависимыми. Установлено, что дигидротестостерон, действуя на рецепторы к андрогенам в СЖ *in vitro*, вызывает увеличение размера их клеток, а при воздействии более 7 сут. приводит к индукции дифференцировки незрелых клеток и к повышению содержания апоптотических клеток. Себоциты на цитолемме и в цитоплазме содержат фермент 5 $\alpha$ -редуктазу 1-го типа. Тестостерон, проникая в клетку, превращается с его помощью в 5 $\alpha$ -дигидротестостерон. Активность 5 $\alpha$ -редуктазы увеличивается в СЖ пропорционально ее размеру. Предполагается, что для действия на себоциты обоих гормонов необходимы дополнительные факторы, в частности рецептор, активируемый пролифератором пероксисом (PPAR), который при связи со своими лигандами регулирует многие гены липидного метаболизма [4, 5, 8, 18, 31].

**Обсуждение.** СЖ – важнейшие производные кожи, необходимые для сохранения и регуляции ее местного гомеостаза, обладающие уникальным голокриновым типом секреции. Они вырабатывают кожное сало, которое формирует

водно-липидную мантию на поверхности эпидермиса. Изменение его количественного и качественного состава нарушает структурную и функциональную целостность кожного барьера. На секреторную активность этих структур влияют различные факторы. СЖ содержат рецепторы гормонов, медиаторов и витаминов, факторов роста, различных пептидов, которые способны контролировать, чаще всего влияя на процессы транскрипции и трансляции, весь жизненный цикл клетки, будь то стадия покоя, размножения или терминальной дифференцировки.

Проведенный анализ зарубежной и отечественной литературы свидетельствует об актуальности и перспективном направлении для дальнейшего исследования кожи и ее придатков, в том числе СЖ.

**Вывод.** Обзор литературных данных подтверждает, что в настоящее время с помощью современных технологий и методов исследования отечественными и зарубежными исследователями получен обширный материал о строении, развитии и регуляции деятельности СЖ, которые участвуют в регенерации, процессах старения, выполняют сложные нейроэндокринные и иммунологические функции. Однако до сих пор многие вопросы остаются не до конца решенными. Сегодняшнее состояние проблемы диктует необходимость дальнейших исследований по изучению регуляции деятельности сальных желез, определению особенностей морфогенеза кожи и ее придатков в возрастном, половом и топографических аспектах.

#### Литература

1. Калинина О.В., Белоусова Т.А., Ноздрин В.И. Возрастные особенности сальных желез кожи волосистой части височной области головы людей мужского пола // Морфология. 2013. Т. 143, № 2. С. 69–74. DOI: 10.17816/morph.398632.
2. Мяделец О.Д., Адаскевич В.П. Морфофункциональная дерматология. М.: Медлит, 2006. 752 с.
3. Ноздрин В.И., Барашкова С.А., Семченко В.В. Кожа и её производные. Омск-Орел: ОГМА, ЗАО «Ретиноиды», 2005. 192 с.
4. Azmahani A., Nakamura Y., Felizola S.J. et al. Steroidogenic enzymes, their related transcription factors and nuclear receptors in human sebaceous glands under normal and pathological conditions. *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.*, 2014, vol. 144, pp. 268–279. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2014.07.010.
5. Barrault C., Garnier J., Pedretti N. et al. Androgens induce sebaceous differentiation in sebocyte cells expressing a stable functional androgen receptor. *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.*, 2015, vol. 152, pp. 34–44. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2015.04.005.
6. Blanpain C., Fuchs E. Stem cell plasticity. Plasticity of epithelial stem cells in tissue regeneration. *Science*, 2014, vol. 344(6189), pp. 1242281. DOI: 10.1126/science.1242281.
7. Butovich I.A. Meibomian glands, meibum, and meibogenesis. *Exp. Eye Res.*, 2017, vol. 163, pp. 2–16. DOI: 10.1016/j.exer.2017.06.020.
8. Chen W., Yang C.C., Sheu H.M. et al. Expression of peroxisome proliferator-activated receptor and CCAAT/enhancer binding protein transcription factors in cultured human sebocytes. *J. Invest. Dermatol.*, 2003, vol. 121(3), pp. 441–447. DOI: 10.1046/j.1523-1747.2003.12411.x.
9. Clayton R.W., Langan E.A., Ansell D.M. et al. Neuroendocrinology and neurobiology of sebaceous glands. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.*, 2020, vol. 95(3), pp. 592–624. DOI: 10.1111/brv.12579.
10. Cottle D.L., Kretzschmar K., Schweiger P.J. et al. c-Myc-induced sebaceous gland differentiation is controlled by an androgen receptor/p53 axis. *Cell. Rep.*, 2013, vol. 3(2), pp. 427–441. DOI: 10.1016/j.celrep.2013.01.013.
11. Dahlhoff M., Camera E., Schafer M. et al. Sebaceous lipids are essential for water repulsion, protection against UVB-induced apoptosis and ocular integrity in mice. *Development*, 2016, vol. 143(10), pp. 1823–1831. DOI: 10.1242/dev.132753.
12. Deplewski D., Rosenfield R.L. Growth hormone and insulin-like growth factors have different effects on sebaceous cell growth and differentiation. *Endocrinology*, 1999, vol. 140(9), pp. 4089–4094. DOI: 10.1210/endo.140.9.6957.
13. Dobrosi N., Toth B.I., Nagy G. et al. Endocannabinoids enhance lipid synthesis and apoptosis of human sebocytes via cannabinoid receptor-2-mediated signaling. *Faseb J.*, 2008, vol. 22(10), pp. 3685–3695. DOI: 10.1096/fj.07-104877.

