

Оглавление

Предисловие к изданию на русском языке	6
Предисловие к изданию на английском языке	7
О редакторах	9
Об авторах	11
Список сокращений и условных обозначений	32
Глава 1. Анатомия переднего пути оттока водянистой влаги	33
Глава 2. Патентное право в век инноваций	72
Глава 3. Какое минимально инвазивное антиглаукомное вмешательство выбрать для конкретного пациента?	90
Глава 4. В защиту трабекулэктомии	104
Глава 5. О применении куркумина в качестве мультимодального антифиброзного препарата в хирургии глауком	109
Глава 6. Будущее минимально инвазивной хирургии глаукомы	126
Глава 7. Транслюминальная трабекулотомия под контролем гониоскопии	138
Глава 8. Микростент Hydrus®	152
Глава 9. Устройства семейства iStent: iStent, iStent inject и iStent Supra	165
Глава 10. Рассечение, абляция и деструкция трабекулярной сети доступом <i>ab interno</i>	186
Глава 11. Каналопластика <i>ab interno</i> микрокатетером iTrack™: следующая ступень развития микроинвазивных антиглаукомных вмешательств	210
Глава 12. Микрошунт XEN: эволюция технологии и методики вмешательства	221
Глава 13. Новые биоматериалы для минимально инвазивного переднекамерного шунта <i>ab externo</i>	236
Глава 14. Лазерная трабекулопластика и микропульс: развитие технологии от лазеркоагуляции к фототермолизису и фотостимуляции трабекулы	250
Глава 15. Циклофотокоагуляция	272
Глава 16. Эксимер-лазерная трабекулостомия: лазерное минимально инвазивное хирургическое лечение открытоугольной глаукомы	297
Глава 17. Смешанные и комбинированные минимально инвазивные антиглаукомные вмешательства	314
Глава 18. Трабекулэктомия с дренированием супрахориоидального пространства	319
Глава 19. Применение современного лазера в целях нейропротекции при глаукоме	324
Глава 20. Что такое идеальная фильтрационная подушка и как ее добиться? На примере операции имплантации микрошунта XEN	350
Глава 21. Особенности лечения глаукомы у детей	366

Глава 1. Анатомия переднего пути оттока водянистой влаги

Хайан Гонг (Haiyan Gong), Дэвид Л. Суэйн (David L. Swain)¹

Краткое содержание

Знание анатомии путей оттока водянистой влаги необходимо для понимания механизма действия различных типов устройств для минимально инвазивной хирургии глауком. В этой статье приведен обзор анатомии путей оттока водянистой влаги, особенно подробно рассмотрена анатомия трабекулярной сети. Обсуждаются экспериментальные данные о локализации основных препятствий на пути оттока и их вклад в патогенез глаукомы. Описываются также сегментарный характер оттока водянистой влаги по окружности глазного яблока, структурные различия участков высокой скорости потока и тех зон, где ток водянистой влаги отсутствует, и морфологические изменения, вызывающие уменьшение площади активной фильтрации (effective filtration area), повышение внутриглазного давления (ВГД) и развитие глаукомы. Снижение ВГД достигается медикаментозными и хирургическими методами, путем увеличения площади эффективной фильтрации трабекулярной сети и эписклеральных вен. Но многое еще остается неясным, в частности необходимо точно оценить значение анатомических изменений путей дренажа водянистой влаги для регуляции сегментарного оттока. Еще предстоит выяснить, как анатомические структуры, лежащие дистальнее шлеммова канала, в том числе собирательные каналы, их устья и склеральное венозное сплетение, участвуют в регуляции сопротивления оттоку. Дальнейшее развитие способов оценки сегментации оттока водянистой влаги *in vivo* методами оптической когерентной томографии (ОКТ) и ангиографии дренажной системы глаза обеспечит более качественное индивидуальное планирование лечения и позволит добиться лучших результатов минимально инвазивных хирургических вмешательств.

Ключевые слова: пути оттока водянистой влаги, собирательные каналы, шлеммов канал, сегментарный отток водянистой влаги, трабекулярная сеть.

Корреспонденцию направлять по адресу: Haiyan Gong, M.D., Ph.D., Department of Ophthalmology, Boston University School of Medicine, 72 East Concord Street, L-905, Boston, MA 02118, USA.

Электронная почта: hgong@bu.edu.

New Concepts in Glaucoma Surgery Series: Volume 1, p. 1–38.

Edited by John R. Samples and Iqbal Ike K. Ahmed.

© 2020 Kugler Publications, Amsterdam, The Netherlands.

1.1. Введение

ВГД поддерживается в пределах нормальных значений посредством соблюдения динамического баланса между продукцией водянистой влаги и ее оттоком. Нарушение дренажа водянистой влаги приводит к повышению ВГД, что является фактором риска развития и прогрессирования первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) [1]. Изучение механизмов снижения ВГД после минимально инвазивных антиглаукомных хирургических вмешательств (minimally invasive glaucoma surgery) необходимо начинать с рассказа о нормальной анатомии структур, обеспечивающих отток водянистой влаги, и их изменениях при ПОУГ.

Водянистая влага продуцируется цилиарным телом, поступает в заднюю камеру, оттекает вперед через зрачок, формирует конвекционные потоки, омывает переднюю камеру и оттекает по двум путям: переднему (или трабекулярному) и увеосклеральному пути оттока водянистой влаги. Передний путь оттока является основным (80–90%), в нем выделяют увеальную и корнеосклеральную части трабекулярной сети (trabecular meshwork), юстаканаликулярную соединительную ткань (juxtacanalicular connective tissue), шлеммов канал (Schlemm's canal), собирательные (коллекторные) каналы (collector channels), склеральное венозное сплетение и водяные вены (aqueous veins). Большая часть во-

¹ Департамент офтальмологии медицинской школы Бостонского университета (Department of Ophthalmology, Boston University School of Medicine), г. Бостон, шт. Массачусетс, США.

дянистой влаги дренируется через переднюю камеру по постепенно сужающимся каналам трабекулярной сети в идущий по окружности шлеммов канал. Из шлеммова канала водянистая влага поступает в наружные собирательные каналцы, оттуда через кольцевое венозное сплетение склеры в конечном итоге оттекает в эписклеральные сосуды и в венозное русло. В этой системе поток регулируется градиентом давления, механизмы активного транспорта отсутствуют; ни метаболические яды, ни изменения температуры не оказывают на эту систему какого-либо значительного влияния [2, 3]. Оставшиеся 10–20% водянистой влаги в здоровом глазу дренируются через увеосклеральный путь оттока [4, 5], который стал важнейшей точкой приложения медикаментозной терапии глаукомы. Однако эта глава будет посвящена исключительно переднему трабекулярному пути оттока.

1.2. Нормальная анатомия переднего пути оттока водянистой влаги

1.2.1. Трабекулярная сеть

Трабекулярная сеть представляет собой полосу ткани треугольного сечения, идущую по окружности в углу передней камеры (рис. 1.1, а). Верхушка треугольника фиксирована к наружному краю десцеметовой мембраны роговицы, место фиксации называется линией Швальбе (Schwalbe). От линии Швальбе трабекулярная сеть перекидывается через радужно-роговичный угол в заднем направлении и соединяется со склеральной шпорой, цилиарным телом и стромой радужки. Склеральная шпора выступает внутрь передней камеры и формирует своеобразную «полку» для основания этого треугольника, ее задняя поверхность служит местом прикрепления продольных волокон ресничной мышцы. Ширина трабекулярной сети от линии Швальбе до склеральной шпоры по результатам гистологических исследований составляет $694,9 \pm 109$ мкм у мужчин и $713,2 \pm 107$ мкм у женщин [6]. По результатам ОКТ средняя ширина трабекулярной сети *in vivo* была оценена как $466,9 \pm 60,7$ мкм [7]. Воображаемая линия, проведенная от линии Швальбе к склеральной шпоре, делит трабекулярную сеть на две большие части; ближайшая к склере часть трабекулярной сети, лежащая снаружи от воображаемой линии, вклю-

чает в себя корнеосклеральную сеть, юкстаканаликулярную ткань и шлеммов канал. Ближайшая к передней камере лежащая кнутри от воображаемой линии часть трабекулярной сети тянется от линии Швальбе к строме цилиарного тела и радужки, поэтому она называется увеальной сетью (см. рис. 1.1). Увеальная сеть хорошо визуализируется при гониоскопии.

