

ФИЗИОЛОГИЯ

В. В. ПРАВДИЧ-НЕМИНСКИЙ

**ОБ ИЗМЕНЕНИИ ДИАМЕТРА, ОБЪЕМА И ПОВЕРХНОСТИ
ЛЕЙКОЦИТОВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ
КРАХМАЛЬНЫХ ЗЕРЕН IN VITRO**

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузенем 25 II 1948)

При наблюдениях над фагоцитозом зерен рисового крахмала и бактерий Коха лейкоцитами крови человека (¹) было замечено, что в то время как бактерии Коха значительно изменялись и разрушались внутри фагоцитов (особенно в специальных условиях), крахмальные зерна оставались, повидимому, неизменными или, быть может, лишь слегка изменялись. В силу этого фагоциты, переполняясь зернами крахмала, превращались в большие «мешки», «тюки», плотно набитые прозрачными зернами, благодаря чему уже незначительные механические воздействия приводили к их повреждению и распаду.



Рис. 1. Фагоциты, заглотившие 1, 3, 4, 5 зерен рисового крахмала.
Схематический рисунок (¹/₁₂ объектив $\times$ 10 окуляр)

Это кажущееся непомерным увеличение фагоцитов привело к попытке подсчитать, как могут изменяться их размеры (диаметр, площадь большого круга, объем и поверхность) с развитием активности фагоцитарного процесса и в каких отношениях эти размеры могут находиться между собой.

На схематических рис. 1 и 2 представлены фагоциты, заглотившие разное число зерен рисового крахмала, нарисованные при одинаковом увеличении (¹/₁₂ иммерсионный объектив $\times$ 10 окуляр), что позволяет наглядно судить о степени увеличения лейкоцита при развитии фагоцитарной активности.

Методика описана в наших сообщениях (²). Мы остановимся здесь лишь на простом способе изучения фагоцитов в камере. При этом способе в пробирку (45 $\times$ 8 мм), наполненную 0,5 см³ раствора поваренной соли (0,85%), вносилось 20 см³ крови, отмеренной пипеткой Сали. После трехкратного отмывания кровяных телец, с помощью 0,85% раствора NaCl и изогнутой на конце капиллярной пипетки, при применении ручной центрифуги, в жидкость вводится 2 мг рисового крахмала Кальбаума; суспензия перемешивается и пробирка устанавливается в угловой металлический штативчик под небольшим углом к горизонта-

ли. Штативчик помещается в термостат при температуре 37°C обычно на 15 мин. Через каждые 3—5 мин. пробирку, не вынимая ее из штатива, поворачивают около ее продольной оси для облегчения фагоцитоза.

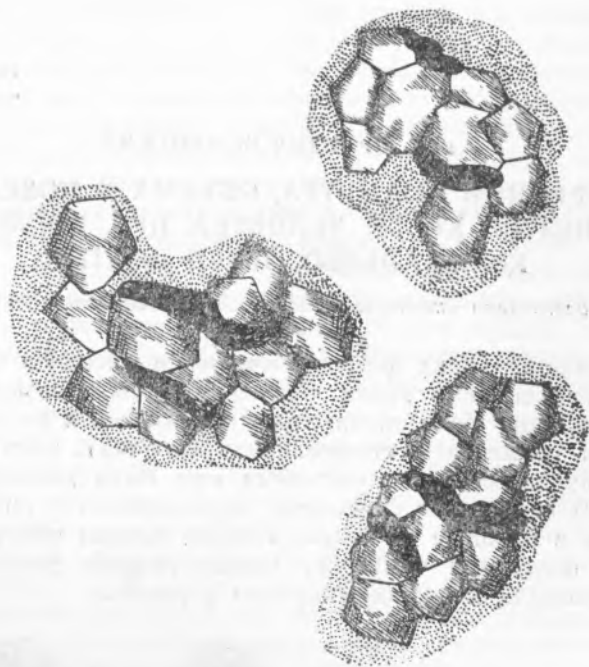


Рис. 2. Фагоциты, заглотившие 9 и 11 крахмальных зерен. Увеличение то же, что на рис. 1

По истечении времени инкубации в пробирку вносится $0,1\text{ см}^3$ ледяной уксусной кислоты на $0,5\text{ см}^3$ суспензии. Смесь перемешивается и оставляется при комнатной температуре на 10 мин. для гемолиза эритроцитов, после чего в нее в равном количестве прибавляется 1% раствор бисмарк-браун, приготовленный на 1% растворе уксусной кислоты. Для окрашивания достаточно 10 мин. Окрашенная взвесь изучается в камере, которая готовится из слюдяной пластинки в виде рамки (длиной по внутреннему краю 25 мм, шириной 11 мм), укрепляемой на широком предметном стекле с помощью расплавленного парафина. Капля, взятая из середины суспензии, переносится на дно камеры, накрывается слюдяной пластинкой, и лейкоциты рассматриваются при помощи иммерсионной системы.

