

А.И. Сухонос, Н.М. Сухонос, С.И. Сухонос

## Гипотеза о причинах мультимодального спектра крови

В экспериментальных исследованиях спектра света, проходящего через ткани и кровь человека, проведенных ранее на базе АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха» (опубликованных в виде предварительного отчета<sup>1</sup> на сайте [www.trinitas.ru](http://www.trinitas.ru)), была обнаружена мультимодальность двух типов. Для выяснения оптимальных параметров спектра светодиодов, предназначенных для использования в поясах фирмы «Моналит Текнолоджи» (Сколково), необходимо уточнение истинной природы этой мультимодальности.

### Результаты экспериментального исследования спектров света, проходящего через ткани и кровь

Первый тип мультимодального спектра с четырьмя модами: **625, 650, 670 и 690 нм** (округлено до средних значений) будем в дальнейшем условно обозначать как «спектр 625/690». Например, он возникает при прохождении белого света через ткани человека (рис. 1).

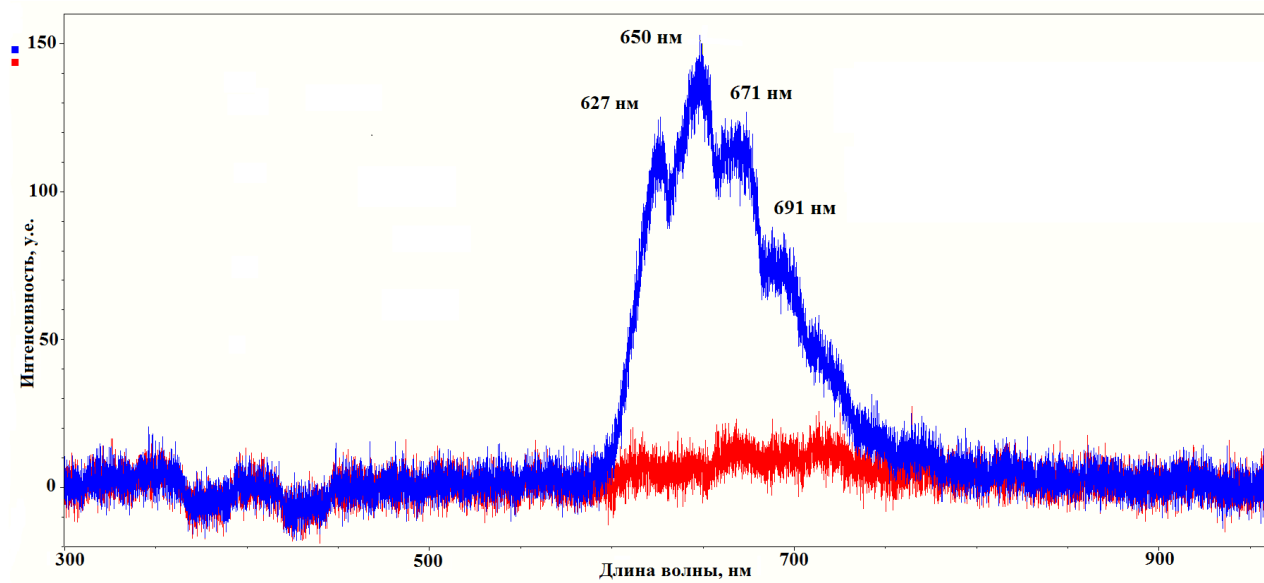


Рис. 1. Спектр излучения от «белого» светодиода, прошедшего через палец человека: синий график — палец не перетянут эластичным жгутом; красный график — палец перетянут эластичным жгутом, и свет через него не проходит

На графике выделяются четыре моды, которые отличаются друг от друга на 20–25 нм.

Аналогичные результаты были получены и при прохождении света через ткани других испытуемых (рис. 2), что говорит об универсальном значении данного мультимодального распределения, о его независимости от личности испытуемого.