Важно хорошо представлять себе пространственные отношения структур угла передней камеры в двух проекциях — на меридиональном срезе (рис. 1.2) и в проекции *en face*, т.е. так, как они визуализируются при гониоскопии изнутри угла передней камеры (рис. 1.3). На рис. 1.3, а, хорошо видно, как свет отражается от линии Швальбе и лежащей ниже ее трабекулярной сети, под которой определяется заполненный кровью шлеммов канал. Ниже шлеммова канала видна более светлая склеральная шпора, а ниже нее, наконец, очень темная полоска, ее цвет обусловлен большим количеством пигмента в строме цилиарного тела. Эта самая нижняя полоска трабекулярной сети, видимая при гониоскопии, называется полосой цилиарного тела (см. рис. 1.3, б). Для сравнения те же самые структуры отмечены на выполненной при гониоскопии фотографии нормального открытого угла передней камеры (см. рис. 1.3, в, г). Видно несколько чередующихся темных и светлых полос, соответствующих отмеченным на рис. 1.4 зонам. Самая верхняя темная полоска — линия Швальбе, обычно даже в здоровых глазах она содержит некоторое непостоянное количество пигмента. Ниже нее более светлая линия представляет собой переднюю, или нефилтующую, сеть. Эта часть трабекулярной сети не прилежит к шлеммову каналу и не принимает участие в дренировании водянистой влаги. Клетки трабекул этой зоны фагоцитируют небольшое количество пигмента, поэтому пигментация этого участка не выражена. Ниже этой светлой линии видна более темная полоска, соответствующая задней, или фильтрующей, сети. Через нее проходит наиболее короткий путь непосредственно в шлеммов канал. По сравнению с нефилтующей сетью поток здесь более интенсивный, и клетки фильтрующей сети фагоцитируют большое количество пигмента (рис. 1.5), что придает ей более темную окраску при гониоскопии (см. рис. 1.3, г). Ниже этой темной полосы лежит еще одна более светлая линия, соответствующая склеральной шпоре. Наконец, непосредственно ниже склеральной шпоры определяется самая нижняя темная полоска — полоска цилиарного тела [8, 9].

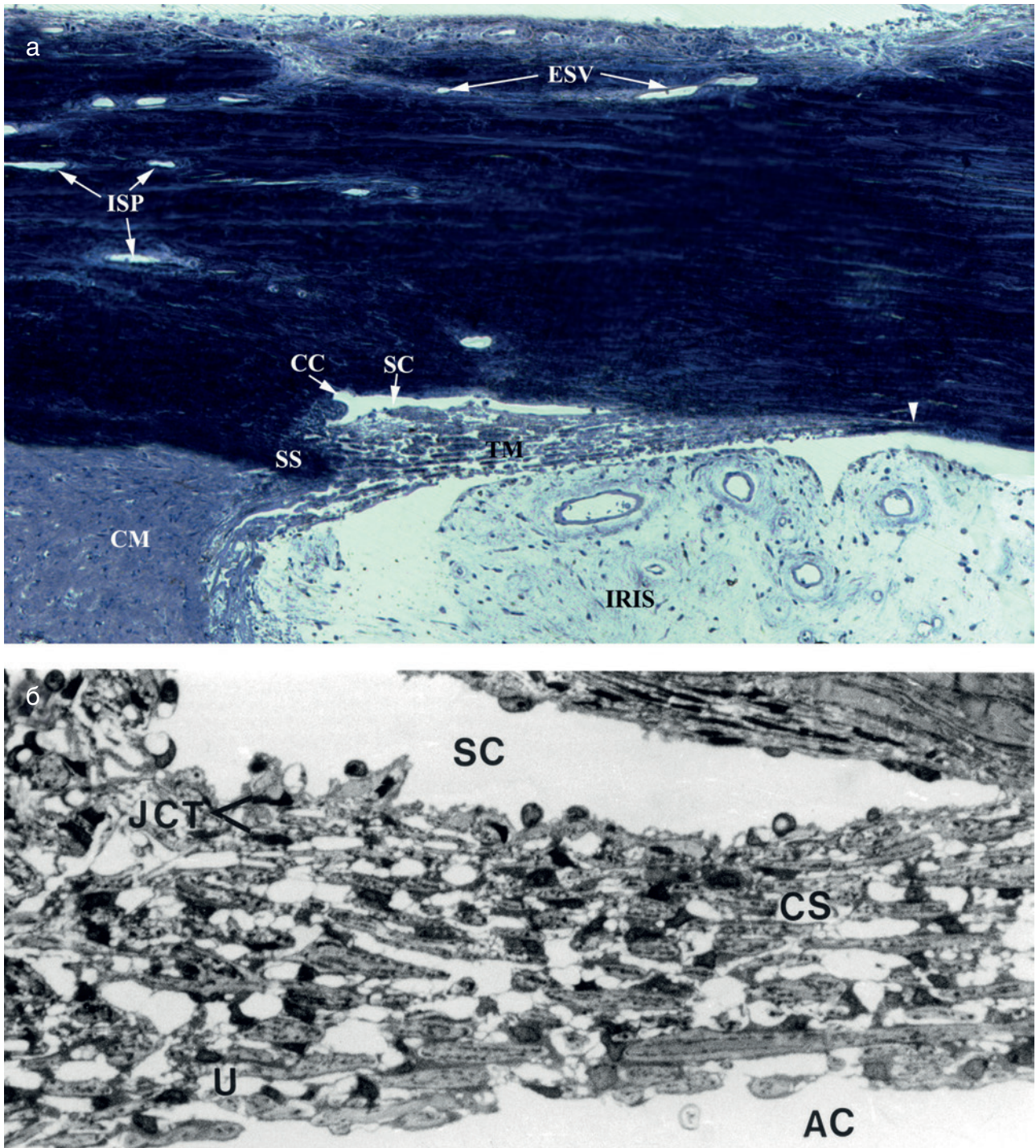


Рис. 1.1. Нормальный трабекулярный путь оттока: а — микропрепарат угла передней камеры. Световая микроскопия. Отмечены: TM — trabecular meshwork, трабекулярная сеть; SC — Schlemm's canal, шлеммов канал; CC — collector channel, собирательный канал; ISP — intrascleral plexus, интрасклеральное сплетение; ESV — episcleral vessels, эписклеральные сосуды; SS — scleral spur, склеральная шпора; CM — ciliary muscle, цилиарная мышца; iris — радужка. Белый треугольник указывает на край десцеметовой мембраны, известный под названием «линия Швальбе». Публикуется по [18]; б — микропрепарат трабекулярной сети под большим увеличением. Снизу вверх отмечены: U — uveal trabecular meshwork, увеальная трабекулярная сеть; CS — corneoscleral trabecular meshwork, корнеосклеральная трабекулярная сеть; JCT — juxtacanalicular tissue, юстаканаликулярная ткань. Отмечены также AC — anterior chamber, передняя камера, и SC — Schlemm's canal, шлеммов канал. Публикуется по [148], с изменениями