14. Dozsa A., Dezso B., Toth B.I. et al. PPARgamma-mediated and arachidonic acid-dependent signaling is involved in differentiation and lipid production of human sebocytes. *J. Invest. Dermatol.*, 2014, vol. 134(4), pp. 910–920. DOI: 10.1038/jid.2013.413.
15. Ekanayake-Mudiyanselage S., Thiele J. Sebaceous glands as transporters of vitamin E. *Hautarzt*, 2006, vol. 57(4), pp. 291–296. DOI: 10.1007/s00105-005-1090-7.
16. Fritsch M., Orfanos C.E., Zouboulis C.C. Sebocytes are the key regulators of androgen homeostasis in human skin. *J. Invest. Dermatol.*, 2001, vol. 116(5), pp. 793–800. DOI: 10.1046/j.1523-1747.2001.01312.x.
17. Geueke A., Niemann C. Stem and progenitor cells in sebaceous gland development, homeostasis and pathologies. *Exp. Dermatol.*, 2021, vol. 30(4), pp. 588–597. DOI: 10.1111/exd.14303.10.1111/exd.14303.
18. Hou X., Wei Z., Zouboulis C.C. et al. Aging in the sebaceous gland. *Front. Cell. Dev. Biol.*, 2022, vol. 10, 909694. DOI: 10.3389/fcell.2022.909694.
19. Kramer C., Seltmann H., Seifert M. et al. Characterization of the vitamin D endocrine system in human sebocytes in vitro. *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.*, 2009, vol. 113(1-2), pp. 9–16. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2008.10.010.
20. Krause K., Schnitger A., Fimmel S. et al. Corticotropin-releasing hormone skin signaling is receptor-mediated and is predominant in the sebaceous glands. *Horm. Metab. Res.*, 2007, vol. 39(2), pp. 166–170. DOI: 10.1055/s-2007-961811.
21. Lovasz M., Mattii M., Eyerich K. et al. Sebum lipids influence macrophage polarization and activation. *Br. J. Dermatol.*, 2017, vol. 177(6), pp. 1671–1682. DOI: 10.1111/bjd.15754.
22. Makrantonaki E., Ganceviciene R., Zouboulis C. An update on the role of the sebaceous gland in the pathogenesis of acne. *Dermatoendocrinol.*, 2011, vol. 3(1), pp. 41–49. DOI: 10.4161/derm.3.1.13900.
23. Morris R.J., Liu Y., Marles L. et al. Capturing and profiling adult hair follicle stem cells. *Nat. Biotechnol.*, 2004, vol. 22(4), pp. 411–417. DOI: 10.1038/nbt950.
24. Okoro E.O., Camera E., Flori E., Ottaviani M. Insulin and the sebaceous gland function. *Front Physiol.*, 2023, vol. 14, 1252972. DOI: 10.3389/fphys.2023.1252972.
25. Nakatsuji T., Kao M.C., Zhang L. et al. Sebum free fatty acids enhance the innate immune defense of human sebocytes by upregulating beta-defensin-2 expression. *J. Invest. Dermatol.*, 2010, vol. 130(4), pp. 985–994. DOI: 10.1038/jid.2009.384.
26. Niemann C. Differentiation of the sebaceous gland. *Dermatoendocrinol.*, 2009, vol. 1(2), pp. 64–67. DOI: 10.4161/derm.1.2.8486.
