

Серия
«Среднее медицинское образование»



Э. Д. Рубан

**ГЕНЕТИКА
ЧЕЛОВЕКА
С ОСНОВАМИ МЕДИЦИНСКОЙ
ГЕНЕТИКИ**

*Допущено
Министерством образования РФ
в качестве учебника для студентов
образовательных учреждений среднего
профессионального образования*

Издание третье

**Ростов-на-Дону
Феникс
2020**

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ МЕДИЦИНСКОЙ ГЕНЕТИКИ	5
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГЕНЕТИКИ ЧЕЛОВЕКА	11
ГЛАВА 2. ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ	16
2.1. Цитологические основы наследственности. Передача генетического материала	16
2.2. Строение и функции эукариотической клетки	18
2.3. Основные типы деления эукариотической клетки	24
Клеточный цикл	24
2.4. Строение и функции метафазных хромосом человека	27
2.5. Кариотип человека	30
2.6. Генетические механизмы преемственности наследственных свойств	34
Митоз	34
Мейоз. Биологическое значение мейоза	38
2.7. Развитие сперматозоидов и яйцеклеток у человека	44
ГЛАВА 3. БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ	49
3.1. Химическое строение и генетическая роль нуклеиновых кислот	49
3.2. Генетическое определение первичной структуры белков	58
3.3. Функции нуклеиновых кислот	61
3.4. Сохранение информации от поколения к поколению	62
3.5. Гены и их структура	65
3.6. Реализация генетической информации	71
3.7. Генетический код и его свойства	76
ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ. ГЕНЫ В СЕМЬЯХ	81
4.1. Законы наследования признаков у человека	81
Законы независимого наследования	82
4.2. Взаимодействие генов	92
Взаимодействие аллельных генов	92
Взаимодействие неаллельных генов	94

Плейотропное действие генов	96
Пенетрантность и экспрессивность	98
4.3. Хромосомная теория наследственности	99
Типы наследования менделирующих признаков у человека	101
Y-сцепленное, или голандрическое, наследование	111
Неменделевское наследование	111
Генотип и фенотип	113
4.4. Множественные аллели. Наследование групп крови	113
4.5. Хромосомные карты человека	117
Понятие о полигенном наследовании	121
ГЛАВА 5. ГЕНЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ	123
5.1. Понятие о популяции	123
5.2. Частоты аллелей и частоты генотипов	125
5.3. Закон Харди–Вайнберга. Частоты генов в поколении потомков	128
Закон Харди–Вайнберга для доминантных генов	129
5.4. Процессы, нарушающие равновесие частот генов в популяциях человека	131
5.5. Естественный отбор. Приспособленность генотипов и виды отбора	132
Мутационный процесс	133
Миграции населения	135
Дрейф генов	135
Близкородственные браки	137
Генетический полиморфизм популяций как основа наследственной предрасположенности	139
ГЛАВА 6. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И ПАТОЛОГИИ	143
6.1. Клинико-генеалогический метод изучения наследственности человека	143
Составление родословной	144
Гены в семьях. Критерии типов наследования	148
6.2. Близнецовый метод	156
ГЛАВА 7. ВИДЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ВИДЫ МУТАЦИЙ У ЧЕЛОВЕКА. ФАКТОРЫ МУТАГЕНЕЗА	161
7.1. Типы изменчивости	163
7.2. Наследственная изменчивость	165
Причины и сущность мутационной изменчивости	165
7.3. Экзогенные и эндогенные мутагены	169
7.4. Типы мутаций	170
7.5. Динамика генетического груза у человека	174
7.6. Факторы мутагенеза	176

