

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора	4
Список сокращений и условных обозначений	6

ОБЩАЯ ТРИХОЛОГИЯ

Глава 1. Физиология роста волос	11
Глава 2. Расовые особенности волос	31
Глава 3. Исследование волос	35
Глава 4. Воздействие ультрафиолетового излучения на волосы и кожу головы	46
Глава 5. Патологии стержня волоса	53
Глава 6. Цвет волос и окрашивание	70
Глава 7. Трихоскопия при болезнях волос и кожи головы	78

ЧАСТНАЯ ТРИХОЛОГИЯ

Глава 8. Андрогенетическая алопеция	101
Глава 9. Гирсутизм	129
Глава 10. Гипертрихозы	145
Глава 11. Перхоть и себорейный дерматит	152
Глава 12. Гнездная алопеция	175
Глава 13. Диффузное телогеновое выпадение волос	198
Глава 14. Рубцовые алопеции	213
Глава 15. Обследование пациента с алопецией	250
Заключение	255

Глава 1

Физиология роста волос

Фолликулярный морфогенез. Зачатки волосяных фолликулов начинают развиваться после 8 нед внутриутробной жизни. Они происходят из эктодермы, из которой образуются также эпидермис, потовые и сальные железы (СЖ). Специализированные мезенхимальные клетки организуются в маленькие сгущения-конденсаты непосредственно под базальной мембраной, стимулируя вышележащие эпителиальные стволовые клетки для инвагинации и пенетрации вглубь дермы, формируя эпидермальный ориентир. Эпидермальный ориентир продолжает рост нисходящего приложения кожного конденсата, формирующего дермальный волосяной сосочек (ДВС). Вершина эпидермального ориентира становится матричной частью волосяной луковицы. Клетки фолликулярной матрицы терминально дифференцируются во внутренние оболочки корня и стержень волоса, который выходит на поверхность кожи [1].

Первые волосы формируются у плода к 22-й неделе сначала в области скальпа. Появляются тонкие зародышевые волосы (лануго), которые распространяются волной от лобной до затылочной области скальпа; на 36-й неделе они выпадают. Лануго появляются повторно и затем выпадают на 3–4-м месяце постнатального развития. Потеря волос на затылке, наблюдаемая у младенцев, обычно физиологическая и наступает вследствие синхронной потери телогеновых волос лануго; облысение в этой зоне сохраняется до замены этих волос нормальными (рис. 1.1).

После потери волос лануго в области скальпа появляются волосы двух типов: терминальные (постоянные) и пушковые (vellusные). Терминальные волосы — диаметром $>0,03$ мм и в длину >1 см; обычно они пигментированы и содержат сердцевину — мозговое вещество, или медуллу. Терминальные волосы в зависимости от диаметра волосяного стержня классифицируются как маленькие (0,031–0,06 мм), средние (0,061–0,09 мм) и большие ($>0,091$ мм). Терминальные волосы, миниатюризированные до размера vellusных, описывают как пушковые волосы; их можно наблюдать при гнездной алопеции (ГА) или андрогенетической потере волос. Терминальные волосы укореняются в подкожной ткани или глубоко в дерме, в то время как пушковые — в верхних слоях кожи. В норме на один пушковый волос приходится семь тер-



Рис. 1.1. Потеря волос на затылке у ребенка 3 мес

минальных. Волосы можно считать здоровыми, если пушковых волос на голове не более 14%.

Пушковые волосы — маленькие, диаметром $<0,03$ мм и в длину, как правило, <1 см; они не содержат меланина и мозгового вещества [2]. Истинные пушковые волосы имеют тонкую внешнюю оболочку и несколько выступают над поверхностью дермы. Веллусоподобные волосы — с более толстой оболочкой корня, более длинные, простираются глубже в дерму или подкожно-жировую клетчатку. У пушковых волос фолликулярные стелы расположены в верхних слоях дермы, терминальные (катагеновые или телогеновые) либо миниатюризированные веллусоподобные волосы находятся в более низких ее слоях [3].

При рождении количество волосяных фолликулов (ВФ) на голове максимальное из возможного в течение жизни человека; то есть плотность ВФ самая высокая у новорожденных; в период детства и юности она прогрессирующе уменьшается из-за увеличения размеров черепа. Средняя плотность ВФ на голове у новорожденного составляет 1135 на 1 см^2 , к 30 годам около 615 см^2 , к 45–70 годам — 320 [4]. При этом плотность видимых волос в области скальпа у человека в возрасте 16–40 лет может варьировать от 190 до 450 на 1 см^2 . В норме на волосистой части головы имеется приблизительно 100–150 тыс. волос, на туловище — около 5 млн [5].

Появляясь в период внутриутробной жизни плода сначала на голове, зачатки волос на 4–5-м месяце развития медленно распространяются по каждому покрову на спине и животе. Число ВФ в коже генетически запрограммировано. В течение жизни новые ВФ не образуются. Человек при рождении полностью покрыт зародышевыми волосами лануго. После рождения и в

течение первого года жизни волосы на голове растут синхронно. Полагают, что волнообразная закладка волос способствует тому, что волосы в зоне затылка впоследствии становятся нечувствительными к действию андрогенов. В течение пренатального периода циклы развития ВФ синхронные, но в постнатальный период они заменяются асинхронным типом цикличности, который имеет мозаичный характер, и все ВФ развиваются независимо друг от друга.

Новые волосы растут во время каждого нового цикла ВФ, последовательно вступая в период роста, регрессии и покоя (соответственно анаген, катаген и телоген). От 90 до 95% волос на голове находится в стадии анагена. Изменения в длине волос пропорциональны продолжительности анагена и зависят от локализации волос на теле. Анагеновая фаза волос, растущих в области скальпа, длится от 1 до 7 лет. Средняя скорость роста — 1 см в месяц; при этом длина волос на голове может достигать 12–84 см. Волосы в области бровей находятся в анагене 8–12 нед, на ногах — 19–26 нед, на руках — 6–12 нед, над верхней губой — 4–14 нед и бывают довольно короткими [6].

