

## Проверка светопроводности сосудистой системы

(предварительное сообщение)

Эксперимент только тогда можно считать окончательно продуманным, когда его можно сделать с помощью палки и веревки.

Э. Резерфорд

В предыдущей статье<sup>1</sup> было высказано предположение, что свет, попадающий в тело человека, частично рассеивается, а *частично проникает по кровеносным сосудам вглубь тела, как по световодам*. Для того чтобы выяснить действительно ли являются кровеносные сосуды световодами в данном экспериментальном исследовании проверялась способность артерий проводить свет.

Экспериментальные исследования, проведенные на базе НИИ «Полюс»<sup>2</sup> по измерению спектра проходящего через ткани пальцев операторов излучения от разных источников (лазерных, светодиодных, ламп накаливания), показали, что практически любой свет из видимой части спектра в диапазоне от 400 до 620 нм превращается в красный одного типа модальности в двух вариантах со сдвигом в 5 нм (рис. 1).

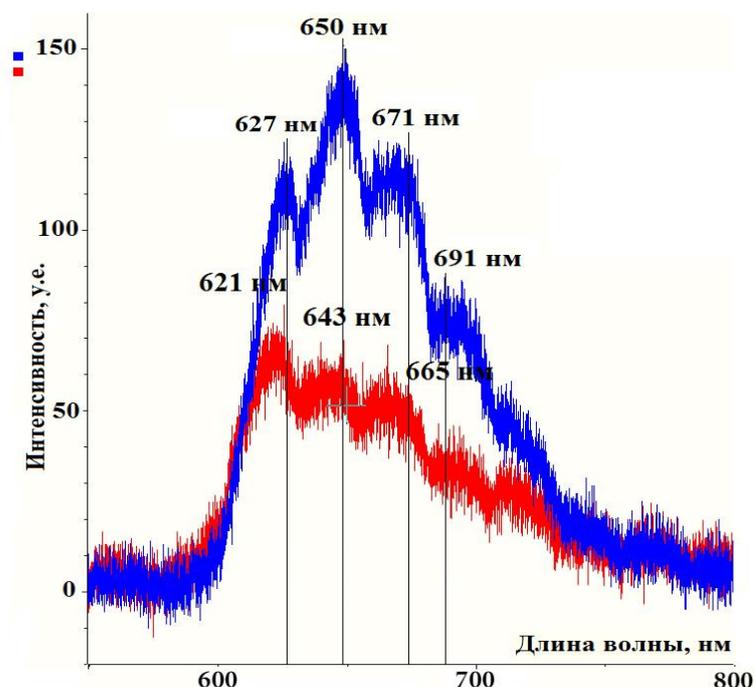


Рис. 1. Два подобных четырехмодальных спектра со сдвигом в 5 нм, получаемые в результате прохождения различного света через ткани пациентов

Эти практически одинаковые результаты, полученные на выходе красного спектра через ткани пациентов, которые не зависят от спектра исходного излучения, могут быть следствием двух механизмов распространения света в тканях.

Первый — рассеивание эритроцитами света красного диапазона спектра (610–690 нм) и поглощение всех других более коротких волн. В результате через ткани пальца проходит в основном мультимодальный спектр красного света (см. рис. 1), каждая из мод которого по предположению

1 <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0023/001a/00231104.htm>

2 <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0023/001a/00231104.htm>

авторов соответствует одному из состояний эритроцитов. Например, мода 620 нм предположительно соответствует оксигемоглобину.

Второй источник красного света такого же мультимодального характера спектра — люминесценция. Это было доказано в опытах, описанных в предыдущем исследовании<sup>3</sup>, в которых свет от зеленого лазера, проходя через ткани испытуемого, частично переизлучался в красной части спектра (рис. 2).