ГЛАВА 8. НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И ПАТОЛОГИЯ	180
8.1. Наследственные болезни и их классификация	180
8.2. Хромосомные болезни. Количественные и структурные аномалии хромосом	183
Количественные и структурные аномалии аутосом	190
Клинико-цитогенетические характеристики наиболее распространенных хромосомных болезней	191
Клинические синдромы при аномалиях половых хромосом	200
8.3. Заболевания, обусловленные структурными аномалиями хромосом	206
8.4. Генные болезни	209
Причины генных заболеваний	209
Аутосомно-доминантные заболевания	213
Аутосомно-рецессивные заболевания	217
Х-сцепленные заболевания	226
8.5. Болезни с наследственной предрасположенностью (БНП)	229
Роль генотипа и среды в проявлении признаков широко распространенных заболеваний	229
Клинико-генеалогические доказательства наследственной предрасположенности болезней	232
Особенности болезней с наследственной предрасположенностью	235
Моногенные и полигенные формы наследственной предрасположенности	237
Изолированные и множественные пороки развития	241
Особенности наследования прерывистых мультифакториальных заболеваний	246
ГЛАВА 9. ДИАГНОСТИКА НАСЛЕДСТВЕННЫХ БОЛЕЗНЕЙ	249
9.1. Принципы клинической диагностики наследственных болезней ...	249
9.2. Дерматоглифический метод	253
9.3. Популяционно-статистический метод. Закон Харди–Вайнберга	255
9.4. Иммуногенетический метод	255
9.5. Лабораторные методы диагностики наследственных болезней ...	257
Цитогенетические методы	258
Молекулярно-цитогенетический метод	263
Биохимические методы	265
Молекулярно-генетические методы	267

ГЛАВА 10. ПРОФИЛАКТИКА И ЛЕЧЕНИЕ НАСЛЕДСТВЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ	273
10.1. Генетические основы профилактики наследственной патологии	273
10.2. Виды профилактики	274
10.3. Организационные формы профилактики	275
Медико-генетическое консультирование	276
Пренатальная диагностика	279
Преимплантационная диагностика	285
Неонатальный скрининг наследственных болезней обмена	287
Периконцепционная профилактика	290
ГЛАВА 11. ЛЕЧЕНИЕ НАСЛЕДСТВЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ	292
11.1. Принципы лечения наследственных болезней	292
Симптоматическое лечение	292
Патогенетическое лечение	293
Этиологическое лечение	297
Хирургическое лечение	298
Особенности ухода за больными с наследственной патологией	299
Словарь генетических терминов	301
Литература	314



Глава 1

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГЕНЕТИКИ ЧЕЛОВЕКА

Наследственность как свойство всех организмов интересовала людей с древних времен. Но только в XIX в. это явление стали объективно изучать. Первый действительно научный вклад в понимание механизмов наследования признаков внес австрийский исследователь Грегор Иоганн Мендель. Его можно считать основателем научной генетики. В 1866 г. Г. Мендель опубликовал результаты экспериментов, проводимых на горохе огородной, в которых показал, что наследственность передается через половые клетки *в виде дискретных факторов* от одного поколения к другому, не смешиваясь и не растворяясь. Свои выводы он представил в знаменитой статье «Опыты над растительными гибридами». Опыты Менделя и сделанные из них выводы заложили основу концепции гена, которая сохраняет свое ведущее значение до настоящего времени. Эти законы оставались незамеченными большинством современников, их заново открыли и приняли только в 1900 г. трое ботаников: Х. де Фриз из Голландии, К. Корренс из Германии, Э. Чермак из Австрии. Этот год и считается годом рождения генетики как науки.

Еще в трудах Гиппократов, знаменитого древнегреческого врача, отмечалась закономерность передачи заболеваний по наследству.

Во второй половине XIX в. дальнейшее развитие науки привело к формированию нового взгляда на природу человека и его заболеваний. Утвердилось понятие о патологической наследственности у человека, появились работы, описывающие наследственные заболевания, передающиеся в нескольких поколениях. В работе английского врача Д. Адамса «Трактат о предполагаемых наследственных свойствах болезней» указывается, что наследственная патология

обнаруживается не сразу после рождения, но может развиваться в любом возрасте, на возникновение наследственной патологии могут оказывать влияние внешние факторы.

