



Московский Государственный Университет им М.В.Ломоносова

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

119899. Россия, Москва, Ленинские горы. Тел.: (095) 9392776; факс.: 9394309.

9 января 2007 г.

Краткий отчет об экспериментах по поглощению инфракрасного излучения кожей животных.

Введение

Состав и строение кожи.

Около 70 % кожи составляет вода и 30% - белки (коллаген, эластин, ретикулин), углеводы (глюкоза, гликоген, мукополисахариды), липиды, минеральные соли (натрий, магний, кальций) и ферменты. На поверхности кожи имеются складки, бороздки и валики, которые переплетаясь между собой, образуют индивидуальный рисунок. Кожа неоднородна по структуре. В ней выделяют три основных слоя - подкожную жировую клетчатку, дерму и эпидермис.

Эпидермис - наружный, постоянно обновляющийся слой кожи, образован кератиноцитами. Они появляются на свет при делении зародышевых клеток базальной мембраны, расположенной на границе эпидермиса и дермы. По мере взросления кератиноцит перемещается в верхние слои. При этом в клетке синтезируется и накапливается кератин - особо прочный белок. В конце концов, кератиноцит теряет ядро и основные органеллы и превращается в плоский "мешочек", набитый кератином. Между слоями клеток имеются поперечные промежутки - трещины шириной до 10 нм., глубиной до 50 мкм, заполненные гелем, образующимся при взаимодействии воды с мукополисахаридами. В эпидермисе отсутствуют кровеносные сосуды, нервные волокна проникают и образуют в глубоких слоях эпидермиса свободные нервные окончания. Толщина эпидермиса в среднем 0,05-0,2 мм, под глазами - всего 0,02 мм, а на ладонях и подошвах ног - до нескольких миллиметров.

Эпидермис подразделяют на 5 зон (слоев) клеток, различных по форме, величине и функциям: 1) роговой, 2) блестящий, 3) зернистый, 4) шиповатый (или шиповидный), 5) базальный.

Роговой слой непосредственно соприкасается с внешней средой и состоит из плоских ороговевших клеток (чешуек), тесно соединенных между собой. Структурной единицей является чешуйка, имеющая длину до 10 мкм и толщину от 0,07 до 1 мкм. Каждая чешуйка окружена однослойной липидной оболочкой (12-15 нм), заполнена кератиновыми фибриллами диаметром 7-8 нм и аморфным материалом. У взрослых на большей части тела толщина рогового слоя составляет 1/10 часть от всего поперечника эпидермиса и равняется приблизительно 13-15 мкм. Наиболее мощный роговой слой - на подошвах и ладонях, на

лице он тоньше всего. Самые поверхностные роговые чешуйки постоянно отпадают - слущиваются, что имеет возрастные и сезонные различия.

Блестящий слой, хорошо различимый на ладонях и подошвах, диффузно пропитан белковым веществом, который в последующем превращается в окончательный продукт ороговения - белок кератин. Толщина слоя составляет примерно (10-15 мкм).

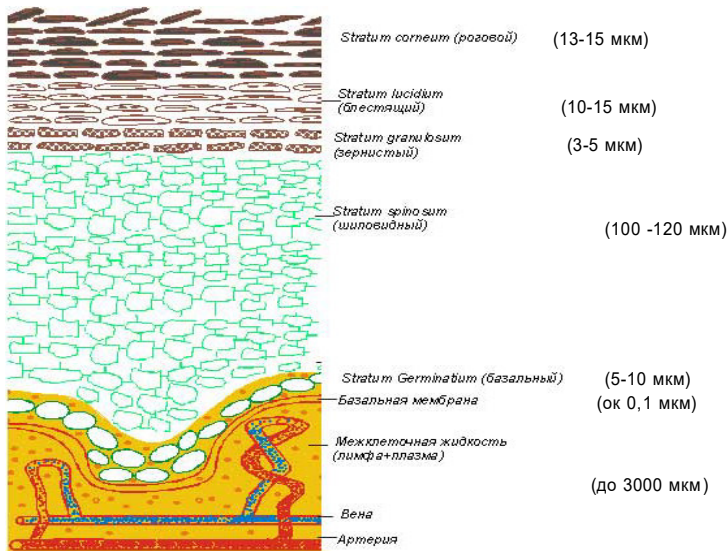
В зернистом слое, расположенном над шиповатым, появляются многочисленные зерна, свидетельствуя о начавшемся процессе ороговения. Зернистый слой состоит из одного или двух слоев клеток, неспособных к делению, по большей части мертвых, но содержащих основные клеточные органеллы (толщина - несколько микрон).