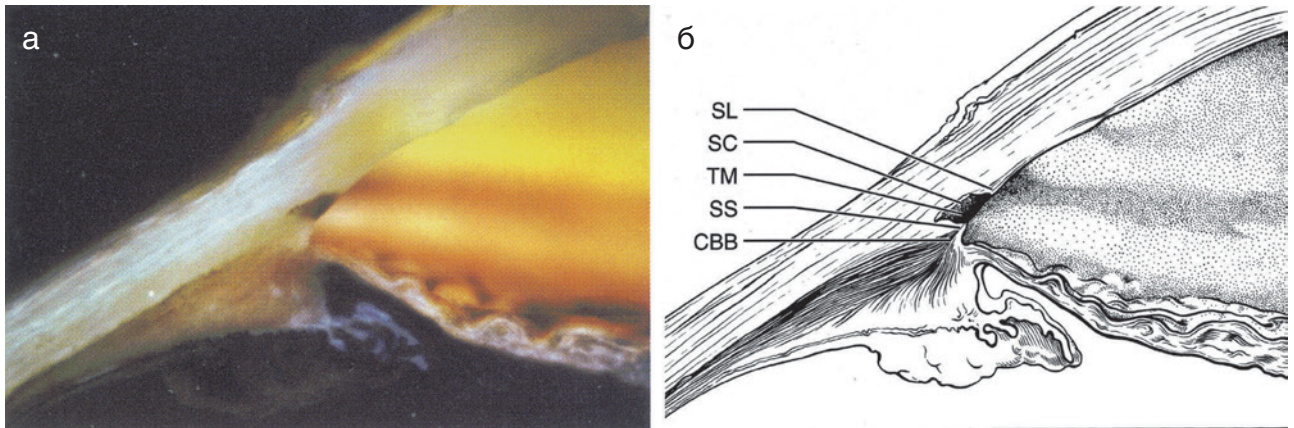


Рис. 1.2. Макропрепарат передней камеры здорового глаза обезьяны (а) и поясняющий его рисунок, на котором отмечены структуры, видимые на меридиональном срезе (б). Глубина передней камеры искусственно увеличена вследствие провисания радужки после удаления хрусталика. Интенсивно пигментированный участок соответствует задней, или фильтрующей, сети. Обозначены: SL — Schwalbe's line, линия Швальбе; SC — Schlemm's canal, шлеммов канал; TM — trabecular meshwork, трабекулярная сеть; SS — scleral spur, склеральная шпора; CBB — ciliary body band, полоска цилиарного тела. Публикуется по [8]

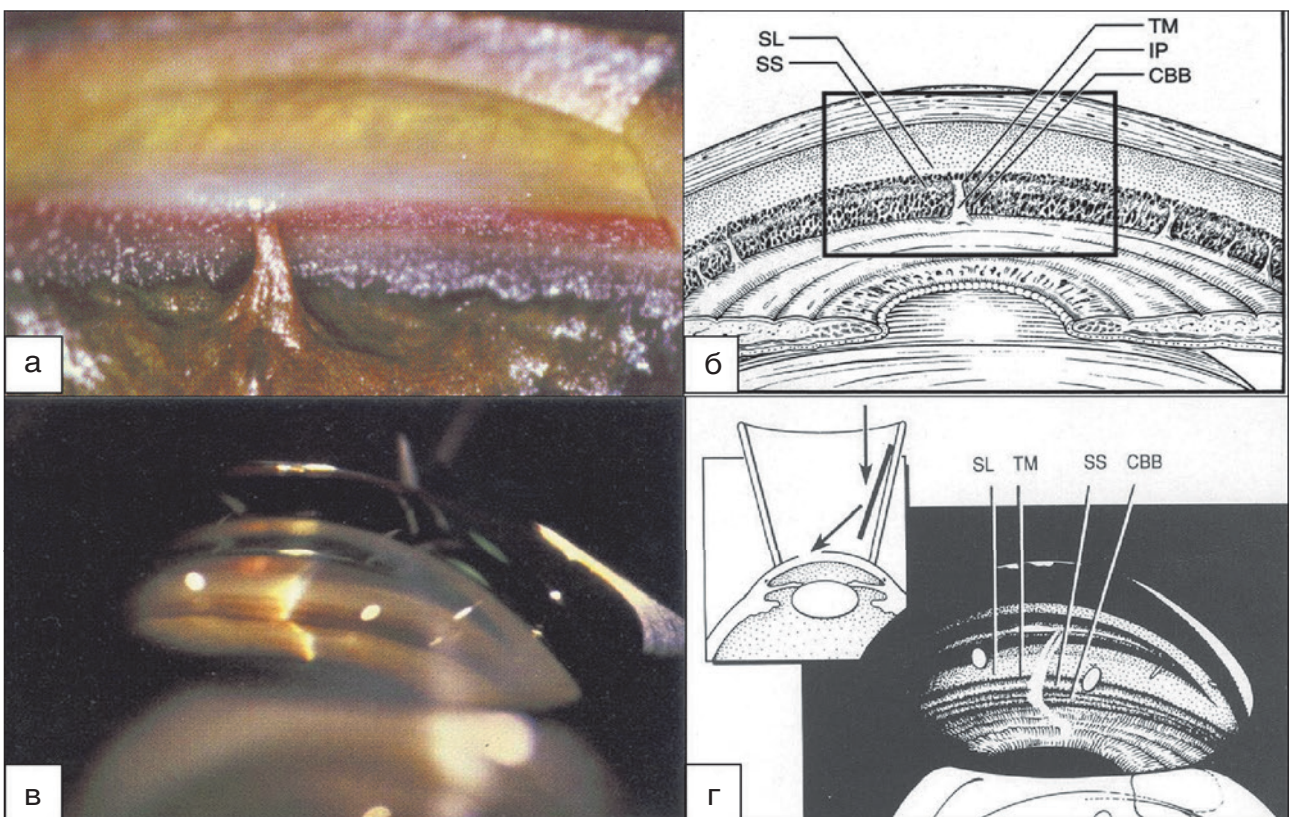


Рис. 1.3. Угол передней камеры, вид при микроскопии и гониоскопии: а — макропрепарат угла передней камеры, те же структуры видны при гониоскопии. У этого препарата шлеммов канал заполнен кровью, за счет чего хорошо видно его расположение относительно других структур угла передней камеры. Виден также отросток радужки (iris process — IP); б — схематическое изображение структур, видимых на фотографии (а) (черная рамка); в — нормальный угол передней камеры, вид при гониоскопии, и г — схематическое изображение структур, видимых на фотографии (в). В углу передней камеры визуализируются пять чередующихся светлых и темных полосок. Самая верхняя темная полоска соответствует линии Швальбе (SL — Schwalbe's line). Ниже нее лежит светлая полоска, соответствующая передней, или нефилтующей, трабекулярной сети. Следующая темная полоска соответствует задней, или фильтрующей, трабекулярной сети (на рисунке обозначена как TM). Следующая светлая полоска соответствует склеральной шпоре (SS — scleral spur). Последняя темная полоска, лежащая непосредственно выше корня радужки, — полоска цилиарного тела (CBB — ciliary body band). Публикуется по [8]

Рис. 1.4. На рисунке изображен путь оттока водянистой влаги и близлежащие ткани. (a) Шлеммов канал; (b) внутренний собирательный каналец открывающийся в заднюю часть шлеммова канала; (c) балки корнеосклеральной трабекулярной сети; (d) склеральная шпора; (e) лимб; (f) балки увеальной трабекулярной сети; (g) линия Швальбе (край десцеметовой мембраны); (h) отросток радужки, начинающийся от корня радужки и вплетающийся в увеальную трабекулярную сеть; (i) продольная порция цилиарной мышцы прикрепляется к склеральной шпоре, часть пучков срастается с корнеосклеральной трабекулярной сетью; (j) эндотелий роговицы срастается с глубокими слоями лимба. Стрелка с двумя указателями обозначает широкую переходную зону от края десцеметовой мембраны до слияния увеальной трабекулярной сети с глубокими слоями лимба. CB — ciliary body, цилиарное тело. Публикуется по [61], с изменениями