В России в середине XIX в. над проблемами наследственных болезней человека работал В.М. Флоринский, который указывал на значение среды в формировании наследственных признаков, вред близкородственных браков, наследственный характер пороков развития, глухонмоты, альбинизма и др. В конце XIX в. высказал такие же понятия английский биолог Ф. Гальтон.

В 1900 г. К. Ландштейнер описал систему групп крови АВ0, наследование которых подтвердилось работами фон Дунгерна и Гиршфельда. В 1924 г. Ф. Бернштейном установлено, что система групп крови АВ0 контролируется серией множественных аллелей одного локуса. Затем в первом десятилетии XX в. было обнаружено наследование нарушений обмена веществ. Английский врач А. Гэррод в 1902 г. опубликовал статью «Распространенность алкаптонурии: изучение химических особенностей». В своей работе он сделал вывод, что нарушение обмена веществ наследуется соответственно законам Менделя. Гэрродом было создано новое научное направление — *биохимическая генетика* человека. В настоящее время выделено более 800 форм наследственных дефектов обмена, разработаны методы их диагностики, а для некоторых из этих заболеваний — эффективные способы лечения. В 1908 г. Г. Харди и В. Вайнберг независимо друг от друга пришли к выводу, что законы Менделя дают возможность объяснить распределение частоты генов из поколения в поколение в популяциях.

К концу XIX в. были открыты хромосомы, изучены митоз и мейоз. После переоткрытия законов Менделя при сопоставлении его выводов и особенностей распределения хромосом в мейозе было установлено, что именно *хромосомы являются носителями наследственной информации* (обоснование хромосомной теории наследственности 1910–1920 гг.).

В 1919 г. организована кафедра генетики в Петроградском университете Ю.А. Филипченко, а в это же время Н.И. Вавилов сформулировал важнейший генетический закон —

о генетических основах селекции и закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. В 20-е гг. XX в. в результате менделевской теории была преувеличена роль наследственности в формировании наследственной отягощенности. Появились евгенические идеи об обреченности и вырождении семей с наследственной патологией. Евгеника ставила своей целью освобождение человечества от людей с наследственной патологией. Такие идеи быстро распространились более чем в 30 странах и приняли форму жестких законов о стерилизации лиц, родивших детей с наследственной патологией. С 1907 до 1960 г. в США было насильственно стерилизовано более 100 000 человек, в Германии за год стерилизовано 80 000 человек.

В 1944 г. было установлено, что передача наследственной информации связана с ДНК. В 1953 г. Дж. Уотсоном и Ф. Криком были созданы модели макромолекулярной структуры ДНК. С этого времени началось углубленное изучение *молекулярной, биохимической и иммуногенетики* человека.

С 1956 г. берет начало еще одно научное направление — *цитогенетика*, т. е. изучение хромосом, когда Тио и Леван, а также Форд и Хамертон независимо друг от друга установили, что число хромосом у человека равно 46, а в 1959 г. была открыта хромосомная природа болезней.

К настоящему времени обнаружено около 1 000 вариантов патологических изменений хромосом у человека и уже возможна ДНК-диагностика более 100 наследственных патологий. В расчете на 1000 новорожденных эти заболевания встречаются у 6–7 детей.

Основоположником клинической генетики в России признан выдающийся врач-невропатолог С.Н. Давиденков. В 1930 г. в г. Москве был организован Медико-биологический институт, который был вскоре закрыт в связи с приходом к власти в биологической науке Т.Д. Лысенко. После разоблачения учения Лысенко с 1964 г. началось возрождение медицинской генетики. Был издан учебник по медицинской генетике, в 1969 г. воссоздан Институт медицинской генетики, где начались исследования по многим направлениям

медицинской генетики под руководством академика Н.П. Бочкова. Активное участие в возрождении медицинской генетики приняли генетики и ученые: В.Д. Тимаков, С.Н. Давиденков, А.Ф. Захаров, Е.Ф. Давиденкова, А.А. Прокофьева-Бельговская, С.А. Нейфах, Е.Е. Погосянц и многие другие.