27. Panteleyev A.A., Rosenbach T., Paus R., Christiano A.M. The bulge is the source of cellular renewal in the sebaceous gland of mouse skin. *Arch. Dermatol. Res.*, 2000; vol. 292(11), pp. 573–576. DOI: 10.1007/s004030000182.
28. Picardo M., Ottaviani M., Camera E., Mastrofrancesco A. Sebaceous gland lipids. *Dermatoendocrinol.*, 2009, vol. 1(2), pp. 68–71. DOI: 10.4161/derm.1.2.8472.
29. Plewig G., Kligman A.M. Proliferative activity of the sebaceous glands of the aged. *J. Invest. Dermatol.*, 1978, vol. 70(6), pp. 314–317. DOI: 10.1111/1523-1747.ep12543478.
30. Pochi P.E., Strauss J.S., Downing D.T. Age-related changes in sebaceous gland activity. *J. Invest. Dermatol.*, 1979, vol. 73(1), pp. 108–111. DOI: 10.1111/1523-1747.ep12532792.
31. Rosignoli C., Nicolas J.C., Jomard A. et al. Involvement of the SREBP pathway in the mode of action of androgens in sebaceous glands in vivo. *Exp. Dermatol.*, 2003, vol. 12(4), pp. 480–489. DOI: 10.1034/j.1600-0625.2003.00014.x.
32. Russell L.E., Harrison W.J., Bahta A.W. et al. Characterization of liver X receptor expression and function in human skin and the pilosebaceous unit. *Exp. Dermatol.*, 2007, vol. 16(10), pp. 844–852. DOI: 10.1111/j.1600-0625.2007.00612.x.
33. Saxena N., Mok K.W., Rendl M. An updated classification of hair follicle morphogenesis. *Exp. Dermatol.*, vol. 28 (4), pp. 332–344. DOI: 10.1111/exd.13913.
34. Schepeler T., Page M.E., Jensen K.B. Heterogeneity and plasticity of epidermal stem cells. *Development*, 2014, vol. 141(13), pp. 2559–2567. DOI: 10.1242/dev.104588.
35. Schmidt-Ullrich R., Paus R. Molecular principles of hair follicle induction and morphogenesis. *Bioessays*, 2005, vol. 27(3), pp. 247–261. DOI: 10.1002/bies.20184.
36. Sennett R., Wang Z., Rezza A. et al. An integrated transcriptome atlas of embryonic hair follicle progenitors, their niche, and the developing skin. *Dev. Cell.*, 2015, vol. 34(5), pp. 577–591. DOI: 10.1016/j.devcel.2015.06.023.
37. Shamloul G., Khachemoune A. An updated review of the sebaceous gland and its role in health and diseases Part 1: Embryology, evolution, structure, and function of sebaceous glands. *Dermatol. Therapy*, 2021, vol. 34(1), e14695. DOI: 10.1111/dth.14695.
38. Stoffel W., Schmidt-Soltau I., Jenke B. et al. Hair growth cycle is arrested in SCD1 deficiency by impaired Wnt3a-Palmitoleoylation and retrieved by the artificial lipid barrier. *J. Invest. Dermatol.*, 2017, vol. 137(7), pp. 1424–1433. DOI: 10.1016/j.jid.2017.02.973.
39. Taylor G., Lehrer M.S., Jensen P.J. et al. Involvement of follicular stem cells in forming not only the follicle but also the epidermis. *Cell.*, 2000, vol. 102(4), pp. 451–461. DOI: 10.1016/s0092-8674(00)00050-7.