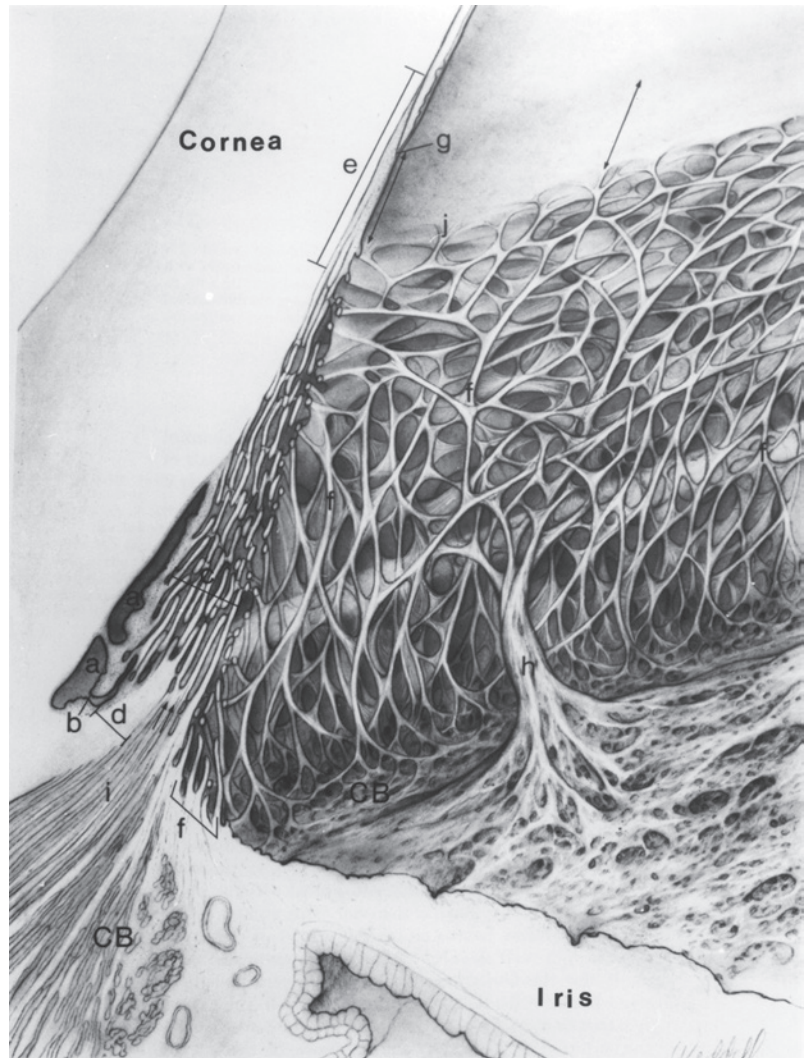
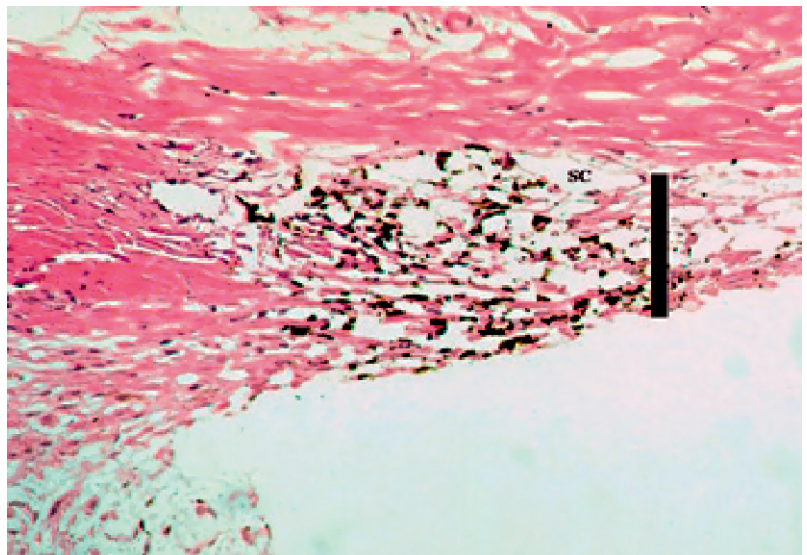


Рис. 1.5 При световой микроскопии на микропрепарате трабекулярной сети наблюдается фагоцитоз меланина эндотелиальными клетками трабекул задней части трабекулярной сети. Обратите внимание на резкое снижение пигментации передней части сети за (на фотографии — правее. — Примеч. перев.) передним краем шлеммова канала (черная линия) (SC — Schlemm's canal, шлеммов канал). Эта разница пигментации видна клинически. Публикуется по [149]



1.2.1.1. УВЕАЛЬНАЯ И КОРНЕОСКЛЕРАЛЬНАЯ СЕТЬ

Увеальная и корнеосклеральная трабекулярная сеть сформирована трабекулярными ламеллами, или балками, ограничивающими систему каналов, заполненных водянистой влагой (см. рис. 1.1 и 1.4). Балки корнеосклеральной и наружной части увеальной трабекулярной сети представляют собой уплощенные перфорированные пласти, ориентированные по окружности, параллельно поверхности лимба. В отличие от них, балки одного или двух внутренних слоев увеальной трабекулы, лежащие ближе всего к передней камере, имеют вид тяжей округлого сечения и ориентированы в радиальном направлении напоподобие решетки; между ними лежат крупные открытые пространства, заполненные водянистой влагой. По мере перехода от увеальной к корнеосклеральной сети эти пространства становятся все меньше (см. рис. 1.1 и 1.4). После хирургического удаления увеальной трабекулярной сети не отмечалось значимого изменения параметров оттока водянистой влаги [10]. На ультраструктурном уровне увеальные и корнеосклеральные балки состоят из соединительнотканного основания, покрытого непрерывным слоем тонких эндотелиальных клеток и их базальной пластинкой (рис. 1.6). Клетки трабекулы способны к фагоцитозу [11], они поглощают эндогенные [12, 13] и экзогенные [14, 15] частицы и таким образом удаляют детрит, который потенциально способен вызвать обструкцию трабекулы. С возрастом в здоровых глазах наблюдается прогрессирующее уменьшение числа клеток трабекулы. При ПОУГ отмечается более интенсивная потеря клеток трабекулы по сравнению со здоровыми глазами [14, 16, 17]. При ПОУГ также наблюдается сращение балок трабекулы; возможно, это происходит вследствие формирования адгезий между обнаженными участками соседних трабекулярных балок [18].