Таким образом, у волос, растущих на голове, продолжительность цикла максимальная. Длительный анаген сменяется коротким (до 10–14 дней) катагеном и переходит в телоген, который может продолжаться от 2 до 4 мес, до развития новых анагеновых волос.

Структура волосяного фолликула. Морфологически ВФ состоит из двух частей: укрепленного в коже корня волоса и свободного наружного стержня.

Корень волоса залегает в коже между эпидермисом и дермой. У основания он утолщается, образуя луковицу; в нижней части луковицы имеется вдавление, в котором находится кожный сосочек. В верхней части луковицы есть небольшое утолщение — так называемая зона *bulge* (лат. выпуклость), к которой крепится мышца, поднимающая волос (*musculus arrector pili*); выше расположен перешеек, куда впадает выводной проток СЖ. Следует уточнить, что мышца, поднимающая волос, отсутствует у ресниц [31]. Длина ресниц может быть показателем здоровья. F. Razhoohi и соавт. (2020) установили, что привлекательность длины ресниц согласуется с их эволюционной функциональностью в отношении оптимальной длины для защиты глаз. Длина ресниц соответствует перевернутой U-образной функции, причем самые высокие значения достигаются примерно на уровне одной трети ширины глаза. Интересно, что существует разница между лицами мужского и женского пола, что говорит о том, что хотя в целом ресницы с оптимальным соотношением считаются более привлекательными, это предпочтение не является исключительно биологически адаптивным явлением и подвержено влиянию культурных норм [32].

Схематичное изображение ВФ представлено на рис. 1.2.

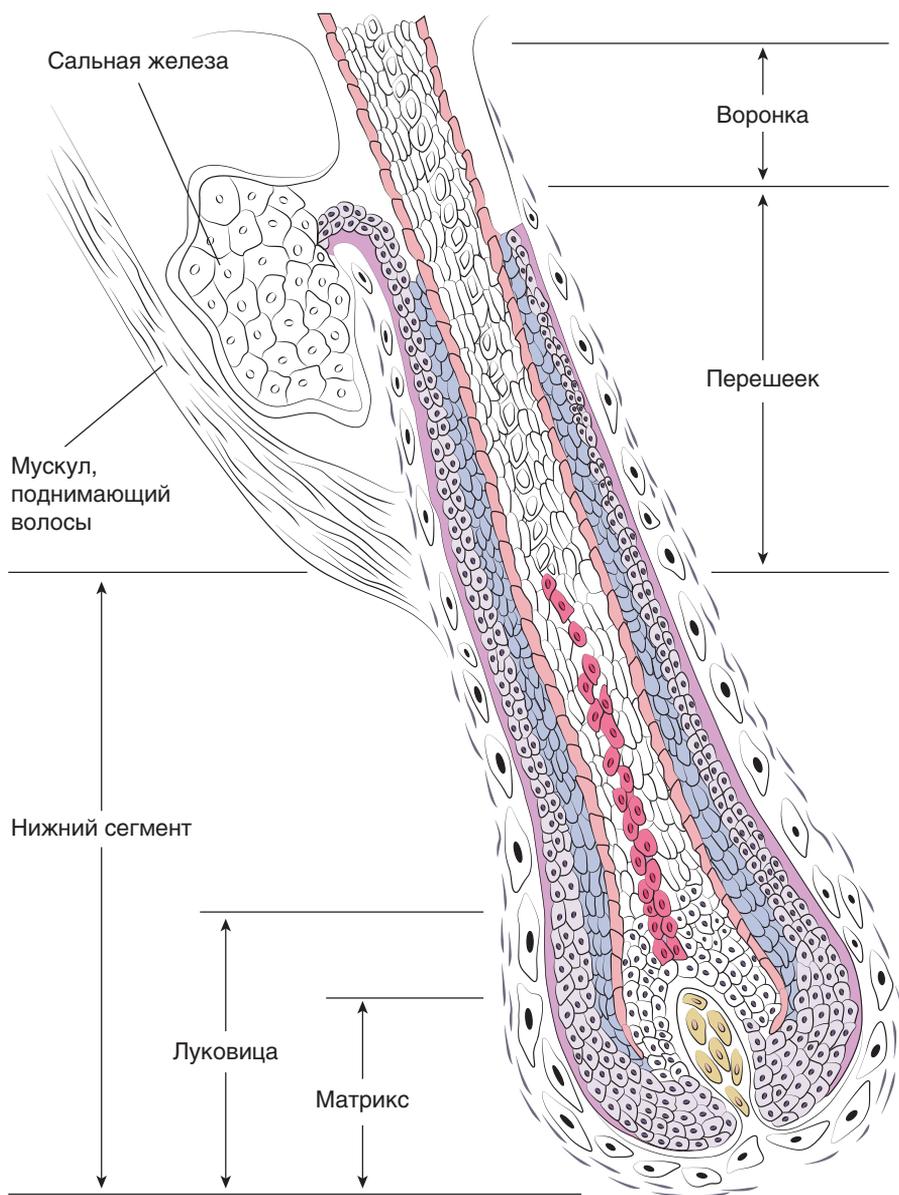


Рис. 1.2. Структура фолликула

НОРМАЛЬНЫЙ ЦИКЛ РОСТА ВОЛОС

Циклическое функционирование волосяного фолликула носит регулярный характер и отражает изменение активности синтеза волосяного волокна. В связи с этим каждая фаза роста ВФ имеет свои морфофункциональные особенности (рис. 1.3). Хотя морфогенетическое формирование ВФ как ор-