1 <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0023/001a/1104-shn.pdf>

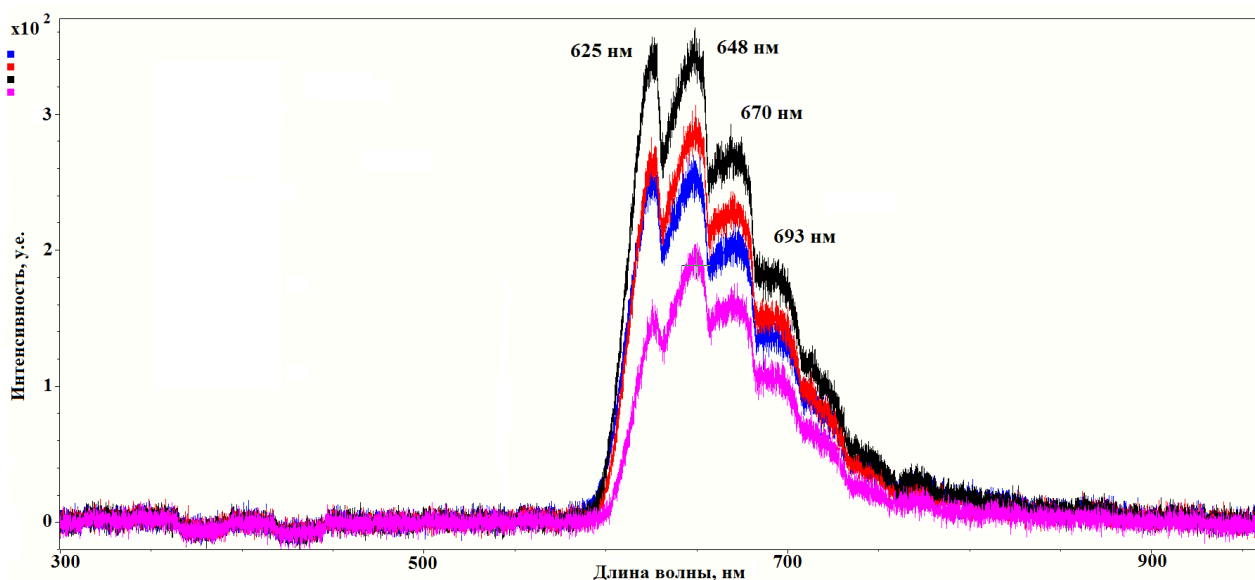


Рис. 2. Спектры прохождения света от «белого» светодиода через палец четырех разных испытуемых. Мощность спектра зависит от специфических особенностей тканей конкретного человека

Эксперименты с другими источниками света показали следующее:

При прохождении света через ткани и от **красных** светодиодов (собственный спектр с максимумом на 624 нм) результат остается практически тем же (рис. 3).