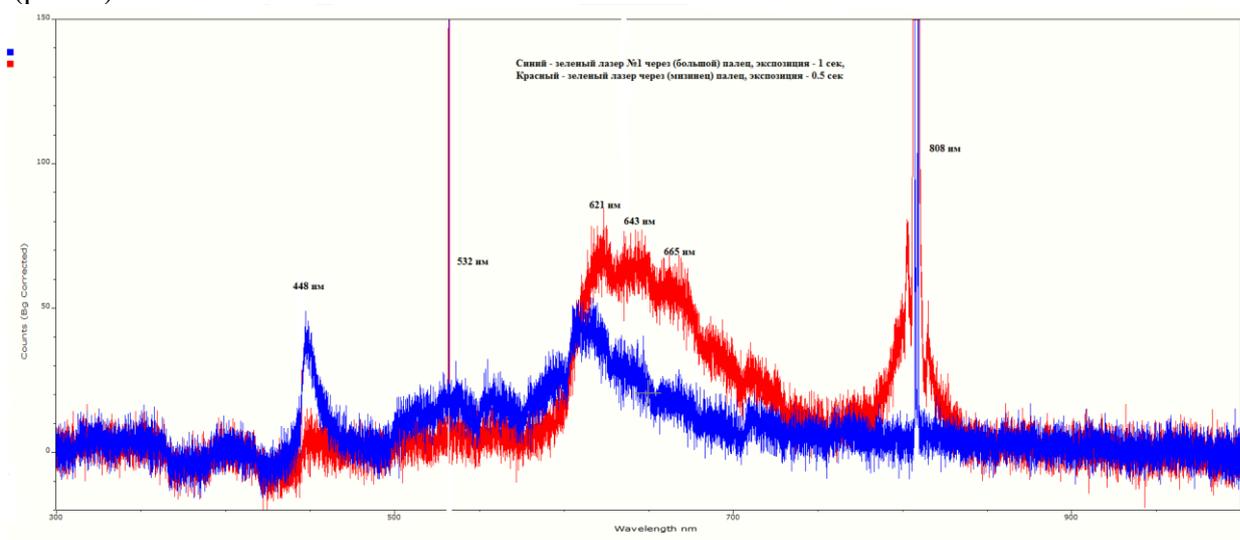


Рис. 2. Спектр света, прошедший через ткани оператора от зеленого лазера (длина волны 448 нм). Красный график — спектр света через мизинец, синий — через большой палец. Пик на 808 нм — инфракрасное излучение от нагрева тканей

Таким образом, есть основания предполагать, что по мере прохождения исходного излучения (например, белого) через кровь в капиллярах эритроциты отражают в основном красный спектр, имеющий мультимодальный вид (см. рис. 1), а все более короткие волны поглощаются самими эритроцитами, тканями и жидкостями организма. Часть излучения (меньшей длины волны, чем у красного) при этом после поглощения переизлучается в красном спектре. В результате по мере прохождения через ткани белый свет становится все более красным.

Для предварительной проверки этого предположения был поставлен простой эксперимент по просвечиванию поверхности тела с помощью света двух фонариков — с красными и белыми светодиодными источниками одинаковой мощности (рис. 3).

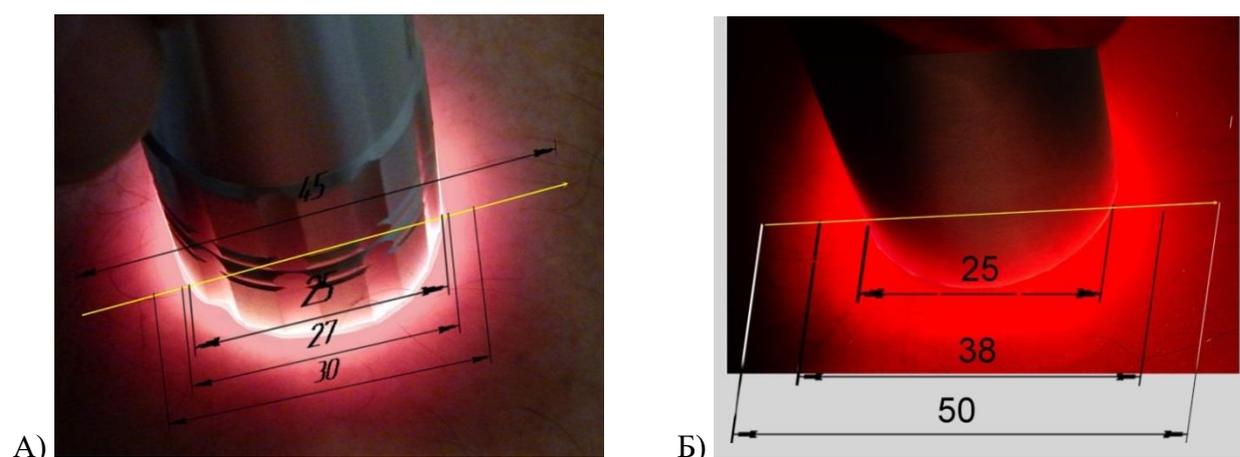


Рис. 3. Распространение света через ткани руки оператора от белого (слева) и красного (справа) фонарика в момент прижатия их к руке с одинаковым усилием