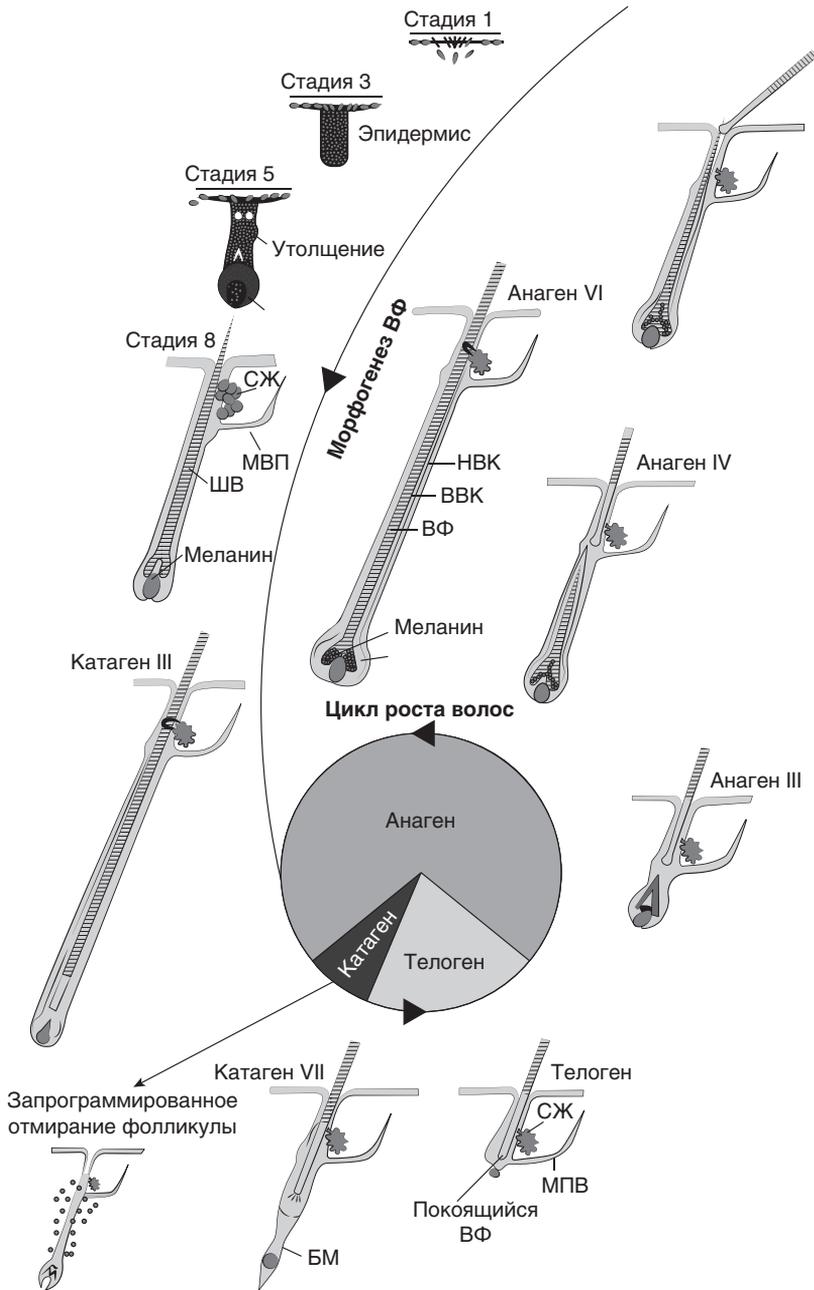


Рис. 1.3. Цикл роста волоса. Арабскими цифрами обозначены фазы морфогенеза, круг в центре отображает повторяющийся после морфогенеза цикл волосяного фолликулы (по [31, 32]). ДВС — дермальный волосяной сосочек; БМ — базальная мембрана; ВВК — внутреннее влагалище корня; МПВ — мышца, поднимающая волос; НВК — наружное влагалище корня; СЖ — сальная железа; ШВ — шахта волос; ВФ — волосяной фолликул

гана происходит 1 раз в жизни, цикл его развития повторяется многократно. Морфогенез и цикличность — разные явления, имеющие различные морфологические и молекулярные особенности.

Наиболее выраженные морфофункциональные изменения происходят в **фазу анагена**, когда наблюдается комплексное восстановление или регенерация нижнего сегмента ВФ, его циклирующей (циклически регенерирующей) части (см. рис. 1.3).

Формирование анагеновых волос начинается с активации группы эпителиальных клеток в наружном влагалище корня (НВК) кератиноцитами телогенового ВФ, названных вторичным зародышевым волосом — телогеновой зародышевой единицей (телогеновый герминальный юнит), которая дает начало матричным клеткам. Обмен сигнальными молекулами заставляет вторичный зародыш наряду с кожным волосяным сосочком мигрировать вниз в кожу. ДВС сигнализирует матричным клеткам об активации пролиферации и росте вверх, дифференцируя их во внутреннее влагалище корня (ВВК) и стержень волоса. Объем ДВС определяет размер волосяного стержня. Терминальный анагеновый ВФ проникает глубоко в кожу, простираясь до подкожной жировой клетчатки.

В фазу анагена рост волоса идет непрерывно. Растущие в ВФ клетки постепенно теряют ядра и кератинизируются. Давление, создающееся внутри внешней соединительнотканной оболочки ВФ вследствие непрерывного митотического деления клеток, заставляет волосы расти вверх со скоростью 0,3–0,4 мм/сут [7, 8]. Полная кератинизация, включающая в себя деление клеток, синтез белка и катаболическое разложение нуклеиновых кислот, клеточных органелл и т.д., происходит на расстоянии не более 1 мм от зародышевой зоны корня [9]. В окончательное состояние новообразованного волосяного волокна клетка коркового вещества волоса приходят за 2,5 дня, пройдя этап высокоактивного синтеза белка и частичного обезвоживания. Соответствующий переход в свое окончательное состояние в роговом слое клетка эпидермиса совершает примерно за 6–10 дней. Вследствие такого высокого темпа дифференцировки клетки волос оказывается чувствительным к различным метаболическим воздействиям [10]. В течение 1 мес волос вырастает на 1,5–2 см.