В настоящее время одним из основных методов профилактики наследственной и врожденной патологии является *медико-генетическое консультирование*, которое дает возможность пациенту и его семье получить необходимые сведения о способах предупреждения заболевания, его течении, вероятности повторения его у потомков. Категорически запрещается насильственная стерилизация и любое другое вмешательство, нарушающее права человека. Решение о дальнейшем деторождении семья принимает самостоятельно. Первая медико-генетическая консультация была организована в 1929 г. в Институте нервно-психической профилактики в Ленинграде профессором С.Н. Давиденковым, который изучал наследственные болезни нервной системы, разрабатывал основы медико-генетического консультирования.

Профилактика наследственных болезней: медико-генетическое консультирование, пренатальная диагностика, массовая диагностика у новорожденных наследственных болезней обмена, поддающихся диетической и лекарственной коррекции, диспансеризация больных и членов их семей. Внедрение этой системы обеспечивает снижение частоты рождения детей с врожденными пороками развития и наследственными болезнями на 60–70%.

Медицинская сестра, фельдшер и акушерка вместе с врачом могут активно участвовать в реализации достижений медицинской генетики на практике ради счастливой семьи со здоровым потомством. Для активного участия в вопросах и решениях, принимаемых семьей, медицинский работник должен иметь хорошую клинико-генетическую подготовку.

Высокий уровень подготовки специалистов в медицинских колледжах предполагает теперь и хорошее знание медицинской генетики.



Контрольные вопросы и задания

1. Что изучает медицинская генетика?
2. Какова связь медицинской генетики с другими дисциплинами?
3. В чем состоит суть явлений наследственности и изменчивости?
4. Назовите достижения медицинской генетики.
5. Кто является объектом изучения клинической генетики?



Глава 2

ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

2.1. Цитологические основы наследственности. Передача генетического материала

Клетка является основой строения любого организма, а при размножении — связующим звеном двух поколений. Клетки разных организмов и в разных тканях очень разнообразны по размеру, форме, строению и функциям, однако общая схема строения клетки одинакова.

Первое описание клеток было сделано в 1665 г. англичанином Р. Гуком. Ботаник М. Шлейден и зоолог Т. Шванн объединили идеи разных ученых и сформулировали «клеточную теорию». В 1855 г. Р. Вирхов расширил эту теорию, провозгласив — «каждая клетка из клетки». Признание непрерывности живого побудило ученых второй половины XIX в. заняться исследованием строения клетки и механизмов клеточного деления. С этого времени накопилось огромное количество сведений о структуре и функциях клеток у различных живых организмов, а позже, в XX в. была создана современная *клеточная теория*.

Современная клеточная теория включает следующие положения.

Клетка представляет собой самовоспроизводящуюся химическую систему. Для того чтобы поддерживать в себе необходимую концентрацию химических веществ, эта система должна быть физически отделена от своего окружения и вместе с тем она должна обладать способностью к обмену с этим окружением, т. е. способностью поглощать вещества, которые

требуются ей в качестве «сырья», и выводить наружу накапливающиеся «отходы».

Клетка — элементарная единица развития живого организма. Каждая новая клетка образуется в результате деления исходной клетки. Все живые организмы развиваются из одной или группы клеток.

Клетка — это структурная, функциональная и генетическая единица живых организмов. Все живые организмы, кроме вирусов и фагов, состоят из клеток. Клетки одноклеточных и многоклеточных животных и растительных организмов сходны по строению, химическому составу, принципам жизнедеятельности. Клетки, как правило, имеют очень маленькие размеры, в среднем от 0,01 до 0,1 мм.