Ореол распространения света от красного фонарика имеет ширину около 12,5–13,0 мм, от белого — 10 мм. Это объясняется тем, что мощность белого фонарика на 20–30 % меньше. Из чего

следует, что глубина проникновения белого и красного света приблизительно одинакова и не зависит от спектра (что, в принципе, еще предстоит изучить).

Также мы видим, что цветовые характеристики ореолов совершенно разные. Свет от красного фонарика распространяется, практически не меняя цвета, по мере удаления от источника. А вот свет от белого фонарика, распространяясь по тканям руки оператора, меняется в цвете: на расстоянии в 1 мм свет практически остается белым; на расстоянии 2–3 мм цвет становится розовым; во внешнем кольце до расстояния 7...8 мм цвет постепенно меняется от бледно-розового к темно-розовому с последующим наполнением темно-вишневым цветом.

Эксперимент с белым фонариком показывает, что свет, идущий через ткани, по мере удаления от источника белого света становится все более красным. Что подтверждает сделанное ранее предположение о том, что весь спектр от белого источника вплоть до красного поглощается тканями, что создает, образно говоря, эффект «фильтрации» спектрального диапазона. Именно поэтому в самой удаленной части ореола свет становится темно-вишневым (см. рис. 3А). Образно говоря, ткани (точнее капилляры) распределяют попадающий в них свет на два потока — красный свет рассеивается, а весь остальной свет (кроме красного) поглощается и затем частично переизлучается (люминесцирует). Безусловно, это лишь упрощенная модель процесса, т. к. рассеивается и белый свет (см. рис. 3А), а также поглощается и красный свет (см. рис. 3Б), но степень проникновения красного света вглубь тканей гораздо больше, что подтверждается и другими исследованиями (рис. 4). Это, очевидно, связано с цветом самих эритроцитов.