Зерна крахмала не окрашиваются бисмаркбраун. Отчетливо выступают ядра, окрашенные в коричневые тона; на фоне чуть затемненной окраской протоплазмы резко выступают совершенно бесцветные, сильно преломляющие свет зерна крахмала. Картина весьма демонстративна и допускает проектирование и фотографирование.

Правило наименьшего объема. При рассматривании лейкоцитов, заглотивших от 1 до 3 крахмальных зерен, трудно было установить какие-либо особенности в размещении зерен в теле фагоцита (рис. 1). У фагоцитов же, заглотивших 4, 5 и более зерен, обращала на себя внимание их тесная сближенность, плотная «упаковка» в протоплазме, причем ядра нейтрофилов (они здесь имеют лентообразную форму) кажутся сдерживающими вместе тяжелые конгломераты крахмальных зерен. Получается впечатление, что в этой «мозаичной» структуре из одинаково прозрачных зерен промежутки и щели между ними почти сведены на нет и зерна плотно прилегают друг к

другу как бы отполированными поверхностями. Такую укладку зерен можно признать соответствующей «правилу наименьшего объема», при котором компактно уложенный материал занимает меньше всего места в клеточном теле фагоцита. Преимущество такой компактной упаковки заглотанного материала, несомненно, выражается как в облегчении движений фагоцита, так и в облегчении возможности поглощения нового материала.

Интересно сопоставить с этим тот факт, что у раковинных амёб (*Thecamoeba*), именно у тех, оболочки которых построены из зерен песка и раковин диатомей, было уже отмечено, что «ни один самый искусный каменщик не мог бы пригнать друг к другу камни такой разнообразной формы так тесно и плотно, как здесь, не заполняя промежутков цементом»⁽³⁾. Эта удивительная способность особенно выражена у рода *Diffugia*. Она связана, повидимому, с общим свойством поверхности протоплазмы принимать наименьший размер.

Мы произвели определение размеров двух лейкоцитов нефагоцитировавших и трех лейкоцитов, заглотивших соответственно 1, 10 и 11 крахмальных зерен. В табл. 1 приведены данные о возможном изменении размеров этих лейкоцитов.

Таблица 1

№ опыта	Фагоциты	Диаметр фагоцита в μ			Поверхность фагоцита в μ^2	Объем фагоцита в μ^3	Отношение объема к поверхности	Отношение поверхности к объему
		наименьший	наибольший	средний				
1А	Нефагоцитировавший	10,8	12,6	11,7	430	838	1,95	0,51
1Б	Нефагоцитировавший	12,6	12,6	12,6	499	1047	2,10	0,48
2	Заглотивший 1 крахм. зерно	14,4	17,1	15,75	779	2041	2,62	0,38
3	Заглотивший 10 крахм. зерен	19,8	32,4	26,1	2140	9309	4,35	0,23
4	Заглотивший 11 крахм. зерен	27,0	36,0	31,5	3116	16364	5,25	0,19

При подсчетах, положенных в основу табл. 1, форма лейкоцитов принята шарообразная. Исходя из элементарных геометрических представлений, мы можем сделать следующие выводы:

1. Объем фагоцита, поглотившего 11 зерен, увеличился (по сравнению с первым нефагоцитировавшим лейкоцитом) в 19,3 раза.

2. Полная поверхность фагоцита может увеличиться в результате заглатывания 11 крахмальных зерен в 7,25 или в 6,25 раз.

3. Отношение объема к поверхности увеличивается в рассматриваемых нами примерах с увеличением интенсивности фагоцитоза с 1,95 (2,10) у нефагоцитировавшего лейкоцита до 5,25 у заглотившего 11 зерен, или в 2,7 (и соответственно в 2,5) раза.

Приведенные цифры дают представление о том, при каких величинах объема и поверхности (исчисленных на основании данных об изменении среднего диаметра) и при каких отношениях этих величин, наступает предел фагоцитарному процессу в данных условиях опыта. Опытная проверка этих подсчетов — дело дальнейшего.

Поступило
18 XI 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Правдич-Неминский и Н. А. Жилинская, Доклад на VII съезде физиологов, М., 1947. ² В. В. Правдич-Неминский, Журн. эксп. биол. и мед., 74 (1928); Fermentforschung, 9, 411, 428 (1928); Лабораторная практика, № 12 (1932); Журн. биол. и мед., № 22 (1928); Тр. физ.-матем. отд. ВУАН, 6, в. 3 (1928); Бюлл. эксп. биол. и мед., 23, в. 3, 206 (1947); 24, в. 3, 208 (1947); 24, в. 4 (1947). ³ Гартман, Общая биология, 1931, стр. 101—108; L. Rumbler, Das Protoplasma als physikalisches System, 14, 474, 1914.