

А. А. ИЛЬИНА

СПЕКТРЫ ОТРАЖЕНИЯ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 8 IV 1947)

В связи с известными методами определения состава крови *in situ* (^{1, 4}) интересно было установить, насколько спектры отражения могут быть использованы в спектрофотометрии текущей крови. Для этого, прежде всего, необходимо выяснить, в какой мере кровь проявляет себя в спектре отражения кожи.

Обратимся к литературным данным. В работе Шульце (⁵) даны кривые отражения кожи в области от 280 до 700 м μ . Шульце находит хорошее совпадение этих кривых с данными Зурмана и Коллата (⁶), изучавшими спектры поглощения крови в этой области. Действительно, минимум в желто-зеленой части спектра и подъем в красной характерны для спектров пропускания Hb. Однако на кривых Шульце совершенно отсутствует γ -полоса Hb*, а в области 600—700 м μ кривая дает перегиб. Харди и Мушенгейм (⁷) измеряли отражение от кожи человека, интересуясь главным образом инфракрасной частью спектра; данные для видимой и ближней инфракрасной области спектра приведены ими в таком сжатом масштабе, что их трудно сопоставить с кривыми пропускания крови. В общем, характер их кривых в видимой части спектра соответствует данным Шульце. Кривая отражения кожи, измеренная Картрайтом (⁹) в области от 400 до 1380 м μ так же, как и кривая Шульце, не передает γ -полосы HbO₂, но уже гораздо более определенно показывает характерные для HbO₂ максимумы поглощения в области 540—580 м μ и резкий подъем от 580 к 640 м μ . В области 980 м μ оптические свойства воды почему-то почти не сказываются на кривой отражения.

В настоящей работе мы попытались получить более точные сведения о соответствии спектров отражения кожи человека и крови, находящейся в тканях. Особенно интересовала нас ближняя инфракрасная область, так как нами было показано (¹¹), что спектры пропускания уха и щеки человека в этой области почти целиком определяются спектральными свойствами крови и воды, находящихся в просвечиваемых тканях.

Измерения производились нами на фотоэлектрическом спектрофотометре, детальное описание которого дано в работах (^{12, 13}). В данном случае за выходной щелью монохроматора ставилась интегрирующая сфера (рис. 1), представляющая собой полый шар ($d=120$ мм). Отверстие А было закрыто линзой, дающей в плоскости противоположного отверстия В ($d_1=12$ мм) изображение выходной щели (1×6 мм). Благодаря тому, что освещенный участок кожи был гораздо меньше площади заднего отверстия сферы, в измеряемый коэффициент R входила не только поверхностная компонента отраженно-

* См., например, спектры поглощения Hb и HbO₂ в обзоре Гельмейера (⁸).

го света, но и „глубинная“ компонента, образуемая рассеянным светом, выходящим из подкожных слоев и „несущим“ с собой сведения о спектральных свойствах освещенных тканей.

К отверстию *B* мог подводиться или исследуемый участок тела или эталон MgO . Освещенность сферы измерялась фотоэлементом*, помещенным над отверстием *C*. При замене исследуемого образца эталоном MgO получались фототоки i и i_0 , прямо пропорциональные освещенностям сферы в первом и во втором случаях, отношение которых $R=i/i_0$ дает коэффициент отражения исследуемого образца по отношению к окиси магния***.

Наибольшие ошибки опыта были обусловлены: а) колебаниями кровенаполнения тканей за время опыта, б) изменением степени насыщения крови кислородом и с) не вполне точным совпадением измеряемого участка кожи при повторных подведениях его к сфере.

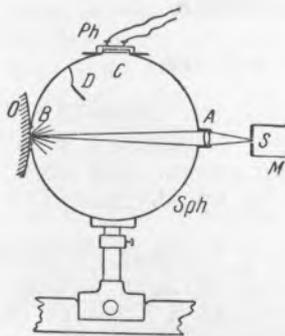


Рис. 1. *Sph* — интегрирующая сфера; *A* — отверстие с линзой, дающей изображение выходной щели *S* монохроматора *M* на исследуемом участке кожи *O*; *C* — верхнее отверстие, *Ph* — фотоэлемент

На рис. 2 приведены спектры отражения разных участков кожи нескольких испытуемых (см. данные о них в табл. 1). Из рассмотрения кривых, в общем совпадающих с данными Картрайта^(9,10), видно, что в спектрах отражения тела человека (в видимой и, особенно, в ближней инфракрасной области), так же как и в спектрах пропускания, ясно выражены спектральные свойства крови и воды, находящихся в тканях (см. минимумы отражения у 540, 580 и 414 $m\mu$, соответствующие максимумам поглощения HbO_2 , и минимумы отражения и пропускания у 980 и 1200 $m\mu$, обусловленные водой).