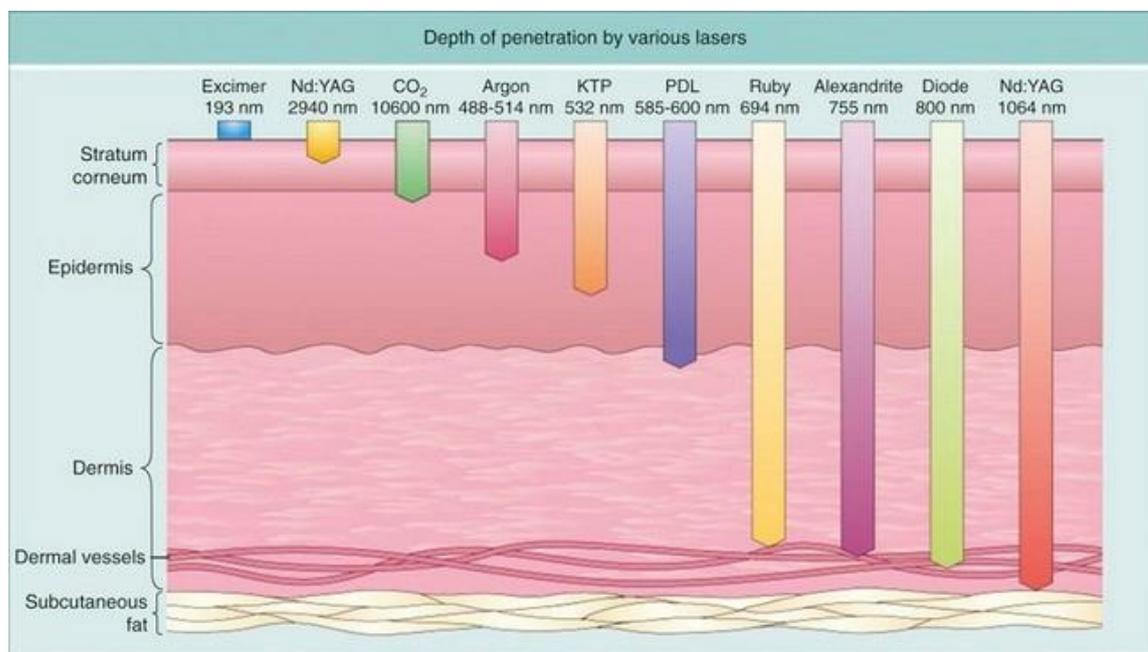


Рис. 4. Структура кожи и глубина проникновения светового излучения различных длин волн

Таким образом, очевидно, что свет в его красной части спектра рассеивается капиллярной сетью в тканях, но по мере его распространения он постепенно поглощается и ослабевает. При просвечивании через ткани испытуемого (рис. 3А) расстояние видимого распространения в поверхностных слоях ткани руки человека в условиях поставленного эксперимента не превышает 13–15 мм.

Но только ли капиллярной сеткой рассеивается свет в тканях? В предыдущей статье<sup>4</sup> было выдвинуто предположение, что свет распространяется не только по капиллярам, но и по сосудам кровеносной системы за счет отражения ее внутренними стенками (рис. 5).

4 <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001h/00164767.htm>

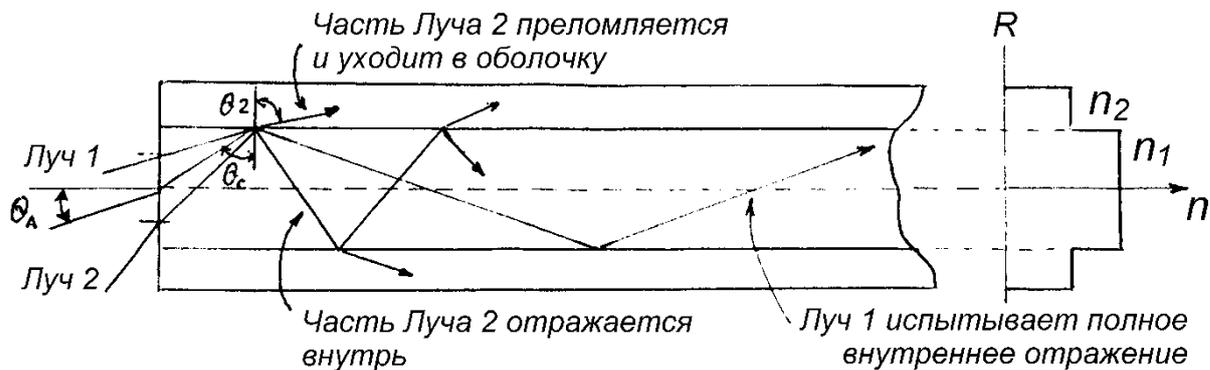


Рис. 5. Схема распространения света внутри трубки с частично прозрачными стенками

Для проверки этой гипотезы был поставлен эксперимент по прохождению света через артерии быка. Использовались 2 артерии (они поступили с мясокомбината) длиной 300 мм, диаметром 8 мм, с толщиной стенки 1 мм, очищенные от окружающих их тканей. Артерии хранились в физрастворе (рис. 6).



Рис. 6. Артерии быка в физрастворе

Одна артерия была закреплена на панели с одного конца с помощью двух саморезов, которые ее обжимали с одного из концов (рис. 7Б), другая была закреплена на фанерной панели без пережима за счет прилипания её липкой внешней оболочки (рис. 7А). Артерии с помощью шприца были заполнены обычной водопроводной водой.



А)



Б)

*Рис. 7. Кусок артерии быка, закрепленный на панели из фанеры двумя различными способами. За счет прилипания (слева) и за счет частичного обжаривания двумя саморезами (справа)*

Свет пропускался в темноте от зеленого лазера через левый и правый «рукав» двух артерий (рис. 8). Выяснилось, что при отсутствии пережимов свет распространяется примерно на 50–70 мм (в зависимости от угла попадания луча). Со стороны крепления саморезами свет не проходил дальше пережима (рис. 8Б), что свидетельствует о том, что он распространяется внутри артерии и любые ее искривления и сужения препятствуют его распространению.