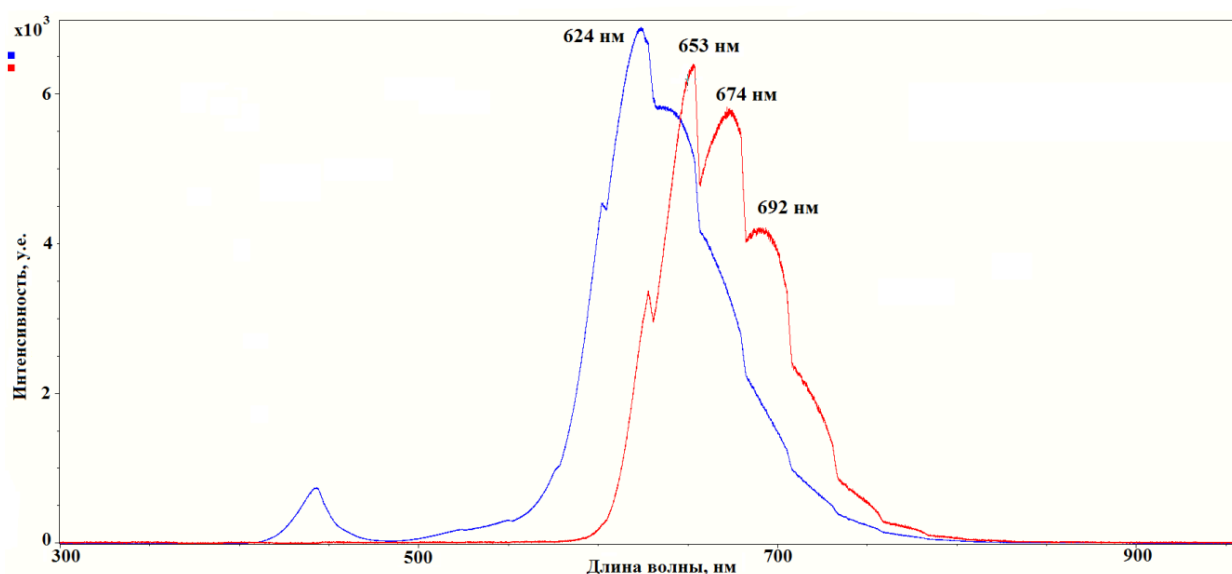


Рис. 3. Спектр излучения: синяя кривая — красная светодиодная матрица (экспозиция — 0,01 сек); красная кривая — свет прошедший через ткани человека (экспозиция — 1 сек)

Сдвиг значения мод на несколько нанометров относительно предыдущих показателей (рис. 1–2) можно принять как погрешность эксперимента. Неожиданным является слабое проявление проходящего света с длиной волны первой моды — 625 нм. Тем более, что эта длина волны является основной для светодиодного источника.

Второй тип мультимодального спектра был первый раз выявлен при прохождении через ткани света от «**синего**» светодиода (рис. 4).

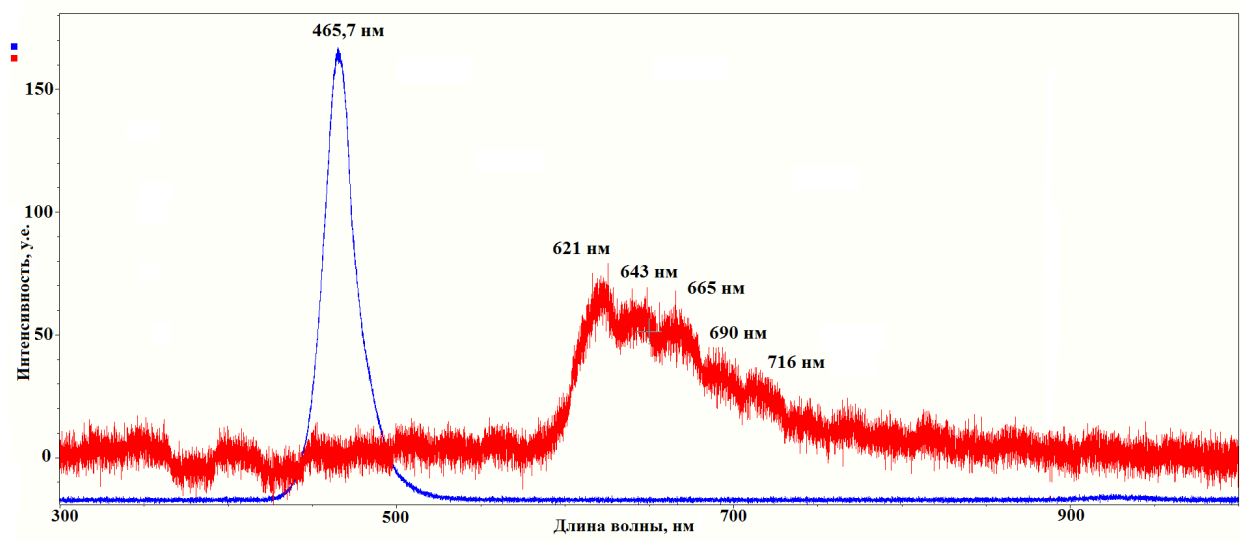


Рис. 4. Спектр излучения: «синий» светодиод (экспозиция — 0,01 сек) — синяя кривая; свет от синего светодиода, прошедшего через палец человека (экспозиция — 1 сек) — красная кривая

Значение мод имеет сдвиг влево на 5 нм относительно первого спектра: **620, 645 и 665 нм** (округленно). Четвертая мода просматривается в районе 685-695 нм, но выделить ее трудно. Есть и пятая мода в районе 715 нм (округлено)

В дальнейшем, чтобы отличать данный спектр от первого, будем обозначать его как **«спектр 620/665»**.