1.2.1.2. ЮКСТАКАНАЛИКУЛЯРНАЯ ЗОНА

Часть трабекулярной сети, ограниченная самыми наружными корнеосклеральными балками с одной стороны и внутренней стенкой шлеммова канала — с другой, имеет совершенно иную структуру. В отличие от покрытых эндотелием соединительнотканых балок, юстаканаликулярная ткань представляет собой обнаженный соединительнотканый матрикс, в котором лежат напоминающие фибробласты клетки, лишённые базальной пластинки. Своими длинными отростками клетки юстаканаликулярной ткани прикрепляются друг к другу, к внеклеточному матриксу (*extracellular matrix*) и к внутренней стенке эндотелиальных клеток шлеммова кана-

ла (см. рис. 1.6, а, и 1.7). Кроме того, в ходе исследований было установлено, что сухожилия продольных пучков цилиарной мышцы достигают трабекулярной сети и оканчиваются здесь системой эластических волокон, прикрепляющихся к внутренней стенке шлеммова канала и получивших название решетчатого сплетения (*cribriform plexus*) (рис. 1.8) [19, 20]. Считается, что ткань юстаканаликулярной зоны, лежащая вблизи шлеммова канала, а также его внутренняя стенка являются основным препятствием на пути оттока водянистой влаги [10, 21–27], но истинные причины возникновения гидродинамического сопротивления остаются неизвестными. Баланс между синтезом и деградацией экстрацеллюлярного матрикса играет важную роль в регуляции гидродинамического сопротивления току водянистой влаги и ВГД [28]. Чрезмерное накопление экстрацеллюлярного матрикса в зоне юстаканаликулярной ткани наблюдалось как при первичной, так и при вторичной открытоугольной глаукоме [29–32], в том числе у пациентов с ПОУГ, не получавших медикаментозного лечения [29]. Таким образом, представляется, что накопление экстрацеллюлярного матрикса является первым звеном патогенеза ПОУГ.

1.2.1.3. ШЛЕММОВ КАНАЛ

Шлеммов канал — замкнутая кольцевидная полость, идущая в глубине внутренней склеральной борозды. Его просвет напрямую сообщается с венозным руслом глазного яблока. Несмотря на наличие прямого сообщения, кровь обычно не поступает в шлеммов канал, за исключением случаев, когда ВГД падает ниже давления в эписклеральных венах или когда возникает сдавление сосудов лимба, например, фланцем гониоскопа. На поперечном срезе канал имеет овальную форму, его больший диаметр варьирует от 264 ± 55 мкм по результатам гистологических измерений [33] до $347,2 \pm 42,3$ мкм по результатам ОКТ [7]. Средняя ширина шлеммова канала (в самом широком месте между его внутренней и наружной стенками) в глазу здорового человека по данным гистологических исследований составляет 31 ± 2 мкм [34]. Обычно канал имеет щелевидную форму (см. рис. 1.1, а), в некоторых местах он может разделяться на два параллельных канала, которые через короткий промежуток вновь соединяются в один. Одна сторона канала непосредственно прилегает к склере и поэтому называется наружной стенкой шлеммова канала. Противоположной стороной канал прилежит к зоне юстаканаликулярной ткани трабекулярной сети, поэтому эту сторону называют внутренней стенкой шлеммова канала. Эндотелиальная

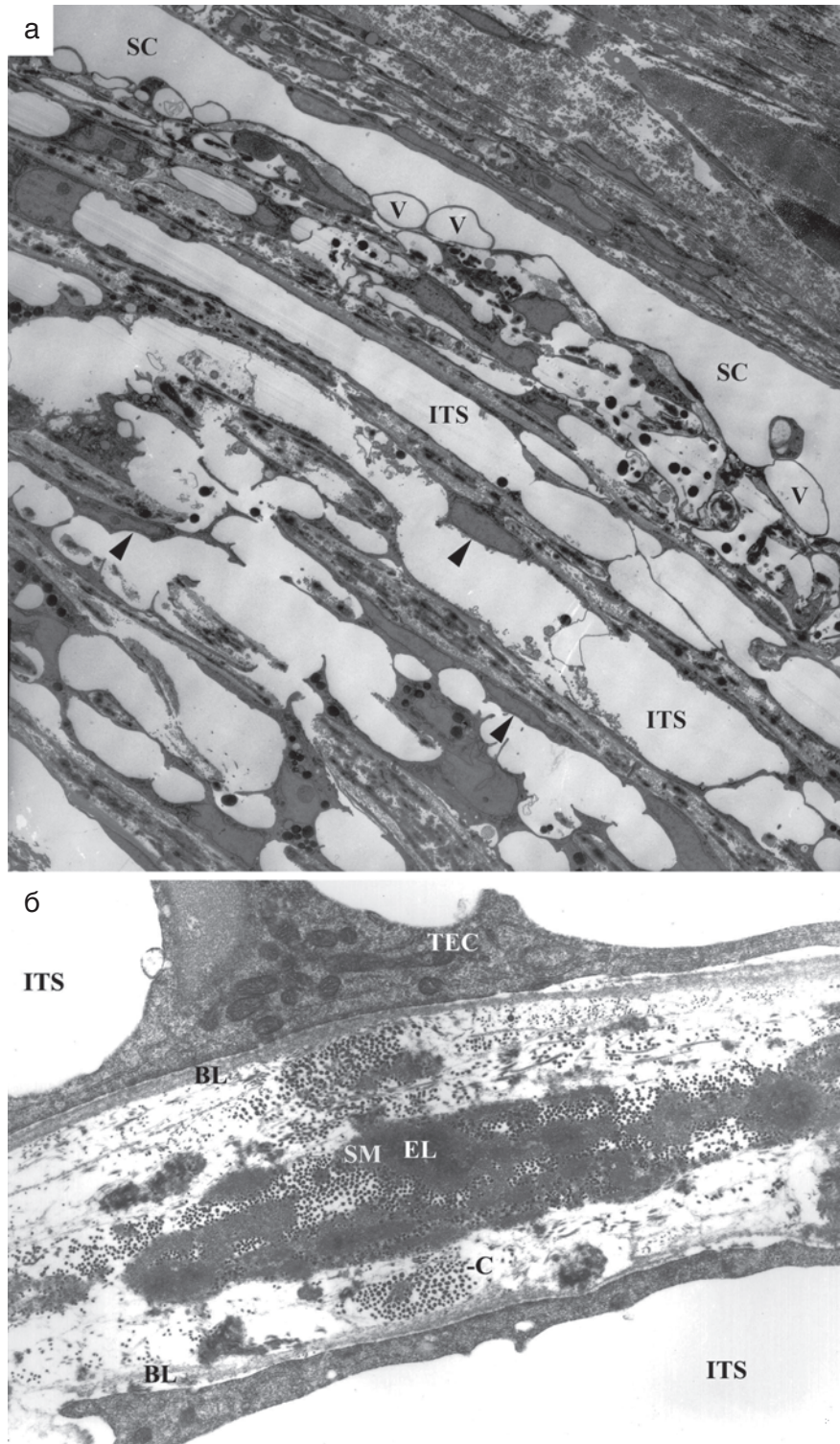


Рис. 1.6. Нормальная трабекулярная сеть при просвечивающей электронной микроскопии. (а) Трабекулярная сеть глаза 61-летнего донора, препарат зафиксирован методом перфузии при давлении 15 мм рт.ст. Большинство балок покрыто одним слоем эндотелиальных клеток (отмечены треугольниками). Вдоль внутренней стенки шлеммова канала (SC — Schlemm's canal) визуализируются гигантские вакуоли (V — vacuoles). ITS — intertrabecular spaces, межтрабекулярные пространства. Публикуется по [18]. (б) Каждая балка трабекулярной сети покрыта одним слоем трабекулярных эндотелиальных клеток (TEC — trabecular endothelial cells), лежащих на базальной пластинке (BL — basal lamina) и окружающих соединительнотканную основу балки. Обозначены: C — collagen, коллаген; EL — elastic fiber, эластическое волокно; SM — sheath material of elastic fiber, периферический слой эластического волокна; ITS — intertrabecular spaces, межтрабекулярные пространства. Публикуется по [150]

