

В. А. ШОЛОХОВ

### МОРФОЛОГИЯ ВСАСЫВАНИЯ ЖЕЛЕЗА У ПЛАНАРИЙ

(Представлено академиком Л. А. Орбели 16 VII 1946)

Настоящая работа является морфологическим исследованием процессов всасывания и распределения белковых веществ в условиях эксперимента. В качестве индикатора отложения белковых веществ берется железо, которое до переваривания находится в тесной химической связи с белками пищи и при переваривании отщепляется и перемещается с продуктами переваривания белков из клеток кишечника дальше. Такой метод применим в том случае, если связанное с белком железо является безвредным для организма. Используя обычные химические реакции на обнаружение железа, можно по перемещению его в организме следить за распределением и конечной судьбой белков. В качестве объекта исследования взяты ресничные черви вида *Pölycelis nigra*, у которых переваривание пищи происходит внутриклеточно.

Ряд авторов (1-6) на беспозвоночных других типов исследовали всасывание железа, применяя для этой цели препарат — сахарат железа. Главная задача этих исследований заключалась в изучении тех отделов кишечника, которые при нормальном переваривании резорбируют пищу. Преследуя эту узкую задачу, большинство авторов не наблюдали дальнейшего перемещения железа из клеток кишечника в другие органы животных. Можно думать, что сахарат железа для этой цели является непригодным. Кроме того, мы знаем (7), что сахарат железа является непостоянным по своим физико-химическим свойствам. Этот препарат не может употребляться как верный индикатор для исследования физиологии питания и движения в организме принятых веществ. Из факта, что он принимается и откладывается в определенных клетках, еще нельзя заключить о нормальных физиологических процессах — эти процессы можно рассматривать лишь как некоторую несовершенную модель нормального процесса переваривания.

Для изучения поставленной задачи — по перемещению железа в организме проследить движение белковых тел — были испытаны гемоглобин крови лошади и препарат железа — ферратин. Оба препарата абсолютно безвредны для планарий и являются по своей природе белковыми телами, близкими к продуктам нормального питания этих животных.

Применяя для исследования ферратин и гемоглобин, мы рассчитывали, что в результате переваривания железа вместе с продуктами переваривания белков будет отщепляться и перемещаться из клеток кишечника в клетки других органов, где его можно будет обнаружить простыми гисто-химическими методами.

Выдержанные предварительно без пищи в течение 15 дней черви

в одних сериях опытов кормились плазмой крови, предварительно смешанной с раствором ферратина, в других — гемоглобином крови лошади. Фиксация — в нейтральном формалине через определенные сроки после кормления. Всего исследовано 250 животных. На обнаружение железа — реакция на срезах на образование берлинской лазури и турбуленовой сини. Окраска квасцовым кармином.

На срезах контрольных животных железа не было обнаружено.

Опыты с ферратинном. При кормлении плазмой, смешанной с раствором ферратина, захваченная животными пища из полости кишечника сейчас же начинает всасываться пищеварительными клетками кишечника. На стадии 30 минут после кормления в полости кишечника еще остается значительное количество невсосанной пищи. Но уже на этой стадии в протоплазме пищеварительных клеток появляются своеобразные „шары“. Они возникают и при кормлении чистой плазмой без прибавления ферратина. Происхождение их таково. Известно, что застывшая кровяная плазма, которой в наших опытах кормились планарии, не содержит твердых хлопьев, которые пищеварительные клетки могли бы фагоцитировать. Действительно, полости разветвленной кишки никаких твердых элементов не содержат. Очевидно, в подобных опытах планарии поглощают жидкие части свернувшейся плазмы. Вососанные белки сыворотки испытывают внутри клеток конденсацию и образуют полутвердые шарообразные глыбы, на фиксированных препаратах часто лежащие в вакуолях. После реакции на железо эти „шары“ дают синее окрашивание. Синее окрашивание „шаров“ показывает, что они содержат железо ферратина, откуда следует, что ферратин и белки сыворотки конденсируются и отлагаются в одних и тех же образованиях.

Внутри такого „шара“ происходит переваривание белка, в результате чего железо ферратина обособляется в виде гранул, лежащих как в самих „шарах“, так и вне их. Другая часть железа остается с белками и поступает из клеток кишечника дальше в организм.