Следующая за анагеном промежуточная **фаза катагена** краткосрочна и занимает 10–14 дней.

Катаген начинается в нижней части ВФ, вовлекая в процесс регрессии посредством апоптоза нижележащую циклирующую часть ВФ — так называемый нижний сегмент (см. рис. 1.3). ДВС подтягивается кверху, а оставшееся внизу разрушенное перифолликулярное превращается в ангиофибротический тракт, связывающий фолликул с местом прежней анагеновой луковицы. Стержень волоса и ВВК вместе скользят вверх внутри НВК, оставляя внизу вытянутую массу трихолеммальной оболочки наружного влагалища корня. Апоптоз трихолеммальных клеток обуславливает выраженное сжатие наружной оболочки корня.

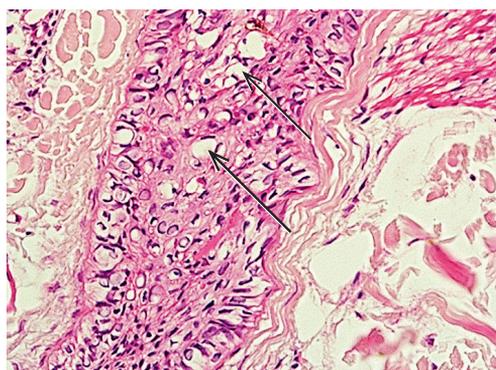


Рис. 1.4. Апоптотные тельца в ткани волосяного фолликула

Сжатие трихолеммы сопровождается утолщением и сморщиванием окружающего гиалинового слоя. Поскольку волосяной стержень отступает в дальнейшем все выше, его основание превращается в клубок, окруженный скоплением трихолеммального кератина с расположенным ниже ДВС [2].

Неспособность ДВС в фазу катагена достичь зоны *bulge* ВФ ведет к прекращению фолликулярной цикличности. Это отмечено у пациентов с врожденной папулезной атрихией. У таких больных происходит мутация в гене облысения или в гене рецептора витамина D, вызывающая постоянное разобщение волосяного сосочка с зоной *bulge*, что ведет к потере волос [11].

Катагенный волос обычно содержит апоптотные клетки (рис. 1.4).

После катагена волосы вступают в **фазу телогена**, когда ВФ созревает внутри волосяного клубочка. ВФ втягивается до зоны *bulge* — области прикрепления мышцы, поднимающей волос (*musculus arrector pili*) внутри фолликула. Здесь «отдыхающие» волосы заключены в терминальные зародышевые единицы, расположенные внутри телогенового клубочка. Телогеновые зародышевые единицы составляют трихолемму, которая, извиваясь, как чашеобразная структура, окружает базалиоидные клетки. Телогеновая зародышевая единица отличается характерными проявлениями и не имеет явных признаков апоптоза [12]. Телогеновый клубочек представлен центральной массой трихилеммального кератина, звездообразного при исследовании образцов ткани при послойном горизонтальном срезе биопсийного материала, окружен трихилеммальным и фиброзным влагалищем, соединяющим телогеновую зародышевую единицу и волосяной стержень.

Морфологически установить терминальную стадию ВФ (анаген, катаген и телоген) можно только при исследовании более низкой части фолликула, ниже уровня *bulge* при соответствующем выявлении ВВК, апоптоза или трихолеммального клубочка.

В верхнем ВФ можно увидеть только кератинизированный волосяной стержень, без внутренних оболочек корня, то есть выявить на этом уровне различия между анагеном, катагеном и телогеном невозможно.

После 2–4 мес телогена зародышевые телогенные клетки окутывают ДВС и растут вдоль фолликулярного тракта вниз, формируя анагеновый волос [3]. Последующая цикличность развития волоса продолжается на протяжении жизни человека, пока позволяет жизнеспособность ВФ.

Первичная функция каждого ВФ – производство стержня волоса. При этом волосы варьируют по толщине, цвету, форме, завитку. Определенная часть ВФ непрерывно и независимо подвергается росту, регрессу и отдыху. Этот процесс обеспечивается гармоничным сочетанием сигнальных молекулярных взаимодействий. Нарушение тонких процессов сигнальной регуляции может привести к потере волос.

МОРФОЛОГИЯ ВОЛОСА

Детальное изучение ВФ посредством световой микроскопии продемонстрировало его дискретную целостность. Выделяют три отдела ВФ:

- 1) корневая часть с влагалищными оболочками (наружной и внутренней) и луковицей;
- 2) срединная зона;
- 3) собственно стержень волоса (рис. 1.5).