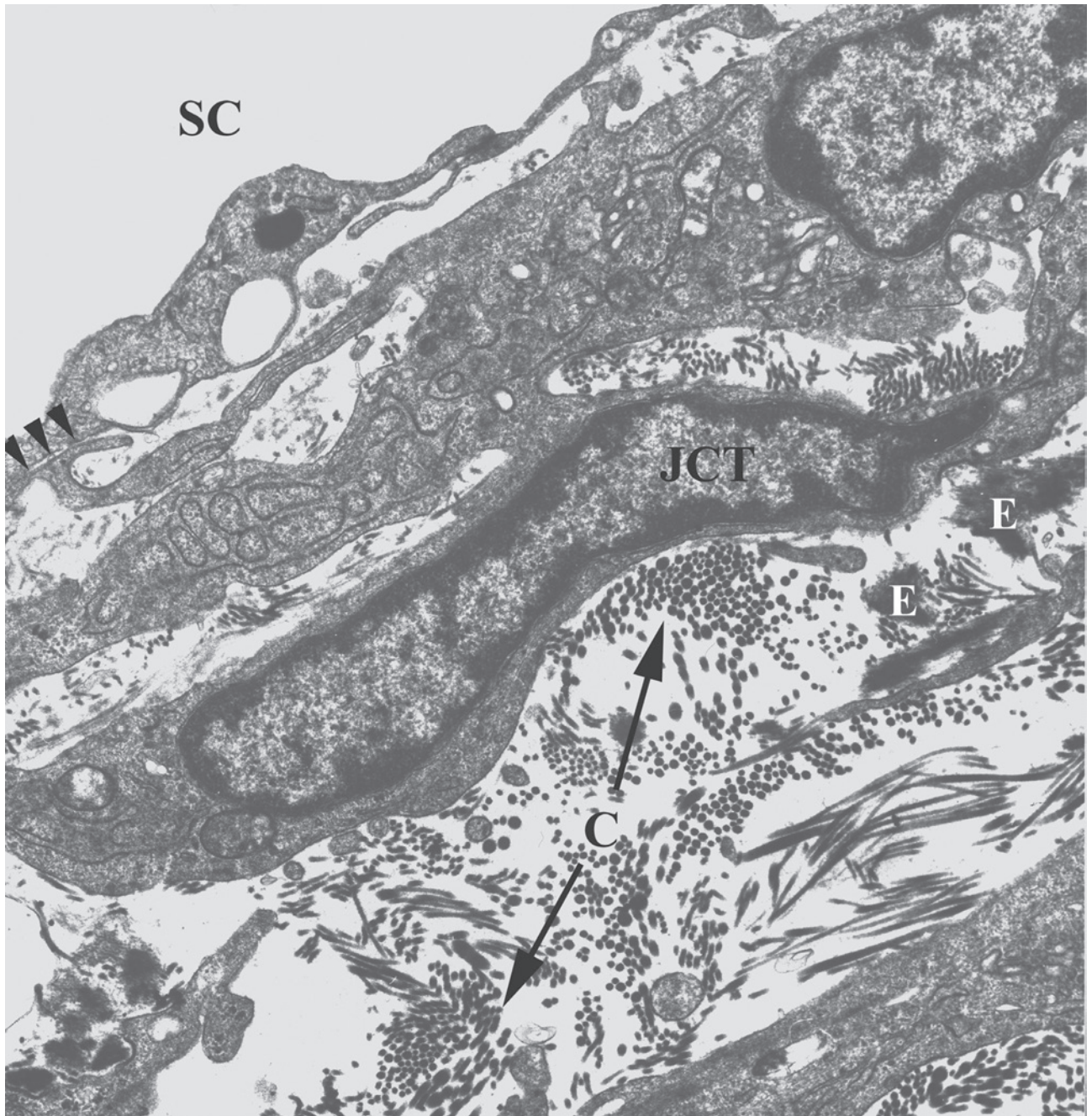


Рис. 1.7. Просвечивающая электронная микроскопия, юстаканаликулярная зона (JCT — juxtacanalicular region). Юстаканаликулярная зона сформирована клетками юстаканаликулярной ткани и матриксом. Клетки юстаканаликулярной ткани не имеют базальной мембраны; их клеточные отростки (отмечены треугольниками) соединяются с эндотелиальными клетками внутренней стенки шлеммова канала (SC — Schlemm's canal) и другими юстаканаликулярными клетками. Матрикс состоит из коллагена (C — collagen) и эластина (E — elastin). Публикуется по [151]

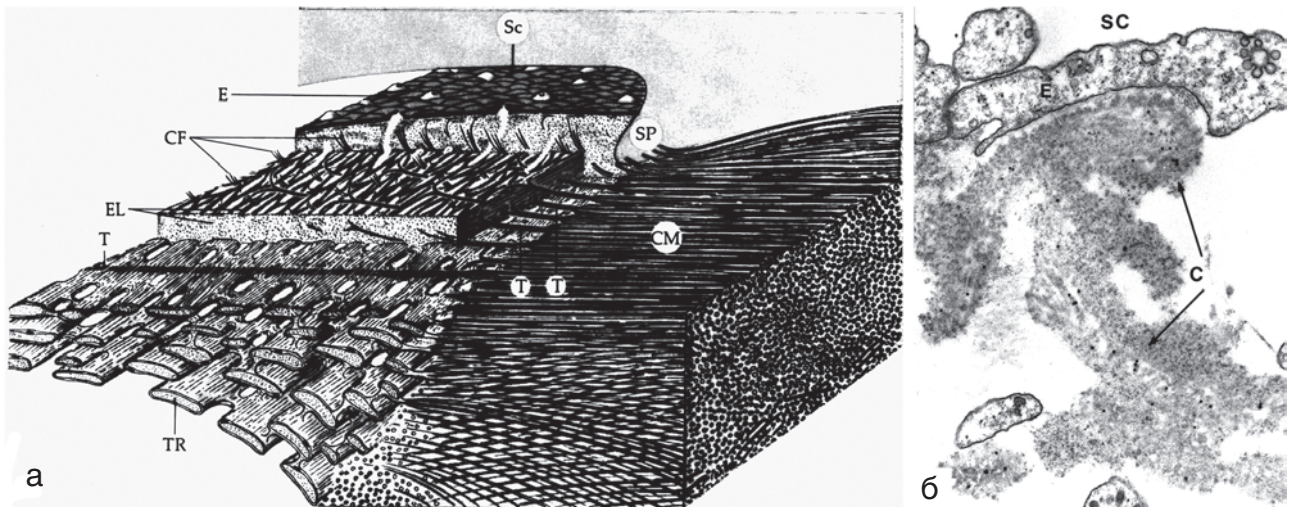


Рис. 1.8. Передние концы сухожилий цилиарной мышцы (Т — tendons) прикрепляются к трабекулярной сети (TR — trabecular meshwork). Сухожилия продольного пучка цилиарной мышцы (CM — ciliary muscle) идут к склеральной шпоре (SP — scleral spur), в самую наружную часть корнеосклеральной трабекулы и в юстаканаликулярную зону, формируя решетчатое сплетение. Соединяющие фибриллы (CF — connecting fibrils) идут от сплетения к эндотелиальным клеткам (E — endothelial cells), выстилающим внутреннюю стенку шлеммова канала (Sc — Schlemm's canal). (a) EL — elastin, эластин. Публикуется по [19]. (б) При иммуноэлектронной микроскопии видна отдельная соединяющая фибрилла [C — connecting fibril], прикрепленная к эндотелию (E — endothelium) внутренней стенки шлеммова канала (SC — Schlemm's canal). Многочисленные черные точки — это эластин, прокрашенный коллоидным золотом, что подтверждает наличие этого белка в соединяющих фибриллах. Публикуется по [20]

