

07;12  
©1995

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОС

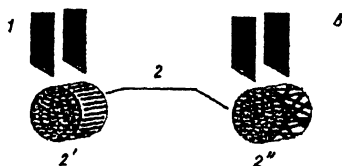
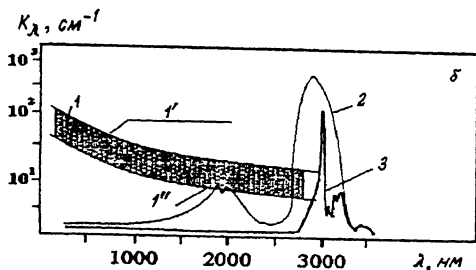
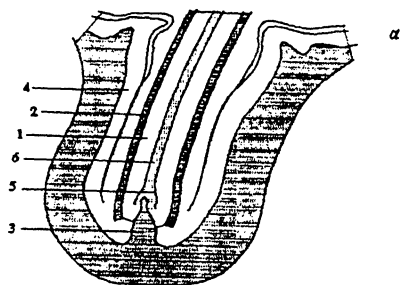
*Г.Б.Альтшулер, И.К.Ильясов, К.В.Приходько*

В косметологии существует важная и пока не решенная проблема нетравматичного удаления волос с тела человека (эпиляция). Нам известна только одна работа [1], в которой была исследована возможность удаления волос излучением непрерывного Nd лазера. В этой работе предполагалось, что для необратимой деструкции волоса необходимо разрушить волосяной сосочек. Априори ясно, что непрерывный Nd лазер в данном случае далек от оптимального, в частности, потому что при действии на волосяной покров возможна термическая травма кожного покрова.

Для создания технологии лазерной эпиляции необходимо прежде всего установить механизм лазерной деструкции луковицы волоса, исключаяющий ее регенерацию. При этом лазерное излучение не должно наносить травму окружающему кожному покрову. Поиск такого механизма предполагает прежде всего детальное изучение оптических свойств волоса, т. е. спектров поглощения, преломления и светорассеяния и их изменений в мощных световых полях.

В настоящей работе впервые предпринята попытка изучения спектров поглощения волос и проведены измерения порогов разрушения стержня волоса излучением неодимового, гольмиевого и эрбиевого лазеров.

Рассмотрим вначале структуру волоса (рис. 1, а). В волосе различают две части: стержень и корень [2]. Стержень волоса — это свободная часть волоса, находящаяся над поверхностью кожи. Корень волоса — часть волоса, скрытая в толще кожи и доходящая до подкожножировой клетчатки на глубину от 0.6 до 3 мм. В грубых щетинистых волосах корень волоса состоит из коркового вещества, мозгового вещества и кутикулы волоса, а в нежных и пушковых волосах — только из коркового вещества и кутикулы. В стержне волоса мозговое вещество также отсутствует. Корень волоса располагается в волосяном мешке, наружный слой которого называется волосяной сумкой. Корень волоса заканчивается волосяной луковицей. В нижней части волосяной сумки располагается волосяной сосочек, который погружен в волосяную луковицу. В месте перехода корня волоса в стержень эпидермис образует небольшое углубление — волосяную воронку. Волосяная луковица является волосяной матрицей, из которой происходит рост волоса.



**Рис. 1.** Строение волос, образцов.

*a* — строение волоса: 1 — корковое вещество, 2 — кутикула волоса, 3 — волосяной сосочек, 4 — волосяная сумка, 5 — волосяная луковица, 6 — мозговое вещество;  
*б* — спектры поглощения веществ, входящих в структуру волоса: 1 — меланин (1' — высокая концентрация, 1'' — низкая), 2 — вода, 3 — кератин;  
*в* — формирование образцов: 1 — алмазные ножницы, 2 — волосы (2' — параллельные, 2'' — хаотические).

Питание клеток волосяной луковицы осуществляется сосудами, расположенными в волосяном сосочке. Для удаления волоса, исключая его регенерацию, необходима деструкция волосяного сосочка. Таким образом, лазерная эпиляция должна обеспечить проникновение достаточной энергии света или генерируемого им давления, или температуры в область соединения луковицы и сосочка. Для решения этой задачи необходимо знать оптические свойства волоса, т. е. его оптическую модель.