На стадии 3 час. после кормления вся плазма из полости кишечника оказывается всосанной пищеварительными клетками, которые в результате этого значительно увеличились в своем объеме и заполняют полость кишечника. Вся основная масса протоплазмы клеток заполнена „шарами“ различных размеров, иногда превышающих величину ядер этих клеток. После реакции на железо все „шары“ обнаруживают синюю окраску и, кроме того, значительное количество темносиних гранул железа (рис. 1).

На стадии 6, 12 и 18 час. после кормления пищеварительные клетки также содержат „шары“, но на этих стадиях можно обнаружить наметившиеся два способа переваривания. Первый способ характеризуется наиболее интенсивно идущими процессами переваривания в апикальной части пищеварительных клеток. Другой способ переваривания заключается в том, что интенсивность переваривания во всех частях клеток приблизительно одинакова.

К 48 час. после кормления процесс переваривания завершается. С окончанием переваривания пищеварительные клетки уменьшаются в своих размерах до обычной величины клеток контрольных животных.

Мы видим, что значительная часть железа ферратина в результате переваривания отщепляется и конденсируется в виде гранул в пищеварительных клетках и выбрасывается в полость кишечника. Другая, меньшая часть железа вместе с продуктами переваривания белков из клеток кишечника перемещается дальше. Это перемещенное железо обнаруживается в виде гранул в соединительнотканых клетках глотки. Отложение железа в клетках глотки обычно наблюдается в период от 24 до 48 час. после кормления.

Опыты с гемоглобином. На стадии 1, 3 и 6 час. после кормления полость кишки большинства животных содержит значительные количества невсосанного пищеварительными клетками гемоглобина. Однако к 12 час. после кормления полость кишки бывает свободна от гемоглобина. Всосанный пищеварительными клетками гемоглобин откладывается также в виде «шаров», подобно тому как откладывается плазма, смешанная с ферратином. Начиная со стадии 12 час. после кормления идет интенсивный процесс переваривания, во время которого расщепляется молекула гемоглобина и появляется обнаруживаемое указанными методами железо. После реакции на железо «шары» гемоглобина показывают зеленое окрашивание. Одновременно с этим наблюдается постепенное уменьшение размеров «шаров». Процесс переваривания может продолжаться свыше 96 час. после подкорма.

Отщепленное в результате переваривания железо, кроме диффузного пропитывания «шаров» гемоглобина, может иногда также конденсироваться в гранулах внутри «шаров». Основная масса отщепившегося железа, как показывает реакция, вместе с другими продуктами переваривания белков всасывается из клеток кишечника и отлагается в форме гранул и иногда диффузно в клетках тела планарий. По количеству обнаруженного железа в клетках мы можем судить об интенсивности переваривания. Железо может откладываться в клетках различных органов. Наиболее интенсивный процесс переваривания коррелируется с быстрыми процессами всасывания и отложения железа в клетках следующих органов планарий: в цитоплазме соединительнотканых клеток глотки, в гранулах желточных клеток, в отдельных клетках паренхимы, в цитоплазме базальной части пищеварительных клеток и в «белковых» клетках кишечника.

При медленном переваривании гемоглобина отщепляется меньшее количество железа и, следовательно, меньшее количество его всасывается организмом. В этом случае оно может откладываться в небольшом количестве только в соединительнотканых клетках глотки и иногда в гранулах желточных клеток.

В соединительнотканых клетках глотки железо всегда встречается отложенным в форме гранул. Гранулы в них располагаются вблизи ядер клеток группами, заключенными в особую вакуоль, имеющую ясно заметную стенку, и отдельными зернами, разбросанными в цитоплазме клеток (рис. 2). В желточных клетках железо концентрируется в имеющихся в этих клетках гранулах, пропитывая их диффузно. После реакции на железо эти гранулы приобретают синий оттенок, который наиболее четко выражен по поверхности последних. Иногда можно заметить отложение железа также в ядрах желточных клеток, причем железо откладывается здесь в виде зерен между глыбками хроматина. Сами хроматиновые глыбки железом не пропитываются (рис. 3), и только при плохой фиксации можно видеть диффузное пропитывание всего ядра. В отдельных клетках паренхимы железо откладывается в форме гранул, располагающихся в цитоплазме, а также и в ядрах, что случается при весьма интенсивном про-