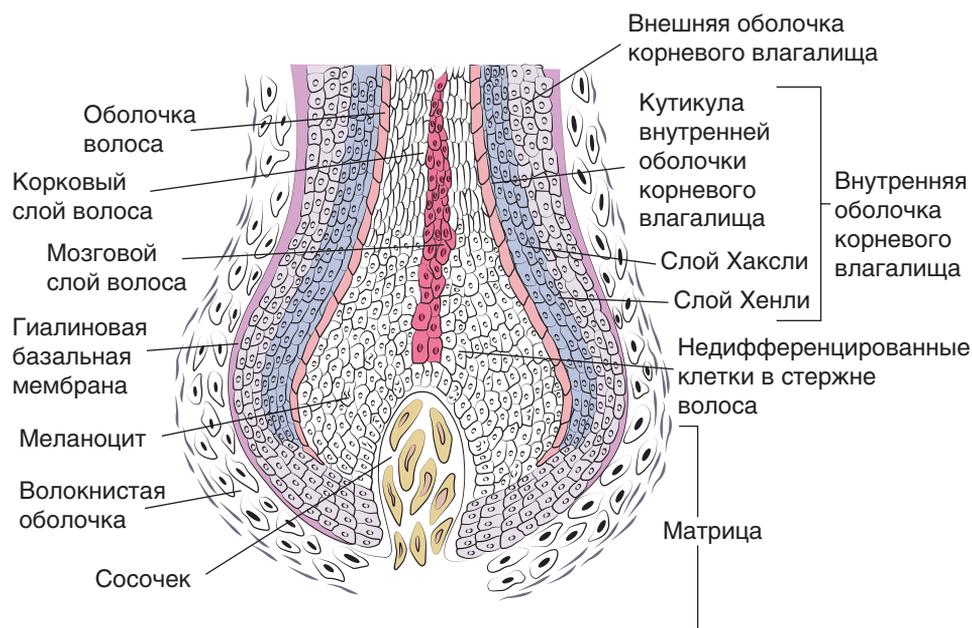


Рис. 1.5. Строение волосяного фолликула

Корневая часть волоса

Волосная луковица

Корневая часть растущего ВФ содержит луковицу волоса, которая находится в самой нижней части ВФ и окружает ДВС (см. рис. 1.5). Луковица содержит недифференцированные, активно делящиеся клетки матрицы волоса, которые простираются до самой широкой части волосной луковицы, называемой критической линией Обера. Меланоциты обычно располагаются в области верхушки ДВС. Ближайшие к центру матричные клетки дают начало клеткам мозгового вещества волоса. Матричные клетки вокруг центральной области продуцируют удлиненные кортикальные клетки, которые стремятся вверх, формируя развивающийся волосной стержень. Выше в кератогенной зоне эти клетки уплотняются, превращаясь в твердый кератин. Внешний край матричных клеток формирует кутикулу волоса и окружающее ВВК. Кутикула покрывает волокно волос 6–10 слоями кутикулярных клеток, накладывающихся друг на друга. Клетки кутикулы кератинизируются и выдвигаются наружу и вперед, сцепляясь внутри выступающими клетками кутикулы ВВК.

ДВС, окутанный матричными клетками, содержит фибробласты, связи коллагена, фибронектин, гликозаминогликаны и мелкие кровеносные сосуды. Это — продолжение дермального влагалища, которое окружает ВФ. Количество клеток ДВС определяет размер волосного стержня и вызывает формирование ВФ.

Зона роста внутри луковицы, окружающая сосочек волоса, обеспечивает рост волосного стержня. Плюрипотентные матричные клетки нижней части луковицы начинают дифференцироваться в ее верхней части на шесть концентрических слоев клеток: три внутренних слоя в дальнейшем становятся собственно волосным стержнем (мозговой, корковый и оболочка внешнего слоя); затем следуют три внешних слоя корня: *кутикула корня, слой Хаксли и слой Генле*.

Наружное влагалище корня

Корневое влагалище образовано наружными и внутренними оболочками (рис. 1.6). НВК, или трихилемма, не имеет гранулярного слоя, при этом клетки НВК содержат большое количество вакуолей, комплексов Гольджи, гладкого и шероховатого эндоплазматического ретикулула, митохондрий и других компонентов. В клетках НВК нижней части ВФ имеется большое количество гликогена [13, 14]. Предполагают, что это свидетельствует о протекающих в них процессах, сопровождающихся потреблением энергии (например, транспорт аминокислот) [10].

НВК появляется в основании луковицы в виде тонкой выстилки, утолщаясь по мере распространения вверх к уровню истмуса (перешейка), где проявляется трихолеммальная кератинизация. НВК покрыто гиалиновой или стекловидной мембраной, которая продолжается эпидермальной базальной мембраной, окружая ДВС.

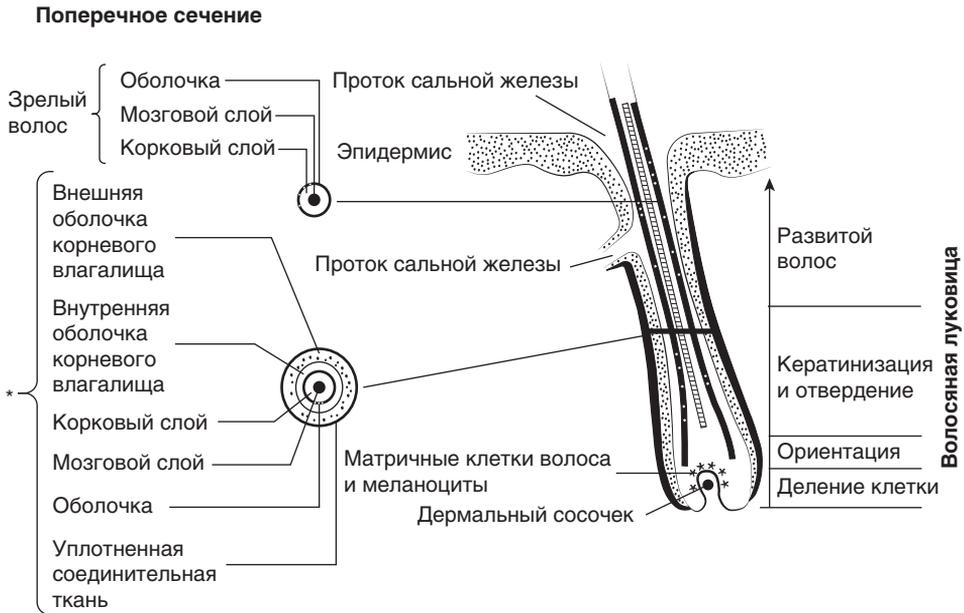


Рис. 1.6. Схематическое строение волосяного фолликула и стержень

Внутреннее влагалище корня

ВВК начинается с середины истмуса, распространяясь на основание луковицы, и включает три слоя: самый внутренний (формирует кутикулу ВВК); средний — слой Хаксли (образован из 3–4 слоев кубоидальных клеток) и внешний — слой Генле (состоит из единственного слоя удлиненных клеток). Кератинизация слоя Генле начинается с появления трихогиалиновых гранул около волосяной луковицы, которые формируют четко выраженную розоватую кератинизированную группу выше луковицы. Далее кератинизируется кутикула ВВК, синхронно с кератинизацией кутикулы волосяного стержня (см. ниже). Наконец, трихогиалиновые гранулы появляются в слое Хаксли, сигнализируя о надвигающейся кератинизации. Кератинизация ВВК заканчивается на середине нижней части ВФ, и далее верхнюю половину нижней его части охватывает уже кератинизированное ВВК. Последнее окружено одним и более слоями трихолеммы (или НВК). Потенциальное пространство между внутренними и внешними влагалищами корня называют сопутствующим слоем. Это пространство позволяет ВВК скользить вверх по внешнему влагалищу корня во время роста волоса [3].