Для построения оптической модели волоса, позволяющей описать распространение света в нем, необходимо детальное знание спектра поглощения и преломления всех элементов структуры волоса. К сожалению, эти данные в литературе отсутствуют или носят неполный характер. Поэтому пока мы можем говорить только об основных факторах поглощения света в волосе, не затрагивая вопросы рассеяния и распространения света.

Основные вещества, входящие в структуру волоса — это кератин, меланин и вода. Их спектры поглощения приведены на рис. 1, б. Спектры поглощения меланина и кератина взяты из работы [3], воды — из [4]. Абсолютные значения скорректированы на типичное содержание этих веществ в волосах. Т. е. значения  $K_\lambda$ , приведенные на рис. 1, б, определялись как  $K_\lambda = \eta K_{\lambda 1}$ , где  $K_{\lambda 1}$  — значение коэффициента поглощения вещества, а  $\eta$  — его объемная доля в волосе.

Эти данные носят неполный характер. Так, например, нам не удалось найти спектр поглощения меланина в ИК области. Кроме того, в литературе отсутствуют данные по границам диапазона процентного содержания волосяных компонентов в различных частях волоса. Но предварительно на основе рис. 1, б можно оценить области спектра, в которых возможна эффективная деструкция волос и роль в этих процессах тех или иных компонентов.

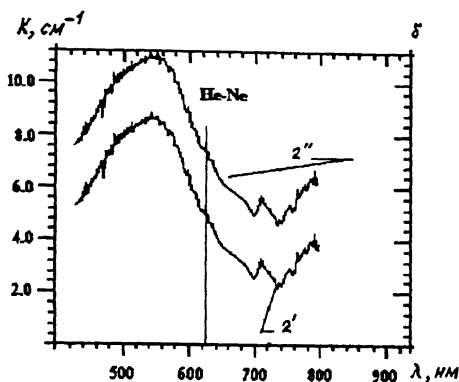
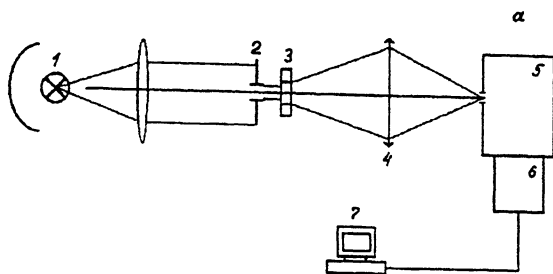
В видимой области спектра кератин и вода практически прозрачны, поэтому основным поглощающим фактором будет являться меланин, количество которого в волосах определяет их цвет.

В ближней ИК области роль меланина в поглощающих свойствах, по-видимому, снизится, и поглощение в большей части будет определяться свойствами кератина и воды.

Для определения поглощающих свойств света волоса необходимы прямые измерения. Из-за малых размеров эта задача не может быть решена с помощью стандартной техники. В связи с этим в настоящей работе разработана методика прямых измерений коэффициента светоослабления в волосах, которая состоит в следующем.

Образцы для измерений приготавливались из отрезков волос фиксированной длины. Из этих отрезков формировались два типа образцов. В образцах первого типа отрезки укладывались параллельно друг другу, обжимались до предельно малого объема воздушных промежутков, а затем алмазной пилой вырезался образец с двумя параллельными гранями. Образцы второго типа отличались только хаотической укладкой волос.

Схема установки для измерения коэффициента светоослабления приведена на рис. 2, а. Излучение коллимированного источника белого света или лазера направлялось на образец. Прошедшее излучение регистрировалось с по-



**Рис. 2.** Измерение оптических свойств волос.

*a* — схема экспериментальной установки: 1 — осветитель, 2 — апертурная диафрагма, 3 — образец, 4 — линза, 5 — полихроматор, 6 — диодная линейка, 7 — компьютер. *б* — оптические свойства волос (2' — параллельный образец, 2'' — хаотический).