40. Tóth B.I., Oláh A., Szöllösi A.G. et al. «Sebocytes' makeup» – Novel mechanisms and concepts in the physiology of the human sebaceous glands. *Pflugers. Arch.*, 2011, vol. 461(6), pp. 593–606. DOI: 10.1007/s00424-011-0941-6.
41. Toyoda M., Nakamura M., Makino T. et al. Sebaceous glands in acne patients express high levels of neutral endopeptidase. *Exp. Dermatol.*, 2002, vol. 1190(3), pp. 241–247. DOI: 10.1034/j.1600-0625.2002.110307.x.
42. Toyoda M., Nakamura M., Morohashi M. Neuropeptides and sebaceous glands. *Eur. J. Dermatol.*, 2002, vol. 12(2), pp. 422–427.
43. Tsukada M., Schroder M., Roos T.C. et al. 13-cis retinoic acid exerts its specific activity on human sebocytes through selective intracellular isomerization to all-trans retinoic acid and binding to retinoid acid receptors. *J. Invest. Dermatol.*, 2000, vol. 115(2), pp. 321–327. DOI: 10.1046/j.1523-1747.2000.00066.x.
44. Tumber T., Guasch G., Greco V. Defining the epithelial stem cell niche in skin. *Science*, 2004, vol. 303(5656), pp. 359–363. DOI: 10.1126/science.1092436.
45. Wang X., His T.C., Guerrero-Juarez C.F. et al. Principles and mechanisms of regeneration in the mouse model for wound-induced hair follicle neogenesis. *Regeneration (Oxf)*, 2015, vol. 2(4), pp. 169–181. DOI: 10.1002/reg2.38.
46. Zhang L., Li W.H., Anthonavage M. et al. Melanocortin-5 receptor: a marker of human sebocyte differentiation. *Peptides*, 2006, vol. 27(2), pp. 413–420. DOI: 10.1016/j.peptides.2005.05.030.
47. Zouboulis C.C. Sebaceous gland receptors. *Dermatoendocrinol.*, 2009, vol. 1(2), pp. 77–80. DOI: 10.4161/derm.1.2.7804.
48. Zouboulis C. C., Adjaye J., Akamatsu H. et al. Human skin stem cells and the ageing process. *Exp. Gerontol.*, 2008, vol. 43(11), pp. 986–997. DOI: 10.1016/j.exger.2008.09.001.
49. Zouboulis C.C., Coenye T., He L. et al. Sebaceous immunobiology – skin homeostasis, pathophysiology, coordination of innate immunity and inflammatory response and disease associations. *Front. Immunol.*, 2022, vol. 13, 1029818. DOI: 10.3389/fimmu.2022.1029818.
50. Zouboulis C.C., Seltsmann H., Hiroi N. et al. Corticotropin-releasing hormone: an autocrine hormone that promotes lipogenesis in human sebocytes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A*, 2002, vol. 99(10), pp. 7148–7153. DOI: 10.1073/pnas.102180999.
51. Zouboulis C.C., Picardo M., Ju Q. et al. Beyond acne: Current aspects of sebaceous gland biology and function. *Rev. Endocr. Metab. Disord.*, 2016, vol. 17(3), pp. 319–334. DOI: 10.1007/s11154-016-9389-5.