Клетка — функциональная единица в многоклеточном организме. В нем клетки специализируются на выполнении определенных функций, объединены в ткани и органы, функционально связанные системы. Различают *соматические* клетки — клетки тела (от лат. *soma* — тело) и *генеративные*, т. е. половые клетки (от лат. *generatio* — зарождение). Все живые организмы благодаря присущему им первичному свойству наследственности сохраняют в ряду поколений характерные для них черты, т. е. воспроизводят себе подобных и передают эту преемственность из поколения в поколение в процессе размножения.

Клетка — это живая элементарная система, способная к самообновлению, саморегуляции и самовоспроизведению.

В зависимости от структурных особенностей клетки делятся на *прокариотические* и *эукариотические*. Прокариотические организмы (в переводе с греческого — «предъядерные») — это бактерии и сине-зеленые водоросли. Основной их особенностью является отсутствие оформленного ядра. Генетический материал прокариот представлен одной молекулой ДНК, замкнутой в кольцо. В таких клетках отсутствуют органоиды, имеющие мембранное строение.

Более высокоорганизованные живые организмы, такие как грибы, растения, животные, в том числе и человек, имеют в своем составе эукариотические клетки. Их особенностью

является наличие ядра с ядерной оболочкой и цитоплазмы с органоидами.

2.2. Строение и функции эукариотической клетки

Все клетки имеют оболочку — *клеточную мембрану*, которая отделяет клетку от окружающей среды. Она состоит из двойного слоя липидных молекул, гидрофильные части которых обращены к внешним сторонам, а гидрофобные участки — внутрь. Там же могут располагаться молекулы белков — либо на внешней, либо на внутренней поверхности мембраны, либо они пронизывают ее насквозь. Кроме того, в мембранах имеются также углеводы в виде гликопротеинов или гликолипидов.

Клеточные мембраны играют важную роль по ряду причин. Они отделяют клеточное содержимое от внешней среды, регулируют обмен между клеткой и средой, обеспечивают постоянство внутриклеточного состава и делят клетки на отсеки, или компартменты, предназначенные для тех или иных специализированных метаболических путей.

Обладая избирательной проницаемостью, мембрана ограничивает или полностью исключает доступ в клетку одних веществ и пропускает другие. Данная структура сохраняет форму клетки, защищает ее от повреждений. Помимо того, она участвует в формировании контактов с другими клетками. Различные молекулярные частицы перемещаются через мембрану путем активного или пассивного транспорта.

Пассивный транспорт не требует затрат энергии и осуществляется путем простой диффузии, осмоса или с помощью белков-переносчиков.

Активный транспорт — это сопряженный с потреблением энергии перенос молекул или ионов через мембрану против градиентов концентрации с использованием запасов энергии. В клетках между двумя сторонами поддерживается разность электрического заряда. Поэтому катионы (положительно заряженные ионы) обычно стремятся в клетку, тогда как анионы клеткой отталкиваются. Во внеклеточных и внутриклеточ-

ных жидкостях из ионов преобладают ионы натрия, ионы калия и хлорид-ионы. У большей части клеток в плазматической мембране действует натрий-калиевый насос, активно выкачивающий натрий из клетки и активно поглощающий ионы калия из внешней среды и переносящий их в клетку.

Каждая клетка (рис. 2.1) состоит из *ядра*, одного или нескольких ядрышек и *цитоплазмы*, которые вместе образуют *протоплазму*. Внутреннее содержимое клетки — *цитоплазма* — сложноорганизованная система. Она состоит из водянистого основного вещества и находящихся в нем разнообразных структур. Цитоплазма составляет основную массу клетки. Основное вещество — это бесцветная коллоидная масса, включающая водный раствор неорганических и органических веществ и способная менять свою вязкость. Она называется *гиалоплазмой* или *матриксом*. В основном веществе протекают многие биохимические процессы, оно обеспечивает взаимосвязь между отдельными структурами клетки. Гиалоплазма состоит из коллоидного раствора белков: вода — 85%, белки — 10 и другие соединения — 5%.