Срединная зона волосяного фолликула

Срединная зона ВФ представляет собой расположенную выше зону ороговения, где волос приобретает прочность вследствие начала синтеза кератинового белка и образования цистеиновых связей.

Собственно волос

Клетки внутренней оболочки корня заканчиваются на уровне протока СЖ. Вещество волоса состоит в основном из слоя относительно безводных ороговевших клеток и внутриклеточного связующего материала. Секрет, выделяемый расположенными рядом СЖ, смазывает волос и придает эластичность поверхности кожи.

КЕРАТИНИЗАЦИЯ ВОЛОС

Основой волоса является белок, который составляет 85–90% всей массы волоса и представляет собой кератин — конденсационный полимер аминокислот. Стержень волоса состоит в основном из кератинизированных клеток и связующего материала. Физические и косметические свойства стержня волоса определяют 10–13% воды, которые содержатся в кератинизированных клетках волоса, а также жирами, пигментом и следовыми количествами металлов и витаминов.

В стержне волоса различают три слоя: срединный — мозговой (*медулла*), корковый (*кортекс*) и внешний (*кутикула*; см. рис. 1.6).

Для понимания проявлений поражения волос важно представлять себе связь процесса кератинизации с ростом волос на морфологическом уровне. Морфологическая закономерность **процесса кератинизации волосяного стержня** изучалась с помощью *световой микроскопии*. Кератинизация (или консолидация) корневых влагалищ ВФ с формированием жесткого цилиндра происходит на уровне середины волосяной луковицы. Внутри соединительнотканной оболочки циркулярные и продольные коллагеновые волокна формируют наружный поддерживающий каркас, непосредственно прилегающий к НВК. Куполообразная форма нижней части ВФ, куда инвагинирует кожный сосочек, поддерживается со стороны дермы соединительнотканным гелем и обеспечивает сопротивление прогибанию базальной мембраны под давлением делящихся клеток. В результате сила давления делящихся клеток оказывается направленной наружу, вдоль оси волосяного волокна.

В зоне клеток матрикса располагаются меланоциты, способствующие окрашиванию волосяного волокна. Клетки кутикулы волоса человека не содержат пигментных гранул, но они обнаруживаются в клетках коркового и мозгового вещества [10].

Мягкие некератинизированные клетки коры под влиянием внешнего воздействия, которое перемещает их вверх в воронкообразной форме волосяного влагалища, приобретают вытянутую форму с конечным соотношением длина/ширина, равным примерно 6:1. Промежуточные кератиновые волокна, синтезируемые в ходе этого процесса, ориентируются вдоль продольной оси клетки и самого волосяного волокна [15, 16].

Проведенное М. Birbeck и Е. Mercer с помощью *трансмиссионной электронной микроскопии* исследование [17] позволило уточнить последующие особенности процесса кератинизации. Было выявлено, что ВФ окружен соединительнотканной оболочкой, состоящей из коллагеновых волокон с высокой степенью пространственной организации. Эпителиальные клетки НВК фолликула отделены от соединительнотканной оболочки базальной пластинкой; коллагеновые волокна, прилежащие к базальной пластинке со стороны соединительнотканной оболочки, ориентированы параллельно оси фолликула. Снаружи, под прямым углом к этим волокнам, располагаются циркулярные коллагеновые волокна. Отмечается присутствие клеток Меркеля, прикрепленных к базальной пластинке НВК [13].

Первыми кератинизирующимися (консолидирующимися) структурами ВФ являются клетки ВВК (см. рис. 1.6). Действуя совместно с НВК и соединительнотканной оболочкой, эти клетки выполняют роль формы для продуцируемого волосного волокна. Основными компонентами ВВК являются наружный слой Генле и внутренний слой Хаксли. Оба слоя содержат прямые белковые филаменты диаметром около 8 нм, вытянутые вдоль оси ВФ, что обеспечивает их сопротивление при воздействии сил, направленных вдоль оси волосного волокна. К слою Хаксли непосредственно прилегает кутикула ВВК, которая не содержит волокнистых белков. Кутикула ВВК, в свою очередь, прилегает к кутикуле волосного волокна. При окончательном разрушении внутреннего корневого влагалища в ходе процесса дифференцировки происходит исчезновение рибосом, ядра и других компонентов клетки [13].

Таким образом, консолидированные клетки ВВК обеспечивают формирование жесткой цилиндрической воронкообразной структуры, придающей вытянутую форму клеткам коры и кутикулы при их продавливании через эту жесткую «воронку» под действием давления, связанного с делением клеток. Удаление клеток ВВК на уровне СЖ обуславливает эластичность волосного волокна [10].

Химическую природу морфологических компонентов ВФ изучали с помощью гистохимии (в том числе электронной), радиоавтографии и анализа материалов, экстрагируемых из различных частей ВФ. В частности, методом дифференциально-термического и термогравиметрического анализов было установлено, что независимо от возраста в женских волосах преобладает ромбическая модификация серы (α -S), а в мужских — моноклинная (β -S), что позволяет однозначно дифференцировать пол владельца волоса с учетом этих модификаций на термограмме [18].