---

КАЛИНИНА ОЛЕСЯ ВЛАДИМИРОВНА – кандидат медицинских наук, доцент кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии, Смоленский государственный медицинский университет, Россия, Смоленск (olesya.kalinina577@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1051-4385>; SPIN: 7783-5990).

СТЕПАНОВА ИРИНА ПЕТРОВНА – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой гистологии, цитологии и эмбриологии, Смоленский государственный медицинский университет, Россия, Смоленск (stepanova100@yandex.ru; SPIN: 6753-0555).

---

Olesya V. KALININA, Irina P. STEPANOVA

**DEVELOPMENT, STRUCTURE AND REGULATION  
OF SEBACEOUS GLANDS AT PRESENT STAGE  
(literature review)**

**Key words:** skin, sebaceous glands, sebocytes, ontogenesis, androgens.

*This article provides a literature review on the development and regulation of sebaceous glands, which have been actively studied in recent decades. Research is carried out on biological material, laboratory animals, cell and tissue cultures. Recent advances in diagnostic techniques, the use of immunocytochemical research methods and immunofluorescence markers have expanded the opportunities for studying the skin.*

**The purpose of the review** is to systematize information about human sebaceous glands according to domestic and foreign sources using modern research methods. This article provides information on the development, structure and regulation of human sebaceous glands, which are among the most important skin derivatives and have a unique holocrine type of secretion. They secrete sebum, which forms a water-lipid mantle on the surface of the epidermis. The development of sebaceous glands begins on the 13<sup>th</sup>–16<sup>th</sup> week of embryogenesis and occurs in parallel with the development of hair follicles and epidermis. Their activities

are controlled by various factors. These are genetic predisposition and environmental factors, hormones and non-hormonal factors, neuropeptides, and pharmacological agents that affect sebum production.

The analysis of literary sources was carried out in PubMed and eLibrary.RU databases, CyberLeninka, which are large aggregators of scientific publications around the world. At the request "sebaceous gland", 10,967 publications were received. For a deeper study, 51 publications from various domestic and foreign scientific publications were selected. Scientific reviews and original studies have been reviewed, which present the results of studying sebaceous glands. Currently, there is a growing interest in studying various skin structures, especially sebaceous glands, which are involved in regeneration, aging processes, neurotransmitter interactions, transformations of hormones and neuropeptides and perform complex neuroendocrine and immunological functions.