Кроме гиалоплазмы цитоплазма содержит включения и органоиды. *Включения* не являются обязательным компонентом, поскольку представляют собой различные продукты метаболизма (жиры, белки, кристаллы солей мочевой кислоты, пигментные зерна и т. д.).

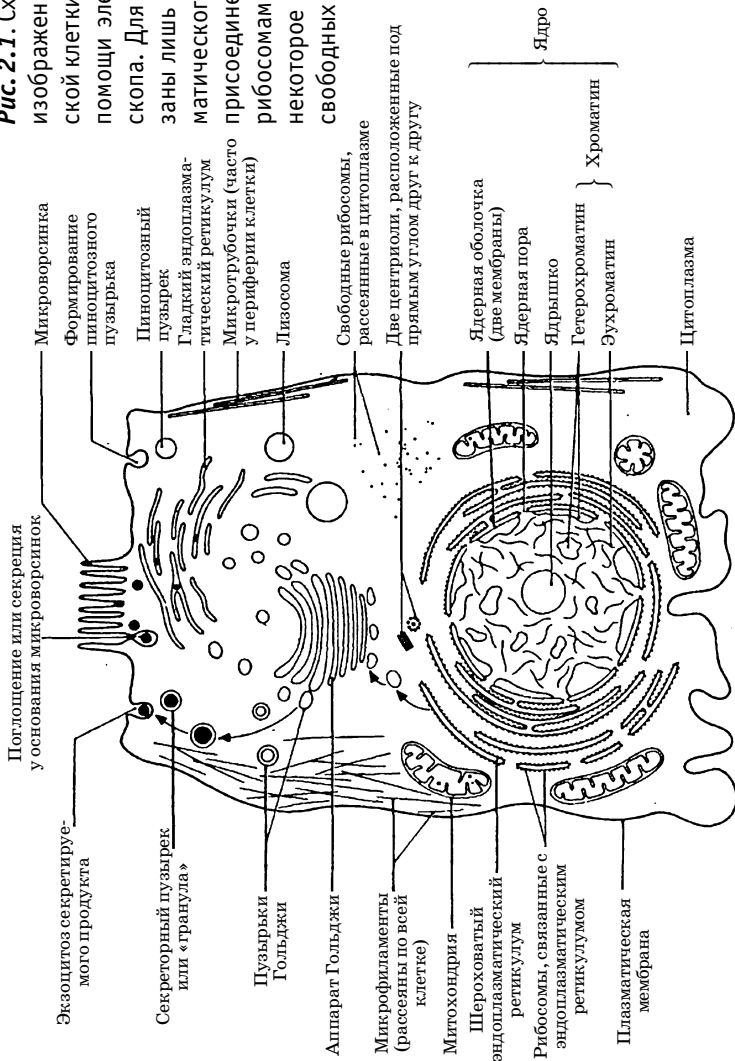
Органоиды — постоянные компоненты клетки, выполняющие свои специфические функции. К ним относятся: эндоплазматический ретикулум (сеть), митохондрии, рибосомы, лизосомы, пероксисомы, пластинчатый аппарат Гольджи, микротрубочки и микрофиламенты, промежуточные филаменты, микроворсинки и центросома.

Эндоплазматический ретикулум — пластинчатые структуры или мембраны, которые образуют сложную систему плоских разветвленных каналов, пронизывающих цитоплазму.