Клетки шиповатой зоны, как и базальной, способны к размножению и вместе объединены под названием ростковых. В этой зоне имеются также блуждающие между дермой и эпидермисом "белые" клетки, участвующие в иммунологической защите организма. Основную массу клеток эпидермиса составляют клетки шиповидного слоя (толщина около 100 мкм), в основном, находящиеся в состоянии покоя.

Базальный слой (толщина ок. 5 мкм) состоит из клеток в функциональном отношении неоднородных. В одних активно идет синтез белка, необходимый для формирования новых клеток, другие синтезируют пигмент кожи. Нормальная окраска кожи зависит от наследственных и внешних факторов - образование пигмента стимулируется действием ультрафиолетовых лучей. Базальный слой эпидермиса состоит из живых клеточных образований, склонность которых к делению обеспечивается "принудительной" поставкой питательных веществ межклеточной жидкостью, циркулирующей в организме и представляющей собой смесь лимфы и плазмы крови, вытекающей из конечных петелек капилляров и возвращающейся в лимфатическую и кровеносную системы под влиянием сердечных сокращений. В базальном слое находятся клетки Меркеля (чувствительные клетки), структурно связанные с нервными волокнами,

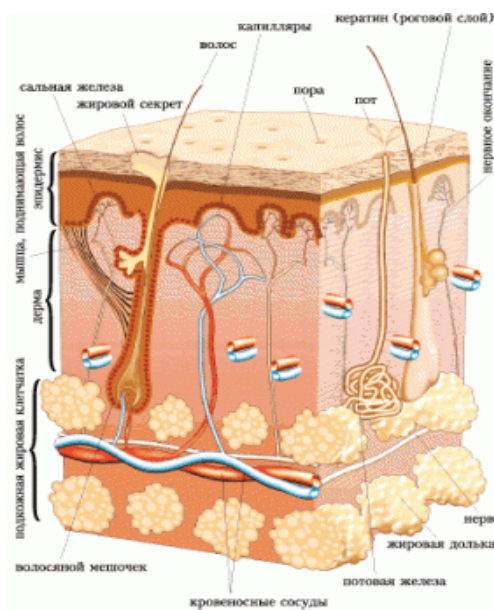
Дерма составляет основной слой кожи. Ее толщина достигает 3 мм. Отделенная от эпидермиса пограничной зоной, она без резкой границы переходит в гиподерму (подкожную жировую клетчатку). В дерме располагаются коллагеновые нити (пучки), нервные волокна, кровеносные и лимфатические сосуды, потные и сальные железы, волосяные фолликулы и различные типы клеток, которые располагаются обычно в ее верхней части. Основную массу клеток составляют фибробласты, тучные клетки, макрофаги, меланоциты и лейкоциты. Дерму можно сравнить с матрасом, функцию пружин в котором выполняют упругие волокна белков коллагена и эластина. Пространство между "пружинами" заполнено водным гелем. Этот гель образован гликозаминогликанами - большими полисахаридными молекулами, формирующими сетчатую структуру, в ячейках которой задерживается вода. В дерме расположены фибробласты - клетки, синтезирующие кровеносные сосуды, волосяные фолликулы, сальные и потовые железы. Потовые железы выделяют секрет (98% - вода, 2% - минеральные соли, мочевины, мочевая кислота). Сальные железы выделяют кожное сало. Железа открывается в волосяной мешочек; только на участках кожи, лишенных волос, протоки открываются на поверхность кожи. Также как и поверхность кожи, внутренние стенки таких каналов (волосяных мешочков), называемых фолликулами, состоят из ороговевших чешуек. Обычно они, как и на поверхности кожи, постоянно отшелушиваются и заменяются новыми.

Рис. 1. Схема строения эпидермиса



Таким образом, (см рис.1), кожа человека снаружи покрыта слоем разрушенных клеток толщиной примерно в 30 мкм, далее идет слой целых, но неживых клеток толщиной около 100 мкм (шиповатый слой), к которому прилегает слой живых клеток (5-10 мкм) с интенсивным энергообменом и током жидкости, не имеющий кровеносных сосудов и слабо иннервированный. Ниже (рис.2.) располагаются слои дермы, богато снабженные кровеносными капиллярами, нервными окончаниями, потовыми и сальными железами, толщиной до 3 мм, к которым, без четкой границы, прилегает слой подкожной клетчатки, содержащей кровеносные сосуды, волосные луковицы и сальные железы.