## References

1. Kalinina O.V., Belousova T.A., Nozdrin V.I. *Vozrastnye osobennosti sal'nykh zhelez kozhi volosistoi chasti visochnoi oblasti golovy lyudei muzhskogo pola* [Age-related features of the sebaceous glands of the scalp of the temporal region of the head in males]. *Morfologiya*, 2013, no. 143(2), pp. 69–74. DOI:10.17816/morph.398632.
2. Myadelets O.D., Adaskevich V.P. *Morfofunktsional'naya dermatologiya* [Morphofunctional dermatology]. Moscow, Medlit Publ., 2006, 752 p.
3. Nozdrin V.I., Barashkova S.A., Semchenko V.V. *Kozha i ee proizvodnye* [Skin and its derivatives]. Omsk-Orel, 2005, 192 p.
4. Azmahani A., Nakamura Y., Felizola S.J. et al. Steroidogenic enzymes, their re-lated transcription factors and nuclear receptors in human sebaceous glands under normal and pathological conditions. *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.*, 2014, vol. 144, pp. 268–279. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2014.07.010.
5. Barrault C., Garnier J., Pedretti N. et al. Androgens induce sebaceous differentiation in sebocyte cells expressing a stable functional androgen receptor. *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.*, 2015, vol. 152, pp. 34–44. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2015.04.005.
6. Blanpain C., Fuchs E. Stem cell plasticity. Plasticity of epithelial stem cells in tissue regeneration. *Science*, 2014, vol. 344(6189), pp. 1242281. DOI: 10.1126/science.1242281.
7. Butovich I.A. Meibomian glands, meibum, and meibogenesis. *Exp. Eye Res.*, 2017, vol. 163, pp. 2–16. DOI: 10.1016/j.exer.2017.06.020.
8. Chen W., Yang C.C., Sheu H.M. et al. Expression of peroxisome proliferator-activated receptor and CCAAT/enhancer binding protein transcription factors in cultured human sebocytes. *J. Invest. Dermatol.*, 2003, vol. 121(3), pp. 441–447. DOI: 10.1046/j.1523-1747.2003.12411.x.
9. Clayton R.W., Langan E.A., Ansell D.M. et al. Neuroendocrinology and neurobiology of sebaceous glands. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.*, 2020, vol. 95(3), pp. 592–624. DOI: 10.1111/brv.12579.
10. Cottle D.L., Kretzschmar K., Schweiger P.J. et al. c-Myc-induced sebaceous gland differentiation is controlled by an androgen receptor/p53 axis. *Cell. Rep.*, 2013, vol. 3(2), pp. 427–441. DOI: 10.1016/j.celrep.2013.01.013.
11. Dahlhoff M., Camera E., Schafer M. et al. Sebaceous lipids are essential for water repulsion, protection against UVB-induced apoptosis and ocular integrity in mice. *Development*, 2016, vol. 143(10), pp. 1823–1831. DOI: 10.1242/dev.132753.
12. Deplewski D., Rosenfield R.L. Growth hormone and insulin-like growth factors have different effects on sebaceous cell growth and differentiation. *Endocrinology*, 1999, vol. 140(9), pp. 4089–4094. DOI: 10.1210/endo.140.9.6957.
13. Dobrosi N., Toth B.I., Nagy G. et al. Endocannabinoids enhance lipid synthesis and apoptosis of human sebocytes via cannabinoid receptor-2-mediated signaling. *Faseb J.*, 2008, vol. 22(10), pp. 3685–3695. DOI: 10.1096/fj.07-104877.
14. Dozsa A., Dezso B., Toth B.I. et al. PPARgamma-mediated and arachidonic acid-dependent signaling is involved in differentiation and lipid production of human sebocytes. *J. Invest. Dermatol.*, 2014, vol. 134(4), pp. 910–920. DOI: 10.1038/jid.2013.413.
15. Ekanayake-Mudiyanselage S., Thiele J. Sebaceous glands as transporters of vitamin E. *Hautarzt*, 2006, vol. 57(4), pp. 291–296. DOI: 10.1007/s00105-005-1090-7.
16. Fritsch M., Orfanos C.E., Zouboulis C.C. Sebocytes are the key regulators of androgen homeostasis in human skin. *J. Invest. Dermatol.*, 2001, vol. 116(5), pp. 793–800. DOI: 10.1046/j.1523-1747.2001.01312.x.
17. Geueke A., Niemann C. Stem and progenitor cells in sebaceous gland development, homeostasis and pathologies. *Exp. Dermatol.*, 2021, vol. 30(4), pp. 588–597. DOI: 10.1111/exd.14303.10.1111/exd.14303.
18. Hou X., Wei Z., Zouboulis C.C. et al. Aging in the sebaceous gland. *Front. Cell. Dev. Biol.*, 2022, vol. 10, 909694. DOI: 10.3389/fcell.2022.909694.
19. Kramer C., Seltmann H., Seifert M. et al. Characterization of the vitamin D endocrine system in human sebocytes in vitro. *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.*, 2009, vol. 113(1-2), pp. 9–16. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2008.10.010.