Митохондрии — самые крупные органоиды клетки, имеющие сферическое или палочковидное образование сложной структуры. Они содержатся во всех аэробных эукариотических клетках, состоят из матрикса, окруженного внутренней

Рис. 2.1. Схематическое

изображение эукариотической клетки, выявляемое при помощи электронного микроскопа. Для простоты показаны лишь часть эндоплазматического ретикулума с присоединенными к нему рибосомами и лишь некоторое количество свободных рибосом



мембраной, межмембранного пространства и наружных мембран. Наружный слой матрикса — основное гомогенное или тонкозернистое вещество клетки, заполняющее внутриклеточное пространство между органеллами. В матриксе содержатся кольцевидные молекулы ДНК, специфические РНК, свои рибосомы, различные ферменты, гранулы солей кальция и магния. Мембраны состоят из белков и фосфолипидов. Митохондрии способны к самовоспроизведению. В митохондриях за счет окислительно-восстановительных процессов вырабатывается энергия, которая накапливается в виде молекул аденозинтрифосфата. Главную функцию митохондрий составляет аэробное клеточное дыхание (использование клеткой кислорода).

Рибосомы — сложноорганизованные субмикроскопические гранулы, расположенные на мембранах эндоплазматической сети или свободно в цитоплазме. Каждая рибосома состоит из двух субчастиц — большой и малой. Они являются самыми многочисленными органоидами клетки. Рибосомы могут быть единичными или объединенными в комплексы (цепи) — *полирибосомы*. В их состав входят белки и высокомолекулярные РНК примерно в равном соотношении. Функцией рибосом является синтез белков организма.

В аппарате Гольджи, или *пластинчатом комплексе*, имеется до 20 уплощенных дисковидных мембранных полостей и оторвавшиеся от них микропузырьки. В этих полостях накапливаются различные продукты клеточного обмена и поступающие извне вещества. Функцию аппарата Гольджи составляют транспорт веществ и химическая модификация поступающих в него клеточных продуктов. В его петлях происходит концентрация веществ в капли или гранулы, которые затем выводятся за пределы клетки.

В цитоплазме клетки содержатся *лизосомы*. Они имеют вид мешочков, покрытых мембраной, содержат ферменты, расщепляющие нуклеиновые кислоты, белки, полисахариды. Лизосомы являются «пищеварительной системой» клетки. В случае разрушения мембраны лизосомы могут переваривать

и содержимое цитоплазмы клетки — автолизис (самопереваривание).

Микротрубочки и микрофиламенты — очень тонкие полые цилиндрические трубочки, стенки которых построены из спирально упакованных глобулярных субъединиц белка. Располагаясь вдоль всей цитоплазмы клеток, они формируют цитоскелет, принимают участие в различных внутриклеточных процессах.

Пероксисомы клетки представляют собой тельца овальной формы, ограниченные мембраной и расположенные на обеих сторонах ретикулула. Внутри пероксисом содержится гранулярный матрикс, в центре которого находятся кристаллоподобные структуры, состоящие из фибрилл и трубок. Содержимое пероксисом — ферменты окисления аминокислот и каталаза. При метаболизме аминокислот образуется перекись водорода H_2O_2 , которая разрушается каталазой. Каталаза пероксисом выполняет защитную функцию, так как H_2O_2 является токсичным для клетки соединением.

Центросома, или «клеточный центр», обычно располагается в центре клетки или рядом с ядром. Она состоит из двух *центриолой*, перпендикулярных друг к другу и расположенных в организованном участке цитоплазмы. Центросома участвует в процессе деления клетки, создавая веретено деления.

В цитоплазме клетки непрерывно происходит обмен веществ, приводящий к самообновлению белков и других химических веществ. Это достаточно быстрый процесс. Например, в клетках печени за 4–5 суток половина белковых молекул может заменяться новыми.

Биохимические методы показывают, что если отделить ядро и все органоиды клетки от цитоплазмы, то в ней останутся ферменты, которые ускоряют реакции обмена. Но все же полный обмен веществ происходит только в случае взаимодействия цитоплазмы с другими компонентами клетки. С генетической точки зрения биохимию цитоплазмы и ее строение необходимо рассматривать в свете ядерно-цитоплазматических взаимоотношений, т. е. взаимовлияния компонентов цитоплаз-