Рис. 2. Поперечный разрез кожи человека



Материалы и методы.

Инфракрасный излучатель был расположен горизонтально в помещении со слабым рассеянным освещением и температурой 20°C. ИК-излучение распространялось вертикально вверх. Периферические части излучающей поверхности стержня были экранированы алюминиевой фольгой. Центральная часть стержня-излучателя длиной в 15 см была открыта; именно из этой области ИК-излучение попадало на образец, а потом на детектор.

В работе использовали следующие детекторы излучения:

- Термостолбик РТН-20С (измеряет в области от 0,4 мкм до 6 мкм).
- Термостолбик РТН-30Г (измеряет в области от 1,8 до 14 мкм). Параметры:
 - интегральный коэффициент преобразования 1,1 В/Вт;
 - предел допускаемой основной погрешности 8% ;
 - размеры приемной площадки 2,806 x 3,005 мм.

Усилителем сигнала детекторов служил прецизионный микровольтметр Ф-136 (СССР).

В экспериментах исследовались свежеприготовленные образцы различных частей кожного покрова крысы (с брюшной и спинной стороны), а также образцы кожи с брюшной стороны мыши. Образцы расправлялись на отверстия, диаметром 40 мм, проделанном в плексигласовой пластине. Пластина закреплялась на высоте 20-25 см над стержнем излучателя. Термостолбик располагался непосредственно за образцом кожи окном вниз. Образцы находились под воздействием ИК-излучения непрерывно, с момента начала измерения. Окно термостолбика перекрывалось алюминиевой шторкой (с зачерненной тыльной стороной во избежание отражения на детектор рассеянной ИК-радиации) в промежутки между измерениями. Измерения пропускания ИК-радиации образцом велись до полного его высыхания до пергаментного состояния, когда переставала возрастать интенсивность проходящего лучистого потока. Температура в районе образца составляла 44-45°C, что говорит о невозможности повреждения структуры клеточных компонентов. При такой температуре испаряется только свободная вода; связанная вода остается при этом внутри белковых макромолекул и других внутриклеточных комплексов, сохраняя их нативную структуру.

Далее из высушенного образца делалась высечка в центральной области, взвешивалась и помещалась в физраствор на 30 минут при комнатной температуре. После этого высечка подсушивалась фильтровальной бумагой и взвешивалась еще раз. По соотношению масс обезвоженной и регидратированной высечки определялся процент потери воды при высушивании образца (в таких условиях обезвоживание тканей является полностью обратимым – см. выше).

Образцы, которые использовались в экспериментах:

- кожа белой мыши с брюшной стороны. Волосяной покров был удален (со всех образцов). Толщина образца 0,25-0,3 мм.
- кожа белой крысы с брюшной (образец №1) и спинной (обр. №2) стороны.
- кожа белой крысы с брюшной стороны со стенкой брюшины (обр. №3).
- №1: Толщина 0,5 мм. NB! Примерно соответствует по толщине коже человека на внутренней стороне предплечья (0,5-0,8 мм).
- №2: Толщина 1,3 мм.
- №3: Толщина 3 мм.

Результаты

1) Пропускание ИК-излучения кожей мыши.

- а) - Детектор РТН-20С.
 - кожа мыши (свежая).
 - расстояние образца от источника 20 см.

Время ИК-экспозиции (общее, мин)	Сигнал, мВ
0	5,7 (I ₀)
0	0,23 (I)
1	0,27
3	0,35
5	0,5
7	0,7
9	1,25
11	1,65
14	1,8
17	1,9
20	1,9

Пропускание рассчитывается как отношение проходящего потока к падающему:

$$T = I / I_0 .$$

В данном эксперименте для свежего образца (0 мин) $T=0,043$ (4,3%). Для того же образца высушенного (во время экспозиции к ИК-источнику), при потере воды 66% от общей массы, $T=0,33$. То есть пропускание ИК- излучения увеличилось при высушивании в 7,75 раза.

Толщина образца до измерения 0,3 мм, после – 0,15 мм.

б) - Детектор РТН-30Г.

- кожа мыши (свежая);
- расстояние образца от источника 25 см.

Время ИК-экспозиции (общее, мин)	Сигнал, мВ
0	5,9 (I ₀)
0	0,36 (I)
1	0,54
3	0,8
5	0,95
7	1,0
10	1,0

Для свежего образца: $T=0,12$. Для высушенного образца: $T=0,34$. Пропускание при высушивании возросло в 2,8 раза. Потеря воды составила 67%.

Толщина образца до высушивания составила 0,2 мм, после – 0,05-0,1 мм.