Аналогичный спектр со сдвигом влево на 5 нм выявлен и при прохождении света через ткань человека от «зеленого» лазера (рис. 5).

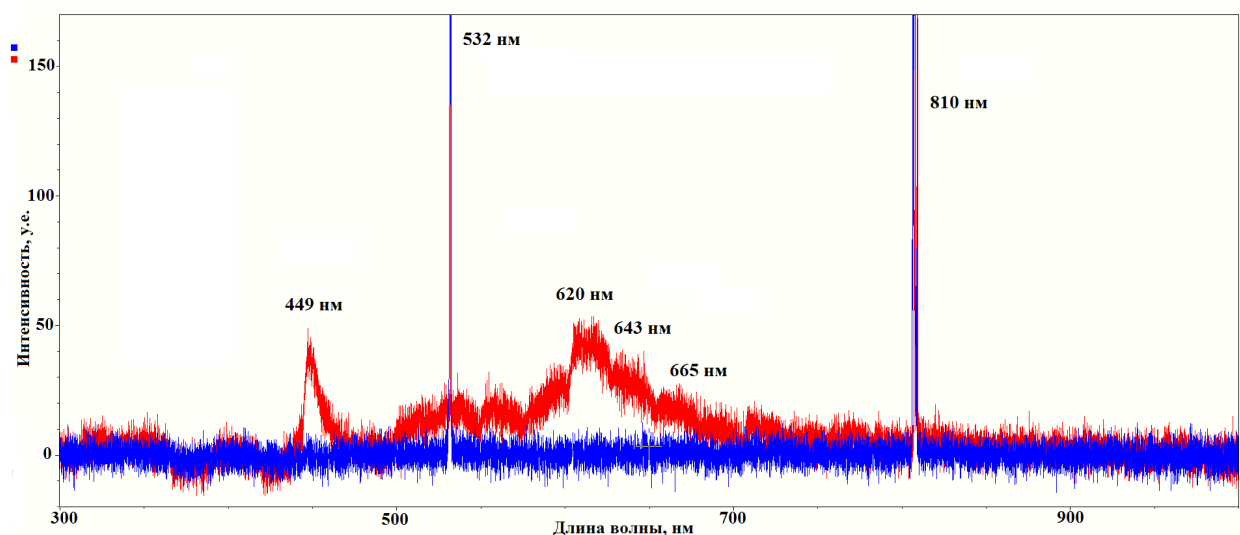


Рис. 5. Спектр излучения: «зеленый» лазер с длиной волны 532 нм (через фильтр — 0,3%, экспозиция — 0,5 сек) — синяя кривая; «зеленый» лазер через палец человека (экспозиция — 0,5 сек) — красная кривая

Здесь мы наблюдаем все те же три моды: 620, 645 и 665 нм. Четвертая мода, в районе 685–690 нм, просматривается очень слабо.

Эксперименты проводились не только с тканями человека, но и с кровью. Свет «зеленого» лазера, пропущенный через каплю крови в кювете, дал аналогичный спектр (рис. 6).