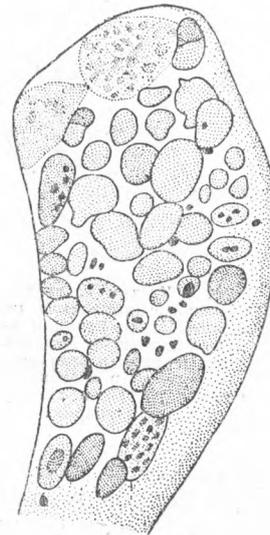


Рис. 1 Эпителиальная клетка из кишечника планарии после кормления плазмой крови с прибавлением ферратина. Реакция на обнаружение железа большие глыбы поглощенного белка синие. Внутри и вне глыб темносиние гранулы.  
Стадия—3 часа после кормления планарии

цессе переваривания. В этих же случаях железо может диффузно пропитывать базальную часть пищеварительных клеток и гранулы белковых клеток кишечника.

Исследуя распределение железа в организме планарий, мы предполагаем, что вместе с железом, отщепившемся в процессе переваривания гемоглобина и ферратина, распределяются и продукты переваривания белков. Для подтверждения этого была проведена реакция

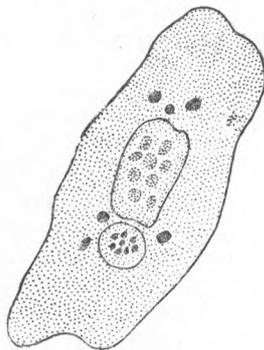


Рис. 2. Клетки из глотки планарии после кормления планарии гемоглобином. Реакция на обнаружение железа. Вакуоль с синими зернами и отдельные синие гранулы в протоплазме. Стадия — 20 час. после кормления планарии.

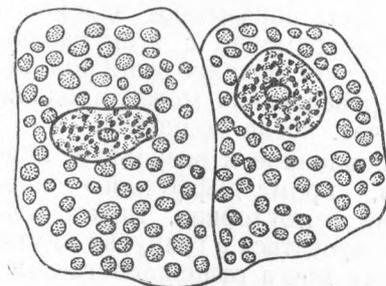


Рис. 3. Желточные клетки планарии после кормления планарии гемоглобином. Реакция на обнаружение железа. Гранулы клеток синие с наиболее интенсивным окрашиванием по поверхности. В ядре между глыбками хроматина синие зерна. Стадия — 15 час. после кормления

Абдерхальдена (опыты Б. В. Кедровского), при которой продукты распада белков и сами белки обнаруживают интенсивно синее окрашивание. В теле очень маленьких планарий интенсивно синее окрашивание после реакции Абдерхальдена показывают следующие органы планарий: глотка, клетки желточника и пищеварительные клетки, т. е. те органы, в которых всегда откладывается железо после кормления планарий гемоглобином.

Итак, и при применении ферратина и при применении гемоглобина железо откладывается в глотке, кроме того, при гемоглобине и в других органах. Реакция Абдерхальдена показывает также накопление продуктов переваривания белков в тех же органах.

Таким образом, можно говорить, что железо поступает туда же, куда поступают белковые вещества. Следовательно, по движению железа в организме мы действительно можем следить за перемещением белков, как это было предположено в введении. Этот метод вполне применим для изучения движения белков в теле и других животных, но при обязательном условии применения в качестве контроля гистохимической реакции на сами белки.

Институт цитологии, гистологии  
и эмбриологии Академии Наук  
СССР

Поступило  
16 VII 1946

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> G. C. Hirsch, *Z. vergleich. Physiol.*, 2, H. I (1924). <sup>2</sup> К. Богоявленский, *Русск. зоол. журн.*, 5, в. 3 (1925). <sup>3</sup> E. Ries, *Z. vergleich. Physiol.*, 23, H. I (1936). <sup>4</sup> P. B. Weel, *Pubbl. della Stazione Zoologica di Napoli*, 16, F. 2 (1937). <sup>5</sup> G. C. Hirsch u. L. H. Bretschneider, *Protoplasma*, 29 (1938). <sup>6</sup> P. B. Weel, *Pubbl. della Stazione Zoologica di Napoli*, 18, F. I (1940). <sup>7</sup> F. Boerner-Patzelt, *Archiv mikroskop. Anatomie u. Entwicklungsgesch.* 102, H. 1/3 (1924).