20. Krause K., Schnitger A., Fimmel S. et al. Corticotropin-releasing hormone skin signaling is receptor-mediated and is predominant in the sebaceous glands. *Horm. Metab. Res.*, 2007, vol. 39(2), pp. 166–170. DOI: 10.1055/s-2007-961811.
21. Lovaszi M., Mattii M., Eyerich K. et al. Sebum lipids influence macrophage polarization and activation. *Br. J. Dermatol.*, 2017, vol. 177(6), pp. 1671–1682. DOI: 10.1111/bjd.15754.
22. Makrantonaki E., Ganceviciene R., Zouboulis C. An update on the role of the sebaceous gland in the pathogenesis of acne. *Dermatoendocrinol.*, 2011, vol. 3(1), pp. 41–49. DOI: 10.4161/derm.3.1.13900.
23. Morris R.J., Liu Y., Marles L. et al. Capturing and profiling adult hair follicle stem cells. *Nat. Biotechnol.*, 2004, vol. 22(4), pp. 411–417. DOI: 10.1038/nbt950.
24. Okoro E.O., Camera E., Flori E., Ottaviani M. Insulin and the sebaceous gland function. *Front Physiol.*, 2023, vol. 14, 1252972. DOI: 10.3389/fphys.2023.12529.
25. Nakatsuji T., Kao M.C., Zhang L. et al. Sebum free fatty acids enhance the innate immune defense of human sebocytes by upregulating beta-defensin-2 expression. *J. Invest. Dermatol.*, 2010, vol. 130(4), pp. 985–994. DOI: 10.1038/jid.2009.384.
26. Niemann C. Differentiation of the sebaceous gland. *Dermatoendocrinol.*, 2009, vol. 1(2), pp. 64–67. DOI: 10.4161/derm.1.2.8486.
27. Panteleyev A.A., Rosenbach T., Paus R., Christiano A.M. The bulge is the source of cellular renewal in the sebaceous gland of mouse skin. *Arch. Dermatol. Res.*, 2000; vol. 292(11), pp. 573–576. DOI: 10.1007/s004030000182.
28. Picardo M., Ottaviani M., Camera E., Mastrofrancesco A. Sebaceous gland lipids. *Dermatoendocrinol.*, 2009, vol. 1(2), pp. 68–71. DOI: 10.4161/derm.1.2.8472.
29. Plewig G., Kligman A.M. Proliferative activity of the sebaceous glands of the aged. *J. Invest. Dermatol.*, 1978, vol. 70(6), pp. 314–317. DOI: 10.1111/1523-1747.ep12543478.
30. Pochi P.E., Strauss J.S., Downing D.T. Age-related changes in sebaceous gland activity. *J. Invest. Dermatol.*, 1979, vol. 73(1), pp. 108–111. DOI: 10.1111/1523-1747.ep12532792.
31. Rosignoli C., Nicolas J.C., Jomard A. et al. Involvement of the SREBP pathway in the mode of action of androgens in sebaceous glands in vivo. *Exp. Dermatol.*, 2003, vol. 12(4), pp. 480–489. DOI: 10.1034/j.1600-0625.2003.00014.x.
32. Russell L.E., Harrison W.J., Bahta A.W. et al. Characterization of liver X receptor expression and function in human skin and the pilosebaceous unit. *Exp. Dermatol.*, 2007, vol. 16(10), pp. 844–852. DOI: 10.1111/j.1600-0625.2007.00612.x.
33. Saxena N., Mok K.W., Rendl M. An updated classification of hair follicle morphogenesis. *Exp. Dermatol.*, vol. 28 (4), pp. 332–344. DOI: 10.1111/exd.13913.
34. Schepeler T., Page M.E., Jensen K.B. Heterogeneity and plasticity of epidermal stem cells. *Development*, 2014, vol. 141(13), pp. 2559–2567. DOI: 10.1242/dev.104588.
35. Schmidt-Ullrich R., Paus R. Molecular principles of hair follicle induction and morphogenesis. *Bioessays*, 2005, vol. 27(3), pp. 247–261. DOI: 10.1002/bies.20184.
36. Sennett R., Wang Z., Rezza A. et al. An integrated transcriptome atlas of embryonic hair follicle progenitors, their niche, and the developing skin. *Dev. Cell.*, 2015, vol. 34(5), pp. 577–591. DOI: 10.1016/j.devcel.2015.06.023.
37. Shamloul G., Khachemoune A. An updated review of the sebaceous gland and its role in health and diseases Part 1: Embryology, evolution, structure, and function of sebaceous glands. *Dermatol. Therapy*, 2021, vol. 34(1), e14695. DOI: 10.1111/dth.14695.
38. Stoffel W., Schmidt-Soltau I., Jenke B. et al. Hair growth cycle is arrested in SCD1 deficiency by impaired Wnt3a-Palmitoleoylation and retrieved by the artificial lipid barrier. *J. Invest. Dermatol.*, 2017, vol. 137(7), pp. 1424–1433. DOI: 10.1016/j.jid.2017.02.973.
39. Taylor G., Lehrer M.S., Jensen P.J. et al. Involvement of follicular stem cells in forming not only the follicle but also the epidermis. *Cell.*, 2000, vol. 102(4), pp. 451–461. DOI: 10.1016/s0092-8674(00)00050-7.
40. Tóth B.I., Oláh A., Szöllösi A.G. et al. «Sebocytes' makeup» – Novel mechanisms and concepts in the physiology of the human sebaceous glands. *Pflügers. Arch.*, 2011, vol. 461(6), pp. 593–606. DOI: 10.1007/s00424-011-0941-6.
41. Toyoda M., Nakamura M., Makino T. et al. Sebaceous glands in acne patients express high levels of neutral endopeptidase. *Exp. Dermatol.*, 2002, vol. 1190(3), pp. 241–247. DOI: 10.1034/j.1600-0625.2002.110307.x.
42. Toyoda M., Nakamura M., Morohashi M. Neuropeptides and sebaceous glands. *Eur. J. Dermatol.*, 2002, vol. 12(2), pp. 422–427.
43. Tsukada M., Schroder M., Roos T.C. et al. 13-cis retinoic acid exerts its specific activity on human sebocytes through selective intracellular isomerization to all-trans retinoic acid and binding to retinoid acid receptors. *J. Invest. Dermatol.*, 2000, vol. 115(2), pp. 321–327. DOI: 10.1046/j.1523-1747.2000.00066.x.
44. Tumber T., Guasch G., Greco V. Defining the epithelial stem cell niche in skin. *Science*, 2004, vol. 303(5656), pp. 359–363. DOI: 10.1126/science.1092436.