2) Пропускание ИК-излучения кожей крысы.

а) - Детектор РТН-20С;

- Образец №3 (самая толстая кожа, толщина 3 мм):
- расстояние образца от источника 20 см.

Пропускание свежего (без высушивания) образца $T \approx 0,0003$ (на грани чувствительности прибора + погрешность теплового загрязнения). То есть практически ноль. Высушивание образца не проводилось.

б) – Детектор РТН-20С;

- Образец №1. Свежая кожа крысы, толщина 0,5 мм.
- расстояние образца от источника 20 см.

Время ИК-экспозиции (общее, мин)	Сигнал, мВ
-------------------------------------	---------------

0	5,7 (I ₀)
0	0,1 (I)
2	0,16
4	0,22
6	0,26
9	0,34
12	0,48
15	0,66
19	0,68
24	0,7
28	0,71

Начальное пропускание $T = 0,0175$; после высыхания образца $T = 0,125$. Пропускание увеличилось в процессе высыхания в 7,1 раза. Толщина образца после высыхания – 0,25-0,3 мм. Потеря воды при высыхании составила 55%.

в) - Детектор РТН-30Г.

- Образец №1 (другая проба). Свежая кожа крысы, толщина 0,5 мм.
- расстояние образца от источника 20 см.

Время ИК-экспозиции (общее, мин)	Сигнал, мВ
0	4,35 (I ₀)
0	0,05 (I)
3	0,07
6	0,09
9	0,13
12	0,145
16	0,155
20	0,165
24	0,19
29	0,34
34	0,38
39	0,38

Начальное пропускание $T = 0,0115$. После высыхания образца $T = 0,087$. Пропускание увеличилось в процессе высыхания в 7,6 раза. Толщина образца после высыхания ~ 0,3 мм. Потеря воды при высыхании составила, соответственно, 54,5%, что совпадает с предыдущим экспериментом.

в) - Детектор РТН-30Г;

- Образец №2. Свежая кожа крысы, толщина 1,3 мм.
- расстояние образца от источника 25 см.

Время ИК-экспозиции (общее, мин)	Сигнал, мВ
0	2,95 (I ₀)
0	0,001 (I)
5	0,001
10	0,0012
15	0,0015
20	0,0015
25	0,002

32	0,0025
39	0,003
46	0,005
53	0,0055
61	0,007
71	0,008
81	0,011
96	0,015
121	0,02

Начальное пропускание: $T=0,00034$, т.е. почти ноль. Высохшая кожа (время высыхания 2 часа): $T=0,0068$. Т.е. пропускание при высыхании выросло в 20 раз. Толщина образца после высыхания составила 0,5 мм (уменьшилась в 2,6 раза). Потеря воды при высыхании составила 62,7%.

Выводы.

1) Поглощение ИК-излучения биологическими тканями (модель кожи человека) обеспечивается в основном содержащейся в них водой, особенно для тонких образцов кожи (толщина 0,2-0,5 мм)

2) Через слой свежей кожи толщиной 0,5 мм проходит не более 1-2% ИК-излучения.

3) Образцы свежей кожи толщиной более 1 мм поглощают практически 100% ИК-излучения. Полное высыхание образца кожи до пергаментного состояния приводит к увеличению его пропускания до 7%. Остальная часть ИК-излучения (93%) поглощается, очевидно, связанной водой в составе внутриклеточных структур, а также самими органическими соединениями, входящими в состав биологических тканей (белками, липидами, углеводами, нуклеотидами и т.п.).

4) Предположительно, прямое ИК-излучение проникает не глубже верхних слоев дермы, где содержатся сальные, потовые железы и кровеносные капилляры (рис.1). На волосные луковицы, кровеносные сосуды, подкожную жировую клетчатку и мышечный слой непосредственное влияние ИК-излучения маловероятно.

5) Основной поток ИК-излучения (70-80%) поглощается в верхних слоях эпидермиса, включая шиповидный слой, не оказывая, таким образом, прямого воздействия на живые клетки кожи. Поглощенная энергия может передаваться нижележащим слоям живых клеток эпидермиса и верхним слоям дермы путем теплообмена, приводя к их нагреванию. Именно этот процесс должен лежать в основе физиологического ответа организма на прямое воздействие инфракрасной радиации, испускаемой излучателем данного типа (с температурой тела накала около 400⁰С).

Старший преподаватель
Кафедры физиологии
человека и животных

М.Л.Ловать

Научный сотрудник
Кафедры физико-химической биологии

К.В.Неверов