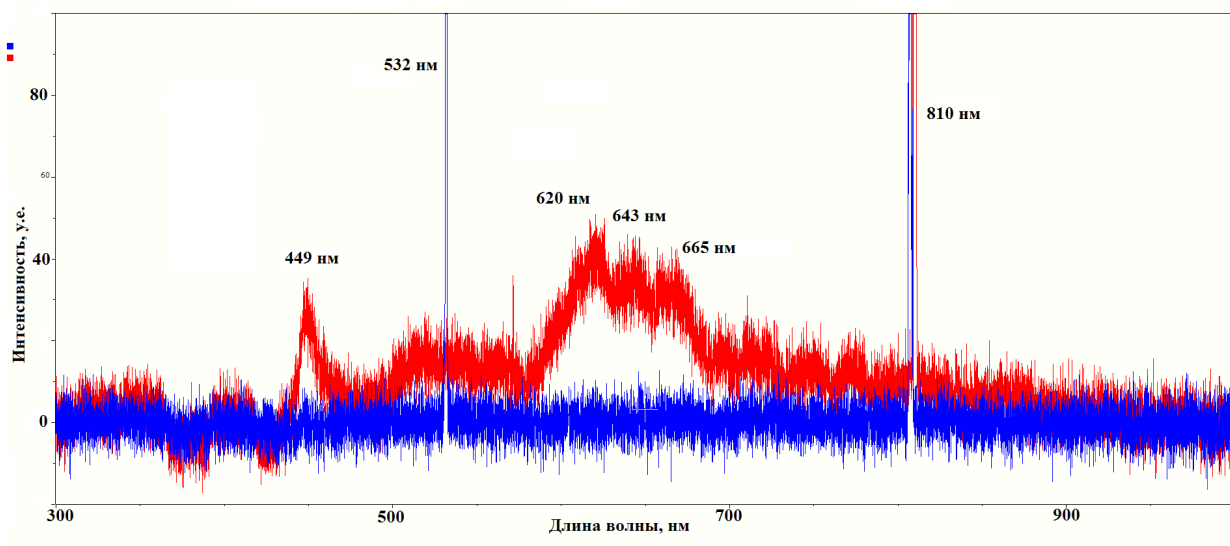


Рис. 6. Спектрограмма пропущенного через каплю крови света от «зеленого» лазера с длиной волны 532 нм

Отсутствие в спектрах «зеленого» лазера и синего светодиода *излучения в диапазоне красного света* позволяет предположить, что в данном случае мы имеем дело с *люминесценцией*.

Однако, эта гипотеза сталкивается с трудностями, которые обуславливаются тем, что свет от белого светодиода, пропущенный через кровь, дает нам две моды в районе предполагаемой люминесценции: 647 и 665 нм (рис. 7).

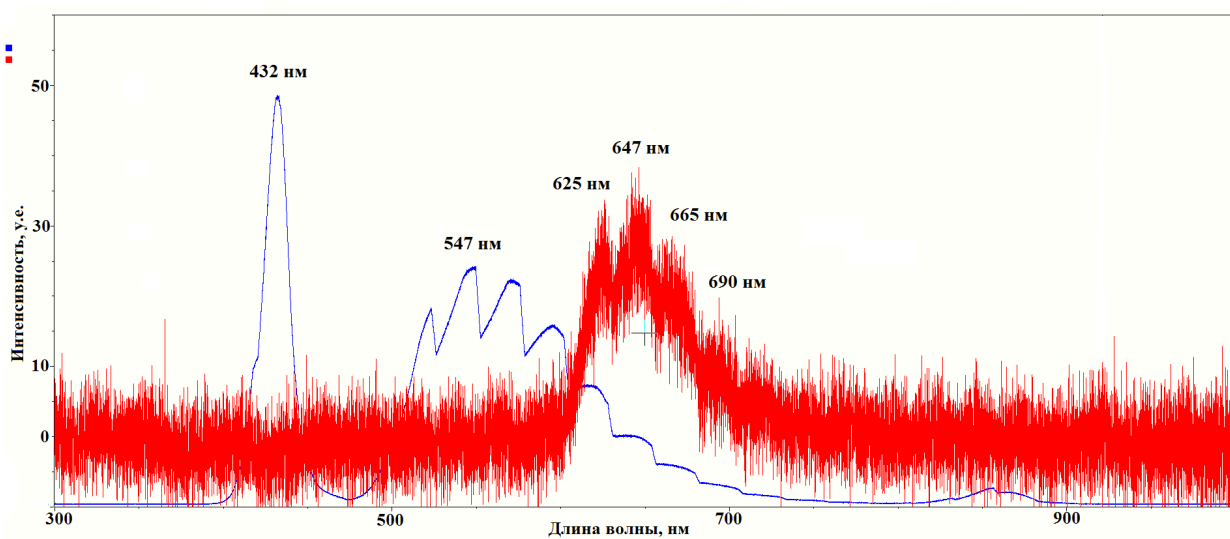


Рис. 7. Спектр света от «белого» светодиода (синяя кривая) и от света этого светодиода, прошедшего через каплю крови (красная кривая)

Однако, все полученные данные можно отнести к категории предварительных и выделение мод на графиках (как видно из самих типов графиков, представляется недостаточно точной процедурой).