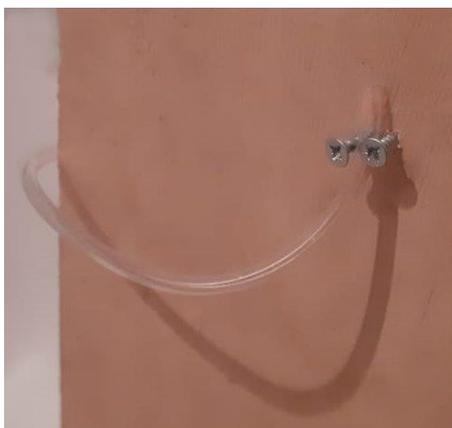
А)



Б)

*Рис. 8. Свет от зеленого лазера пропускаемый через артерию быка (слева) и через артерию, пережатую саморезами (справа)*

Для сравнения были взяты две силиконовые трубки. Толстая, 11 мм диаметром, с толщиной стенки как и у вены 1 мм, длиной 300 мм. Другая меньшего диаметра — 3,5 мм, толщина стенки 0,5 мм, но большей длины 600 мм. Они были также закреплены на фанерной панели с помощью саморезов (рис. 9).



*Рис. 9. Силиконовая трубка (от капельницы), закрепленная на панели таким образом, что 50 % ее длины, заведены за панель с тыльной стороны*

Силиконовые трубки были наполнены обычной водопроводной водой и с одного конца в темноте подсвечены зеленым светом от лазерного источника (рис. 10).



А)



Б)

*Рис. 10. Свет от лазерного источника, проходящий через толстую силиконов трубку диаметром 11 мм, при освещении ее торца лазером без направляющего конуса (слева) и с направляющим конусом (справа)*



*Рис. 11. Силиконовая трубка диаметром 3,5 мм, внутрь которой направлялся луч от лазерного источника через фокусирующий конус, светилась с тыльной стороны фанерного щита. Причем, свет распространялся, судя по изображению, исключительно внутри стенок трубки*

В ходе экспериментов с силиконовыми трубками было выявлено следующее:

- А) свет лучше проходит через тонкую трубку (рис. 11);
- Б) свет распространяется не через саму трубку, а преимущественно через стенки (рис. 12);
- В) пережим трубки практически не влияет на характер распространения света.

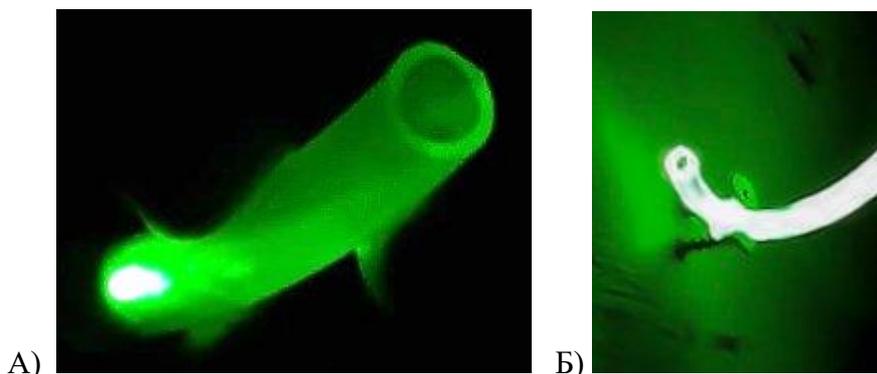


Рис. 12. При пропускании света через силиконовую трубку, он в наибольшей степени распространяется через сам силикон по стенкам. Причем, по толстым стенкам (слева) он распространяется хуже, чем по тонким (справа)

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что свет меньше рассеивается и больше проходит не внутри силиконовой трубки, а через ее стенки. И поскольку стенки у тонкой трубки в 2 раза тоньше чем у толстой, то на 1 мм пути он проходит через меньшую массу силикона, следовательно, меньше рассеивается и поэтому распространяется в 2–3 раза дальше (см. рис. 11).