45. Wang X., His T.C., Guerrero-Juarez C.F. et al. Principles and mechanisms of regeneration in the mouse model for wound-induced hair follicle neogenesis. *Regeneration (Oxf)*, 2015, vol. 2(4), pp. 169–181. DOI: 10.1002/reg2.38.
46. Zhang L., Li W.H., Anthonavage M. et al. Melanocortin-5 receptor: a marker of human sebocyte differentiation. *Peptides*, 2006, vol. 27(2), pp. 413–420. DOI: 10.1016/j.peptides.2005.05.030.
47. Zouboulis C.C. Sebaceous gland receptors. *Dermatoendocrinol.*, 2009, vol. 1(2), pp. 77–80. DOI: 10.4161/derm.1.2.7804.
48. Zouboulis C. C., Adjaye J., Akamatsu H. et al. Human skin stem cells and the ageing process. *Exp. Gerontol.*, 2008, vol. 43(11), pp. 986–997. DOI: 10.1016/j.exger.2008.09.001.
49. Zouboulis C.C., Coenye T., He L. et al. Sebaceous immunobiology – skin homeostasis, pathophysiology, coordination of innate immunity and inflammatory response and disease associations. *Front. Immunol.*, 2022, vol. 13, 1029818. DOI: 10.3389/fimmu.2022.1029818.
50. Zouboulis C.C., Seltmann H., Hiroi N. et al. Corticotropin-releasing hormone: an autocrine hormone that promotes lipogenesis in human sebocytes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A*, 2002, vol. 99(10), pp. 7148–7153. DOI: 10.1073/pnas.102180999.
51. Zouboulis C.C., Picardo M., Ju Q. et al. Beyond acne: Current aspects of sebaceous gland biology and function. *Rev. Endocr. Metab. Disord.*, 2016, vol. 17(3), pp. 319–334. DOI: 10.1007/s11154-016-9389-5.

---

**OLESYA V. KALININA – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Histology, Cytology, Embryology, Smolensk State Medical University, Russia, Smolensk (olesya.kalinina577@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1051-4385>; SPIN: 7783-5990).**

**IRINA P. STEPANOVA – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Histology, Cytology, Embryology, Smolensk State Medical University, Russia, Smolensk (stepanova100@yandex.ru; SPIN 6753-0555).**

---

**Формат цитирования:** Калинина О.В., Степанова И.П. Развитие, строение и регуляция деятельности сальных желез на современном этапе (обзор литературы) // *Acta medica Eurasica*. 2025. № 1. С. 80–91. URL: <http://acta-medica-eurasica.ru/single/2025/1/>. DOI: 10.47026/2413-4864-2025-1-80-91.