Что обеспечивает прочную фиксацию волоса в фолликуле?

ВФ как самостоятельная анатомическая структура является сложным устройством для фиксации волосного волокна.

Синтезируемое волосное волокно находится в тесном контакте со слоем клеток внутреннего корневого влагалища. С внутренней сторо-

ны ВВК и с наружной стороны собственно волосяного волокна располагаются клетки кутикулы, образующие противоположно направленные пальцевидные впячивания (интердигитации), которые по принципу застежки-липучки и обеспечивают очень прочную фиксацию волосяного волокна в фолликуле.

СТРОЕНИЕ КУТИКУЛЫ СТЕРЖНЯ ВОЛОСА

Фиксацию волосяного волокна в ВФ обеспечивают клетки кутикулы, образованные пальцевидными впячиваниями клеток внутренней стороны ВВК и наружной стороны собственного волосяного волокна, которые создаются взаимными пальцевидными впячиваниями клеток внутренней стороны ВВК и наружной стороны собственного волосяного волокна. При появлении волосяного волокна над поверхностью кожи клетки кутикулы плотно прилегают к коре, при этом их свободный край имеет слегка волнистую форму (рис. 1.7).

В отличие от клеток коркового слоя, которые могут значительно растягиваться, клетки кутикулы отличаются недостаточной эластичностью и повышенной хрупкостью [19]. На расстоянии нескольких миллиметров от поверхности скальпа отламываются мелкие фрагменты свободного края клеток кутикулы, в результате чего он приобретает зазубренную форму. Таким образом, структура поверхности волосяного волокна изменяется по мере удаления от поверхности кожи.

Несмотря на невысокую механическую прочность, клетки кутикулы обеспечивают корковому слою значительную защиту благодаря взаимному наложению наподобие черепицы на крыше. Так, на поперечном срезе волоса человека можно обнаружить более пяти перекрывающихся клеток кутикулы, плотно прилегающих друг к другу. Клетки кутикулы и коркового слоя приблизительно одинаковой ширины и длины (соответственно 20–80 и 120 мкм). Толщина клетки коркового слоя составляет примерно 25 мкм [20].

Кутикула коркового вещества состоит из нескольких слоев. Под окружающей поверхностной мембраной расположен А-слой, который характеризуется постоянной толщиной и высоким содержанием серы [19]. В отечественной научной литературе этот слой получил название «эпикутикулы»; указана возможная его толщина — 50–100 нм. А-слой способен пропускать молекулы с низкой молекулярной массой и непроницаем для молекул с высокой молекулярной массой [21] (рис. 1.8).

Следующий слой экзокутикулы лежит непосредственно под А-слоем. Это белковый слой толщиной 0,2 мкм, состоящий из электронно-плотных гранул размером 30–40 нм.

На обычных препаратах, окрашенных четырехокисью осмия, экзокутикула темной окраски.

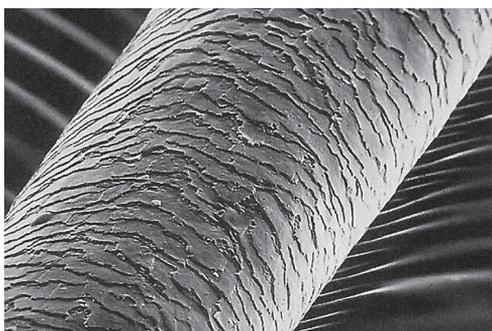


Рис. 1.7. Сканирующая электронномикроскопическая фотография нормального стержня волос

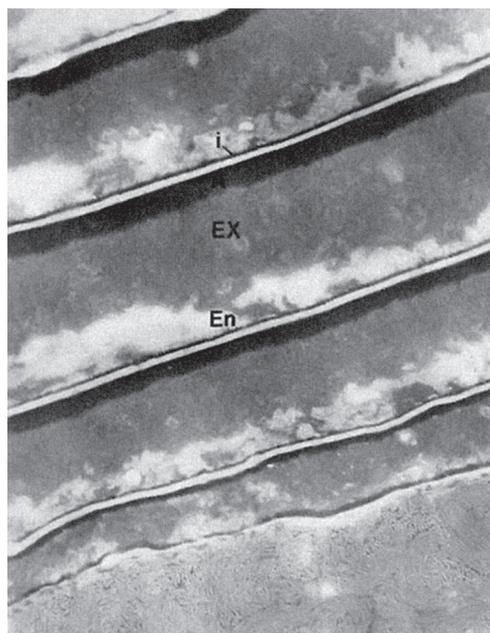


Рис. 1.8. Внешняя оболочка волоса (микросканограмма). Видны экзокутикула EX, эндокутикула En

Внутренний слой кутикулы — эндокутикула расположена между экзокутикулой и корковым веществом. Эндокутикула состоит из плотно прилегающих гранул размером 300–400 нм со слабо контрастированным материалом. Этот слой способен расщепляться под действием протеолитических ферментов.

Мембрана кутикулы, находящаяся между кутикулой и корковым веществом, содержит большое количество ϵ -(γ -глутамил-) лизиновых изопептидных поперечных связей, делающих ее высокорезистентной к химическим воздействиям [22, 23].

Слои кутикулы характеризуются различной степенью прочности по отношению к внешним воздействиям. Подробное исследование морфологии клеток кутикулы показало, что по сравнению с расположенной снаружи экзокутикулой и А-слоем эндокутикула обладает низкой резистентностью к воздействию химических факторов и при контакте с хлорированной водой или внедрении грибов поражается в первую очередь [24]. В местах отламывания фрагментов свободного края кутикулы повреждающие факторы получают практически свободный доступ к этой уязвимой части коркового вещества.

Помимо механической защитной функции коры, клетки кутикулы контролируют содержание воды в волосяном волокне.