Естественно, что пережав силиконовую трубку при незначительном сжатии, которое не деформирует сами стенки трубки, мы не создаем препятствия для распространения света (см. рис. 10А). А вот в случае с трубкой артерии — создаем (см. рис. 8Б), т.к. подавляющая часть света распространяется внутри артерии, а не по ее стенкам.

Для проверки проводимости света внутри артерии был вырезан небольшой по длине (40 мм) ее фрагмент (рис. 13А). Он сгибался пальцами под углом 60–90 градусов (рис. 13Б), и через него в темноте пропускался зеленый луч от лазерного источника и красный луч от светодиодного источника (рис. 14).

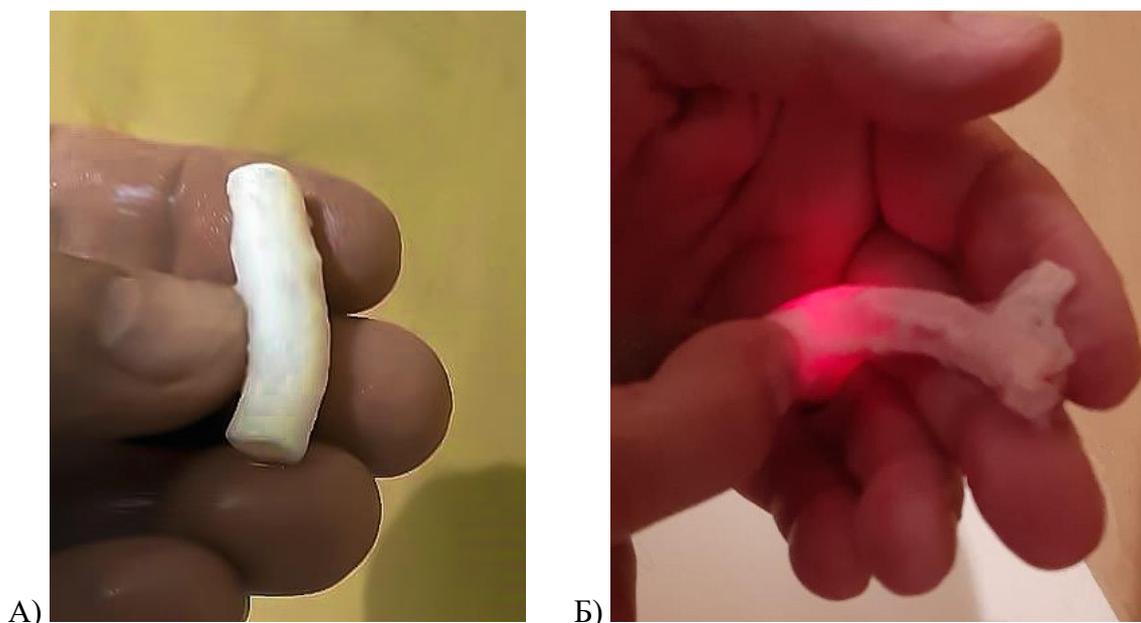
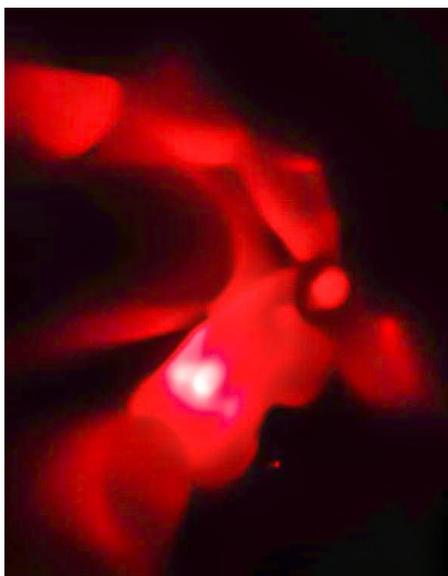


Рис. 13. Небольшой кусок артерии быка (40 мм), сгибаемый пальцами (слева), через который пропускался красный свет от светодиодного источника с фокусирующим конусом (справа)

Данный эксперимент еще раз подтвердил, что свет в артерии проводит ее внутренняя полость, а не стенки (рис. 14А). Более того, на выходе из короткой артерии возникал луч красного света, который оставлял на панели яркое круглое пятно (рис. 14Б).