Обобщая полученные данные можно сделать заключение, что для света, проходящего от разных источников через ткань человека, характерно два набора мультимодальных характеристик: первый — **625, 650, 670 и 690 нм**, и второй, сдвинутый

относительно первого на 5 нм влево — **620, 645, 665 нм** и 685 нм со слабо выраженной четвертой модой, которую сложно идентифицировать — 685 нм.

Общий мультимодальный спектр для всех спектрограмм можно определить как следующий диапазон длин волн:

- **620 — 625 нм 2) 645 — 650 нм 3) 665 — 670 нм 4) 685 — 690 нм**

Причина дискретного характера спектра требует выяснения. Тем более, что на некоторых графиках можно обнаружить слабо выраженную 5-ю моду в области 710 нм.

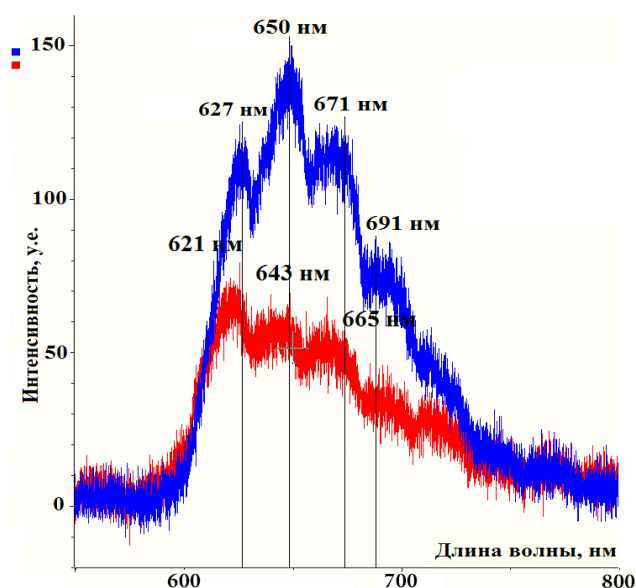
При просвечивании ткани белым и красным светом выделяется «спектр 625/690 нм». Можно предположить, что здесь мы сталкиваемся с отраженным (рассеянным) светом, который есть в спектре белого и красного источника и в данном случае люминесценция отсутствует. Поэтому данный спектр можно условно называть базовым спектром, а 620/665 — люминесцентным спектром.

Расхождение между двумя спектрами в 5 нм может быть результатом погрешности эксперимента, что может быть проверено лишь дальнейшими, более тщательными исследованиями, в том числе и крови разного состава. Однако то, что во всех экспериментах мы наблюдаем либо первый спектр, либо второй (предположительно люминесцентный), ставит под сомнение версию о погрешности. Погрешности измерения, как правило, носят стохастический, а не регулярный характер.

Удивительным является совпадение спектров люминесцентного типа со спектром света от белого светодиода, пропущенным через кровь. Чего не наблюдается при прохождении света от белого светодиода через ткани пальца. Сравнивая спектр прошедшего света через палец и через кровь от одного и того же источника — белого светодиода, мы видим разные результаты, которые трудно объяснить. Поэтому можно предположить, что спектр 625/690 является результатом воздействия на излучение не крови, а тканей человека. Например, какая-то компонента ткани человека приводит к сдвигу излучения на 5 нм вправо. Хотя и эта версия трудно согласуется с данными на *рис. 4*, которые показывают, что при прохождении через ткани возникает «спектр 620/685 нм».

Объяснить эти результаты измерений авторы не берутся. Необходимы дополнительные эксперименты.

Так или иначе предварительно и условно можно рассматривать два варианта спектра (*рис. 8*).



*Рис. 8.* Наложение двух типов мультимодальности на одном графике

## Гипотеза о причинах мультимодальности спектров крови

Еще один вопрос, который невольно возникает в связи с наличием повторяющейся мультимодальности — в чем ее биологическая и физическая причина?