выстилка шлеммова канала представляет собой один слой клеток, лежащих на сплошной базальной мембране (см. рис. 1.6, а, и 1.7). Выстилающие канал эндотелиальные клетки имеют удлиненную форму, обычно они ориентированы вдоль продольной оси канала (рис. 1.9). Клетки имеют 71,8–90,2 мкм в длину и 9,7–13,3 мкм в ширину в центральной части, где лежит их ядро; в других частях ширина клетки заметно меньше (3,9–8,0 мкм) [35]. Соседние эндотелиальные клетки накладываются друг на друга и формируют плотные клеточные контакты (рис. 1.10) [36]. При повышении давления в эксперименте наблюдалось уменьшение перекрывания клетками друг друга и снижение числа плотных клеточных контактов [37]. Эндотелиальные клетки внутренней стенки своими клеточными отростками соединены с клетками и матриксом нижележащей юстаканаликулярной ткани [35, 38]. По результатам серии исследований поверхности блока методом сканирующей электронной микроскопии и 3D-реконструкции было описано семь типов соединений между клетками внутренней стенки шлеммова канала и клетками и матриксом юстаканаликулярной ткани (рис. 1.11) [35]. Характерной чертой клеток эндотелия внутренней стенки шлеммова канала является наличие выпячивания, получившего название гигантской вакуоли (giant vacuole; рис. 1.9 и 1.12). Гигантские

вакуоли формируются вследствие давления водянистой влаги на базальную сторону эндотелия внутренней стенки [39]. На гигантские вакуоли оказывает влияние ВГД; они хорошо видны, если препарат внутренней стенки был зафиксирован в условиях активного тока жидкости [40]. В каждой клетке внутренней стенки нередко наблюдается несколько гигантских вакуолей, обычно одной крупной гигантской вакуоли вблизи клеточного ядра сопутствуют несколько гигантских вакуолей меньшего размера, лежащих вдоль длинной оси клетки (рис. 1.9, б) [35]. Водянистая влага попадает в шлеммов канал из юстаканаликулярной ткани и, как считается, выделяется из гигантских вакуолей через маленькие выходные поры (рис. 1.9) [41]. Существует два различных типа пор, они получили название интрацеллюлярных и парацеллюлярных (рис. 1.12) [42]. Интрацеллюлярные поры (I-поры) обычно связаны с гигантскими вакуолями, их средний диаметр составляет около 1 мкм [43]. Парацеллюлярные поры локализуются на границе между двумя прилегающими друг к другу эндотелиальными клетками (B-поры) (англ. border — «граница». — *Примеч. перев.*), где клетки не перекрывают друг друга (рис. 1.13) [35]. Средний диаметр B-пор составляет 1,64 мкм, что немного превышает диаметр I-пор [42]. В ходе проведенных ранее исследований с применением меток было отмечено увеличение плотности

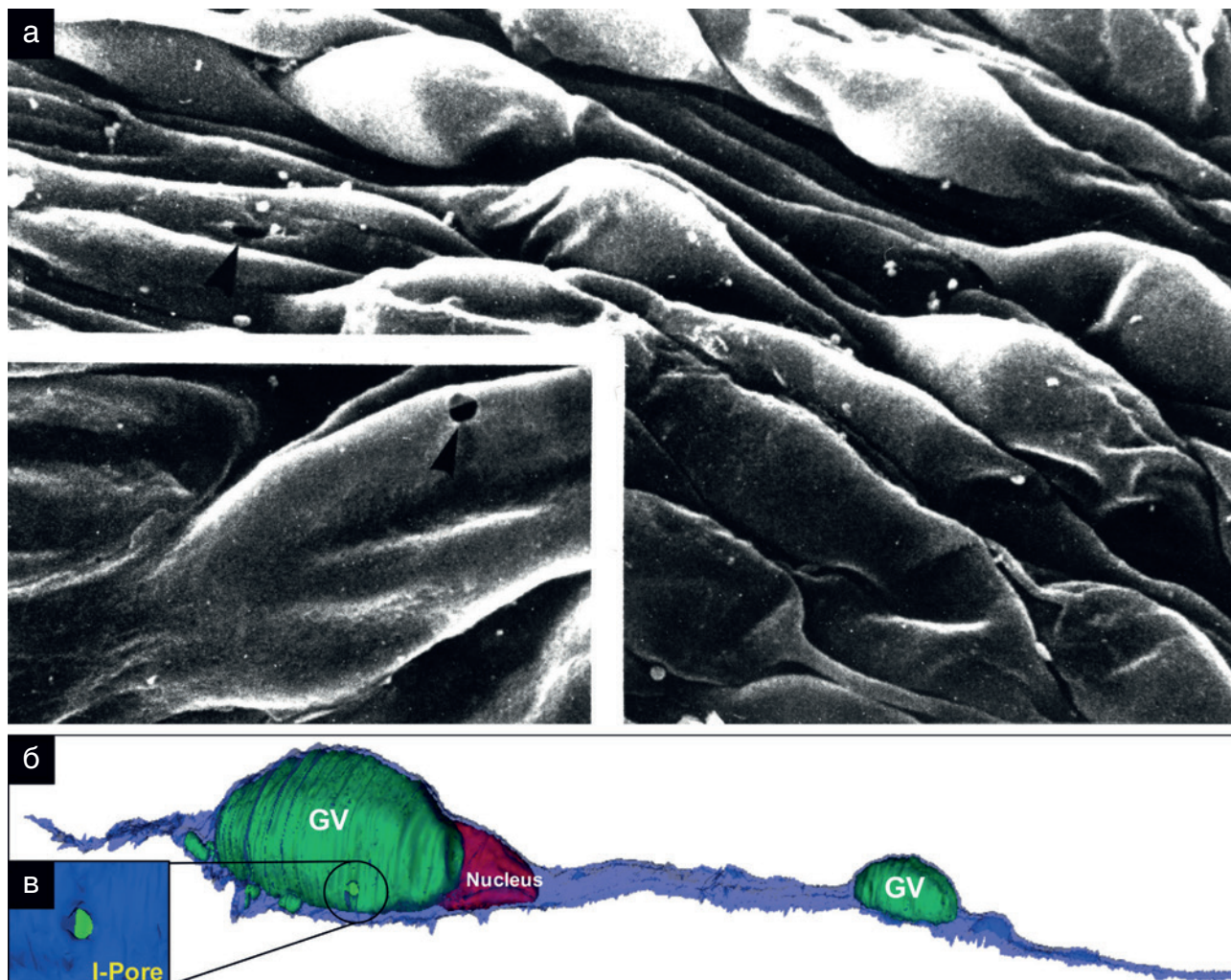


Рис. 1.9. Эндотелиальные клетки внутренней стенки шлеммова канала. (а) Сканирующая электронная микроскопия поверхности внутренней стенки шлеммова канала со стороны его просвета, видны многочисленные выпячивания, содержащие гигантские вакуоли. Визуализируются несколько пор (отмечены треугольниками), одна из них показана под бóльшим увеличением на врезке. Публикуется по Allingham et al. [46]. Врезка публикуется по Gong et al. [151]. (б) 3D-реконструкция эндотелиальной клетки внутренней стенки, видны две гигантские вакуоли (GV — giant vacuole) и пора. Клетка внутренней стенки (синяя), вблизи ядра (nucleus, темно-красное) имеется I-пора (обведена кружком), сообщающаяся с одной или двумя гигантскими вакуолями (зеленая). 3D-реконструкция выполнена на основании серии изображений, полученных при сканирующей электронной микроскопии ультратонкого среза. (в) Реконструкция I-поры, обведенной на рисунке (б) кружком, под бóльшим увеличением. Публикуется по [35]

пор и повышенное накопление флуоресцентных меток вдоль внутренней стенки [44] и вблизи пор как с базальной, так и с апикальной стороны эндотелия внутренней стенки шлеммова канала (рис. 1.14) [45]. Хотя по результатам старых исследований сообщалось, что в здоровых глазах на долю пор приходится приблизительно 10% общего гидродинамического сопротивления [43], гидродинамическое взаимодействие пор внутренней стенки шлеммова канала с лежащей под ними юкстаканаликулярной тканью может значительно увеличивать сопротивление оттоку в этой зоне за счет эффекта воронки, таким образом огра-