мощью полихроматора. Спектр пропускания записывался в компьютере и обрабатывался с учетом калибровочных спектров, снятых в отсутствие образца.

В настоящей работе мы привели также измерение порогов разрушения стержня волоса излучением импульсных лазеров. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2, б. Излучение лазера фокусировалось на грань образца, приготовленного так же, как и для спектральных измерений. В качестве лазерных источников использовались наиболее эффективные лазеры ближнего ИК диапазона, параметры которых приведены в табл. 1. Порог разру-

Таблица 1. Технические параметры лазеров

|                                      | Nd лазер     | Ho лазер     | Er лазер     |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Длина волны, $\mu\text{м}$           | 1.06         | 2.088        | 2.094        |
| Расходимость, мрад                   | 3            | 4            | 1            |
| Длительность импульса, $\mu\text{с}$ | 150          | 150          | 150          |
| Энергия импульса, Дж                 | 1            | 0.4          | 0.5          |
| Модовый режим                        | многомодовый | многомодовый | многомодовый |
| Частота следования импульсов, Гц     | 1-50         | 1-10         | 1            |

шения фиксировался по необратимому изменению поверхности волоса послелазерного воздействия. Оказалось, что это изменение однозначно коррелирует с появлением дыма. Значения порога, которые мы приводим в табл. 1, определялись путем усреднения по 15 реализациям.

Во всех исследованиях по светоослаблению мы использовали белые волосы. В экспериментах по разрушению — белые и темные.

На рис. 2, б представлены спектры коэффициента светоослабления для образцов светлых волос в диапазоне от 550 до 800 нм. Для образцов с параллельной и хаотической ориентацией эти спектры отличаются только абсолютными значениями  $K_\lambda$ . Очевидно, это связано с разным характером рассеяния света в образцах двух типов. Анизотропия светорассеяния составляет величину 0.62.

Меньший уровень потерь на рассеяние в образцах с волосами, ориентированными вдоль направления распространения света, может быть связан эффектом волноводного распространения света в волосах. Однако для доказательства этого факта требуются дополнительные эксперименты. Очевидно, что в этом диапазоне спектра потери на рас-

Таблица 2. Порог разрушения волос, Вт/см<sup>2</sup>

| Длина волны,<br>мкм | Волосы     |            |
|---------------------|------------|------------|
|                     | светлые    | темные     |
| 0.577               |            | 28.5 ± 0.5 |
| 1.06                | 2.4 ± 0.1  | 2.0 ± 0.2  |
| 2.088               | 3.3 ± 0.3  | 2.85 ± 0.4 |
| 2.94                | 0.95 ± 0.5 | 0.95 ± 0.5 |

сеяние зависят от длины волны монотонно, поэтому минимум  $K_\lambda$  может быть связан только с минимумом коэффициента поглощения. Этот факт пока не имеет удовлетворительного объяснения. Во всяком случае, он никак не вытекает из спектров поглощения меланина, кератина и воды (см. рис. 1, б).

В табл. 2 приведены значения порогов разрушения стержня волос излучением 3-х типов лазеров. Наименьшее значение порога наблюдалось для Er лазера, затем следует Nd, а потом Ho лазеры. В целом эти результаты коррелируют с соотношениями коэффициентов поглощения для соответствующих длин волн, определенных по суммарному поглощению меланина, кератина и воды в волосе.

#### Список литературы

- [1] *Leonard H. et al.* // *Las. Sur. Med.* 1990. V. 10. N 2. P. 189.
- [2] *Елесева В.Г.* Гистология. М.: Медицина, 1972.
- [3] *The proteins.* Chemistry, biological activity and methods / Ed. by H. Neuroith, K. Bailey. New York: Acad. press. publ., 1953, 1954.
- [4] *Hulburt E.O.* // *J. Opt. Soc. Am.* 1945. V. 35. N 11. P. 698-705.

Учебно-научно-производственный  
лазерный центр  
Института точной механики  
и оптики  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
30 декабря 1994 г.