Спектр пропускания крови выглядит на этих кривых еще более сглаженным, чем в случае измерений спектров пропускания тела, так как здесь к компоненте, несущей сведения о спектре пропускания крови, еще прибавляется величина поверхностного отражения (от эпидермиса), что еще более сглаживает спектральную характеристику. Исходя из того, что спектры отражения поверхностных слоев тела в ближней инфракрасной области очень близки по своему характеру к спектрам пропускания их и что кривые пропускания, в свою очередь, близко совпадают со спектрами пропускания крови и воды⁽¹¹⁾, можно думать, что в ближней инфракрасной области спектральные свойства верхних слоев кожи почти не искажают характера получаемых кривых. Во всяком случае, смещение спектральных кривых отражения по оси ординат в большей степени связано с различиями содержания крови в тканях, чем с различиями в величине поверхностного отражения. Большие коэффициенты отражения соответствуют меньшему содержанию крови в освещаемых тканях и наоборот. Оценку „эффективной“ концентрации крови в тканях, повидимому, можно было бы производить по $R_{800 m\mu}$, так как для этой длины волны коэффициенты поглощения Hb и HbO_2 одинаковы, и различия в степени насыщения крови кислородом (C_{HbO_2}/C_{Hb}) не исказят результатов. По данным табл. 1, можно видеть, насколько колеблется величина $R_{800 m\mu}$ у разных испытуемых и в разных местах тела. По изменениям $R_{800 m\mu}$ можно было

* Селеновым (Государственного оптического института) в видимой области спектра и серносеребряным⁽¹⁴⁾ (Физического института АН УССР) в ближней инфракрасной.

** Для вычисления абсолютных величин нужно умножить R на коэффициент отражения MgO (в данном случае $R_{MgO}=0,92$).

бы следить также за реакцией сосудов поверхностных слоев тела на различные раздражители. Для количественных работ в этом направле-

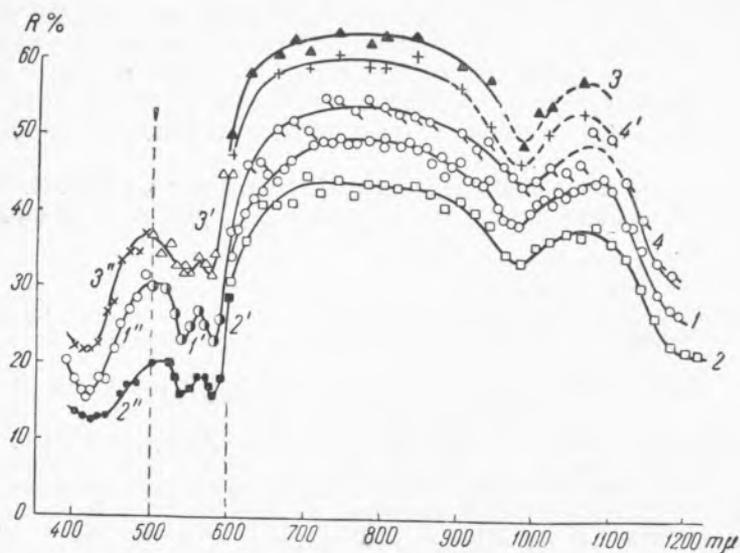


Рис. 2. Спектры отражения различных мест человеческого тела: 1, 1' и 1'' — ладонь, 2, 2' и 2'' — подушка ногтевой фаланги большого пальца, 3, 3' и 3'' — предплечье, 4 и 4' — тыл кисти (кривая 2 получена на испытуемом № 1, кривые 4' и 3 — на испытуемом № 4, остальные кривые — на испытуемом № 3). Кривые 1'', 2'', 3'' получены на более чувствительной установке с сурьмяно-цезиевым фотоэлементом и электрометром

нии необходимо было бы иметь возможность находить отдельно величину поверхностного отражения.