В волосяных волокнах млекопитающих отмечается высокая степень сохранения распределения связанных жирных кислот (ЖК), что свидетельствует о выполнении ими важных функций. Рассчитано, что на 100 аминокислотных остатков поверхности кутикулярной мембраны приходится 5–10 молекул ЖК. Последние образуют на поверхности кутикулы гидрофобную поверхность, обеспечивающую распределение кожного сала. Приблизительно 90% связанных ЖК объединены с комплексом клеточной мембраны кутикулы посредством тиоэфирной связи [25]. О наличии достаточного количества остатков цистеина для создания всех необходимых тиоэфирных связей для ЖК свидетельствует высокое содержание остатков цистеина в препаратах эпикутикулы. Основной связанной ЖК является C_{21a} -кислота (18-метилэйкозановая кислота). Биосинтез C_{21a} -липидов происходит в зоне, расположенной намного ниже протока СЖ. C_{21a} -кислота относится к разветвленному типу ЖК; это означает, что их эффективная температура плавления ниже, чем у соответствующих прямоцепочечных молекул. Помимо этого, короткоцепочечные разветвленные ЖК (такие как 14-метилэйкозановая кислота) оказывают сильное бактериостатическое воздействие на некоторые грамположительные микроорганизмы. В отличие от ненасыщенных ЖК, данные кислоты остаются стойкими к окислению.

Однако связанные ЖК могут высвободиться из кератиновых волокон в условиях низкого рН и при наличии хлора [24].

Различие в химических свойствах мембранных комплексов кутикулы и коркового слоя обусловлено, в частности, повышенным содержанием аминокислотных остатков орнитина и цитруллина в комплексе клеточной мембраны кутикулы [22].

КОРКОВОЕ ВЕЩЕСТВО СТЕРЖНЯ ВОЛОСА

Основную массу волоса составляет корковое вещество (*кортекс*), которое определяет механические свойства волоса. Кортикальные клетки располагаются параллельно длине волоса. Соединяются они посредством фибрилл, представляющих собой плотно упакованные пучки филаментов, которые, в свою очередь, состоят из микрофибрилл разной длины, диаметром 0,1–0,4 мкм. Микрофибрилла содержит 11 протофибрилл диаметром 2 нм. Микрофибриллы составляют основную массу коркового вещества и являются кристаллической частью кератина. Они погружены в аморфную среду (*матрикс*), характеризующуюся высоким содержанием цистина.

Впервые размеры и организация кератиновых филаментов были исследованы с помощью трансмиссионного электронного микроскопа более 30 лет назад. Было показано, что значительная физическая прочность волосяных волокон на растяжение связана с организацией филаментов и архитектурой клеток коры [20, 26] (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Строение волосяного волокна

Разработаны специальные методики с применением восстановления цистеиновых дисульфидных связей с целью выявления филаментных структур высокой молекулярной массы с низким содержанием серы [17, 27–28]. Полученные данные помогают разобраться в сущности расстройств, сопровождающихся нарушением формирования кератина и клеточной адгезии.

Исследования поперечных срезов кортикальных клеток волоса, окрашенных с помощью соответствующих методик, показали, что они содержат большое количество фибрилл, имеющих спиральную организацию, подтверждаемую наличием уникального рисунка, которому на тонких продольных срезах соответствует косой рисунок «елочки» [9]. Данная организация фибрилл

обеспечивает увеличение прочности на растяжение благодаря такому же перераспределению нагрузок, как при использовании витого провода или каната. Таким образом, ультраструктурная организация клеток коры позволяет им выдерживать значительное растяжение.

Методы, использовавшиеся ранее с целью визуализации кератиновых филаментов коркового вещества волоса, основаны на его предварительной обработке химическими веществами с целью разрыва дисульфидных связей молекул цистеина, характерных для кератина волос. После подобной обработки появляются сульфгидрильные группы, активно взаимодействующие с четырехокисью осмия, что обеспечивает высокое контрастирование при трансмиссионной электронной микроскопии. На обычных препаратах поперечных срезов волосяного волокна отчетливый уникальный рисунок завитков кератина обнаруживается редко. В связи с этим разработано несколько методов, позволяющих визуализировать этот рисунок [17, 28]. Однако сохраняется риск получить артефактную картину организации кератина в связи с распадом белков *in situ*, обеспечивающим данный контраст. Альтернативный метод заключается в использовании срезов нефиксированных образцов, окрашенных уранилацетатом. Возможность выявления деталей ультрамикроструктуры кератина при использовании данного метода аналогична возможностям метода фиксации образцов глутаральдегидом и окрашивания срезов четырехокисью осмия. Наилучшее контрастирование достигается при исследовании относительно толстых срезов или участков срезов толще номинальной толщины, равной 60 нм. На этих срезах (участках срезов) филаменты выглядят как округлые открытые пространства, расположенные в окрашенном бесструктурном матриксе. О спиральной организации филаментов в пучках свидетельствует уникальный рисунок, обнаруживаемый на поперечных срезах. Этот метод дает возможность четко выделять клеточные мембраны и тем самым исследовать тонкие детали организации кератина волос и шерсти на поперечных срезах волосяного волокна без предварительной химической обработки для разрыва дисульфидных связей. Поперечное сшивание молекул, обеспечиваемое фиксацией глутаральдегидом, препятствует сколько-нибудь значимому взаимодействию уранилацетата с белками [29].

Корковый слой волоса содержит пигмент меланин в виде зерен различной величины. Пигмент распределен в корковом веществе равномерно в виде скоплений (см. гл. 6 «Цвет волос и окрашивание»).

Чем обусловлена прочность волосяных волокон при растяжении?

Механические свойства волоса определяет корковое вещество. Кортикальные клетки располагаются параллельно длине волоса. Между собой они соединяются посредством фибрилл, являющихся плотно упакованными пучками филаментов, которые, в свою очередь, состоят из микрофибрилл различной длины, образующих основную массу коркового вещества. Каждая микрофибрилла содержит 11 протофибрилл.