ничивать ток жидкости в юкстаканаликулярной ткани только участками вблизи пор внутренней стенки и обуславливать воронкообразный характер потока; следовательно, поры также могут влиять на гидродинамическое сопротивление в этой зоне [26]. В глазах с ПОУГ отмечено снижение плотности пор по сравнению со здоровыми глазами [25, 46]; вероятно, при ПОУГ утрата способности формировать поры может также вносить свой вклад в повышение гидродинамического сопротивления оттоку. Слой неоднородного гликокаликса выстилает стенку шлеммова канала и заполняет большинство пор, через которые во-

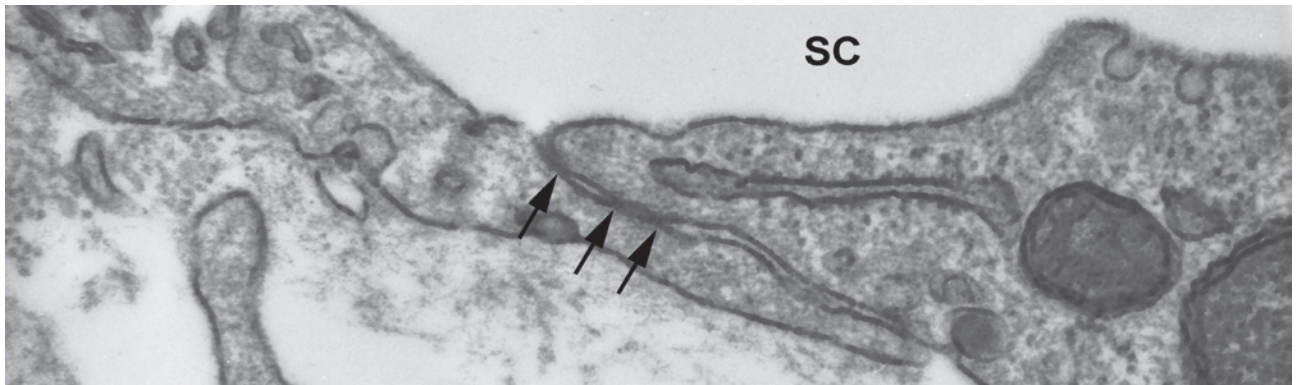


Рис. 1.10. Контакты между прилегающими друг к другу клетками внутренней стенки шлеммова канала (SC — Schlemm's canal). Две соседние эндотелиальные клетки частично перекрывают друг друга и соединяются посредством плотных контактов, выглядящих как точки сращения клеточных мембран двух соседних клеток (отмечены стрелками)

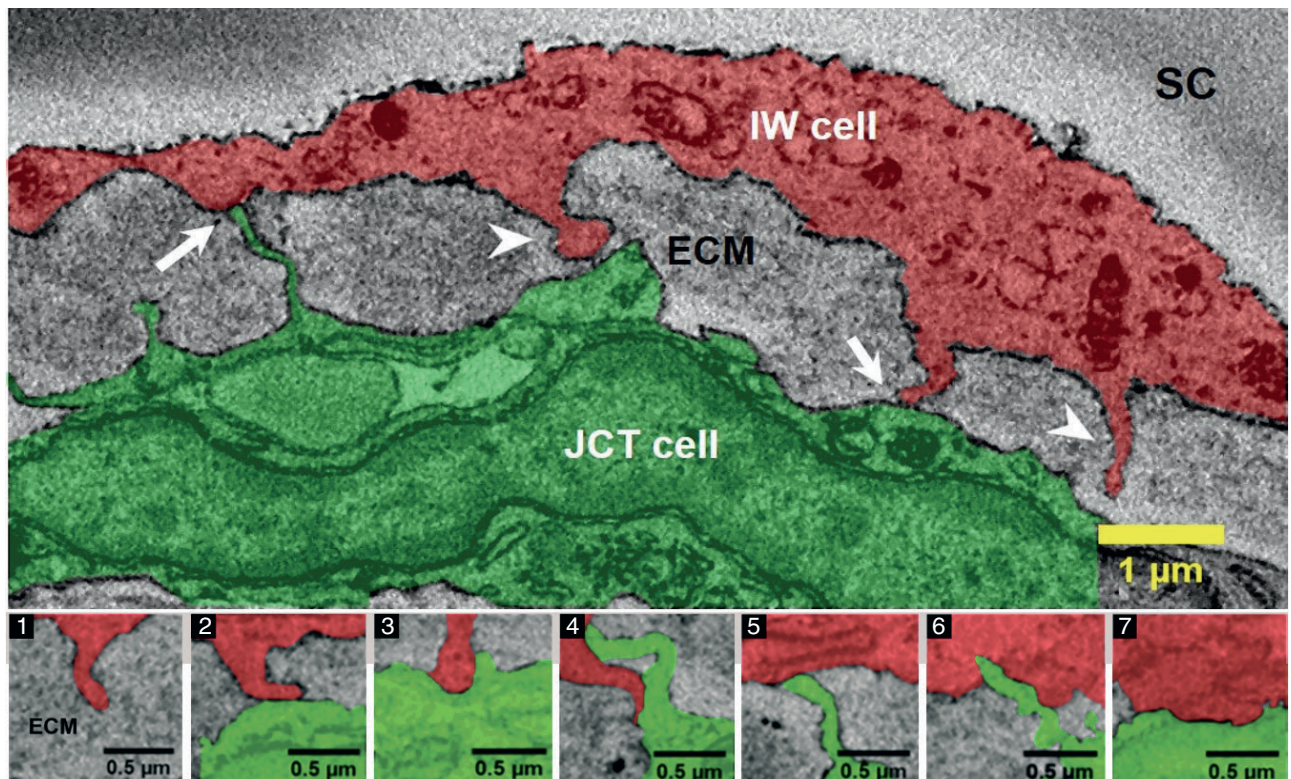


Рис. 1.11. Типы контактов между эндотелиальными клетками (красные) внутренней стенки (IW — inner wall) шлеммова канала (SC — Schlemm's canal), клетками лежащей под ними юстаканаликулярной ткани (зеленые) (JCT — juxtacanalicular connective tissue) и экстрацеллюлярным матриксом (ECM — extracellular matrix). По результатам серии исследований поверхности блока методом сканирующей электронной микроскопии и 3D-реконструкции описано семь типов межклеточных контактов (отмечены стрелками) и контактов клеток с внеклеточным матриксом (отмечены треугольниками) между эндотелиоцитами внутренней стенки шлеммова канала и клетками юстаканаликулярной ткани или внеклеточным матриксом. При первом типе контакта клетка внутренней стенки шлеммова канала вытягивает цитоплазматический отросток в нижележащий внеклеточный матрикс (но не к клеткам юстаканаликулярной ткани); тип 1: отросток клетки внутренней стенки вытянут во внеклеточный матрикс юстаканаликулярной ткани. Типы 2–7 представляют собой контакты между клетками внутренней стенки и юстаканаликулярной ткани; тип 2: отросток эндотелиоцита внутренней стенки тянется к телу клетки юстаканаликулярной ткани; тип 3: отросток эндотелиоцита внутренней стенки входит в бороздку клетки юстаканаликулярной ткани; тип 4: отросток эндотелиоцита внутренней стенки соединяется с отростком клетки юстаканаликулярной ткани; тип 5: отросток клетки юстаканаликулярной ткани соединяется с телом эндотелиоцита внутренней стенки; тип 6: отросток клетки юстаканаликулярной ткани входит в бороздку на теле клетки юстаканаликулярной ткани; тип 7: тело эндотелиоцита внутренней стенки контактирует с телом клетки юстаканаликулярной ткани. Публикуется по [35]