В нашей предыдущей работе (11) мы для качественной оценки

Таблица 1

Коэффициент отражения кожи R (в процентах)

№ испытуемого, пол	Возраст, в годах	Пигментация *	Ладонь, возвышение большого пальца (thenar)			Подушка 3-й фаланги среднего пальца			Кисть, тыльная сторона, между 1 и 2 пястными костями			Предплечье, передняя сторона (ближе к верхнему лучевому краю)		
			R_{700}	R_{800}	K	R_{700}	R_{800}	K	R_{700}	R_{800}	K	R_{700}	R_{800}	K
1, м	32	Блонд.	44	44,2	0,99	49,5	49,5	1,0	—	—	—	—	—	—
2, м	35	Блонд.	48,6	49,0	0,99	46	43	1,09	49,0	50,2	0,97	—	—	—
3, ж	40	Брюн.	49,0	50,0	0,98	50,4	51,3	1,0	54,0	54,0	1,0	58,6	60,7	0,96
4, ж	25	Св. блонд.	50,5	50,6	1,0	59,2	59,5	1,0	—	—	—	61,5	63,5	0,98
5, ж	32	Шат.	54,0	53,2	1,02	—	—	—	57,5	58,5	0,98	63,6	62,6	1,02
6, ж	24	Шат.	45,4	46,1	0,92	41,7	39,6	1,07	49,6	49,4	1,0	61,0	57,5	1,07
7, ж	25	Брюн.	45,3	46,4	0,97	45,3	46,4	0,97	—	—	—	54,6	57,0	0,95

* Все испытания проведены на незагоревшей коже.

степени насыщения кислородом крови, находящейся в тканях, брали отношение T_{700}/T_{800} , которое для тканей, находящихся в естественном состоянии, равно 1. В случае отражения необходимо вычесть из R „поверхностную“ компоненту; она составляет, по Ломхольцу (15), около 10%. В данном случае для оценки большей или меньшей насыщен-

ности крови кислородом мы попытались взять величину $K = \frac{R_{700} - 10}{R_{800} - 10}$ (где R дано в процентах).

Из данных табл. 1 видно, что эта величина, так же как и в случае измерений T , близка к 1. Несмотря на резкие различия величины R для разных лиц и разных участков тела, значение K дает лишь небольшие колебания ($\pm 0,06$). Интересно было бы установить количественную связь этой величины со степенью насыщения крови кислородом.

В заключение выражаю искреннюю благодарность проф. Э. В. Шпольскому за постоянное внимание к настоящей работе и ценные советы и замечания.

Московский
государственный педагогический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
8 IV 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ C. Millikan, Rev. Sci. Instr., **13**, 1434 (1942). ² K. Matthes u. F. Gross, Arch. exp. Pathol. u. Pharmacol., **191**, 523 (1939). ³ M. Goldie, J. Sci. Instr., **19**, 23 (1942). ⁴ R. T. Clark, E. B. Brown, C. E. Hoffmann, Am. J. Physiol., **145**, No. 5, 685 (1946). ⁵ W. Schultze, Strahlenther., **35**, 369 (1930). ⁶ R. Suhrmann u. W. Kollath, Biochem. Z., **184**, 216 (1927). ⁷ J. D. Hardy and C. Muschenheim, J. Clin. Investig., **13**, 817 (1934). ⁸ L. Heylmeier, Spectrophotometry in Medicine, Lond., 1943, p. 66. ⁹ C. H. Cartwright and A. F. Turner, Phys. Rev., **59** (1939). ¹⁰ W. E. Forsythe and E. Q. Adams, Medical Physics, p. 1157, 1944. ¹¹ А. А. Ильина, ДАН, **54**, № 7, 595 (1946). ¹² А. А. Ильина, Х. М. Равикович, Д. Л. Рубинштейн и Э. В. Шпольский, ДАН, **48**, № 5 (1945). ¹³ А. А. Ильина, ЖФХ, **21**, 145 (1947). ¹⁴ А. А. Ильина, Изв. АН СССР, сер. физ., **11**, № 4 (1957). ¹⁵ S. Lomholt, Strahlenther., **35**, 324 (1930).