А)



Б)

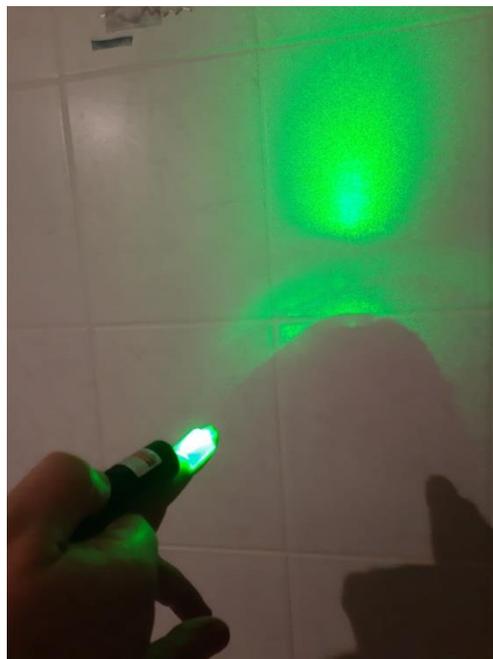
*Рис. 14. Свет от красного источника проходит через артерию, даже если она изогнута на 90 градусов (слева) внутри самой артерии. На выходе света образуется яркое красное пятно (справа)*

В результате еще раз было подтверждено, что свет распространяется внутри артерии (рис. 14А), а не по ее стенкам (как в силиконовой трубке), и артерия является природным световодом с частично прозрачными стенками.

Для окончательной проверки отражательной способности артерии ее короткий фрагмент (20 мм) был разрезан вдоль и развернут в виде плоской поверхности (рис. 15А). Аналогичный кусок силиконовой трубки (диаметром 11 мм) был также разрезан и развернут на пальце (рис. 15Б).



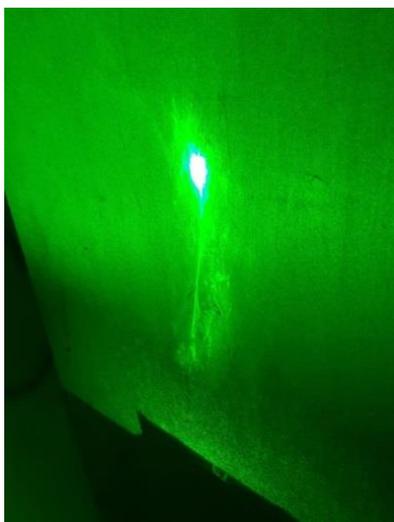
А)



Б)

*Рис. 15. Плоский фрагмент артерии (слева), на который под углом примерно в 30 градусов направлен луч зеленого лазера, и его отражение на фанерной панели. Справа аналогичный эксперимент с фрагментом силиконовой трубки*

В эксперименте с отраженным от внутренней поверхности артерии лучом лазера было выявлено достаточно четкое сфокусированное пятно от падающего луча под углом примерно в 30 градусов. При использовании внутренней поверхности силиконовой трубки такого сфокусированного пятна выявлено не было — свет отражался от силикона с повышенной степенью рассеивания (рис. 15Б). Причем при определенном угле отражения от внутренней поверхности артерии удалось получить еще более четко сфокусированное пятно (рис. 16).



*Рис. 16. Пятно на фанерной панели — результат отражения от внутренней части артерии луча зеленого лазера под углом 30 градусов*

Итак, в результате экспериментов было выяснено, что артерии являются природными световодами с частично прозрачными стенками, свет в них распространяется внутри «трубки», а не по стенкам, как у силиконовых аналогов. Ясно, что чем меньше диаметр такого световода, тем меньше потерь на поглощение и тем дальше проходит свет. Этим частично объясняется тот факт, что главным «проводником» света в организме является капиллярная сетка, у которой сосуды имеют минимальные диаметры — 7...8 мкм, что в сотни раз меньше, чем диаметр артерии в ее максимальном сечении.

Можно предположить, что именно поэтому свет распространяется по капиллярной сети наиболее далеко и именно капиллярная сеть является главным «проводником» света, который попадает на поверхность тела.

Остается невыясненным вопрос, как далеко по артериям (и, возможно, венам) распространяется свет в живом организме. Проникает ли он по этим природным световодам от поверхности тела к жизненно важным органам?