В качестве рабочей гипотезы можно предположить, что свет, проходящий через палец, проходит в основном через капиллярную кровь, богатую кислородом, но в пальце присутствует и венозная кровь, которая уже отдала кислород в ткани и забрала углекислый газ (рис. 9).



Рис. 9. Схема капилляров в теле человека

Таким образом, в крови пальца есть два вида крови — артериальная и венозная, которые существенно отличаются друг от друга цветом (рис. 10), а следовательно и длиной волны проходящего через нее света.

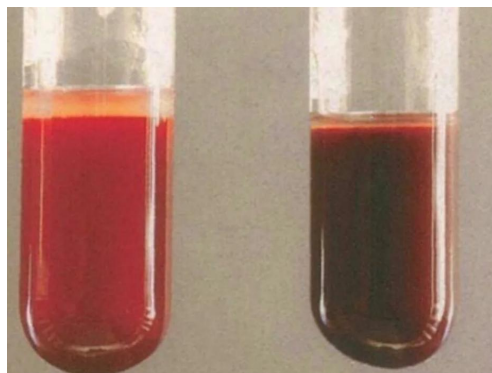


Рис. 10. Капиллярная алая (слева) и венозная «вишневая» (справа) кровь

Различный цвет крови придает гемоглобин, который в купе с кислородом и углекислым газом дает разный цвет (рис. 11).



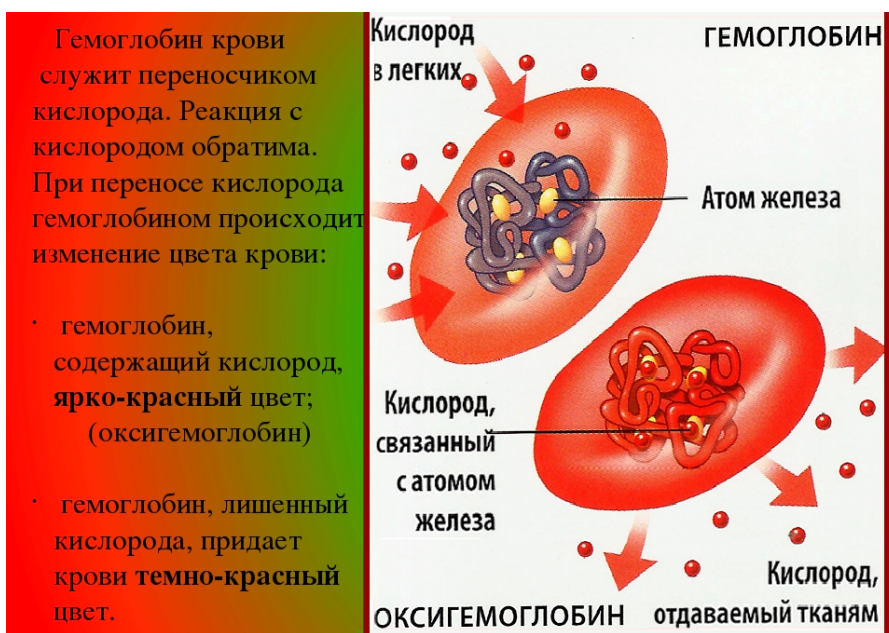


Рис. 11. Оксигемоглобин благодаря кислороду приобретает ярко красный (алый) цвет. Гемоглобин, лишенный кислорода, имеет темно-красный цвет

Поскольку капиллярная кровь имеет ярко алый цвет, а венозная — темно-красный, то можно предположить, что капиллярная кровь имеет длину волны близкую к 620 нм, а венозная — близкую к 690 нм. Но остается неясным, откуда между этими двумя модами возникают еще две — 650 и 670 нм?

И здесь можно предположить, что один из пиков возникает в спектре крови, в которой в гемоглобине нет газа вообще — ни кислорода, ни углекислоты, т.н. чистый гемоглобин. Он появляется в переходный момент в капиллярах, в тот краткий миг, когда оксигемоглобин отдал кислород, но еще не присоединил углекислый газ (рис. 12).

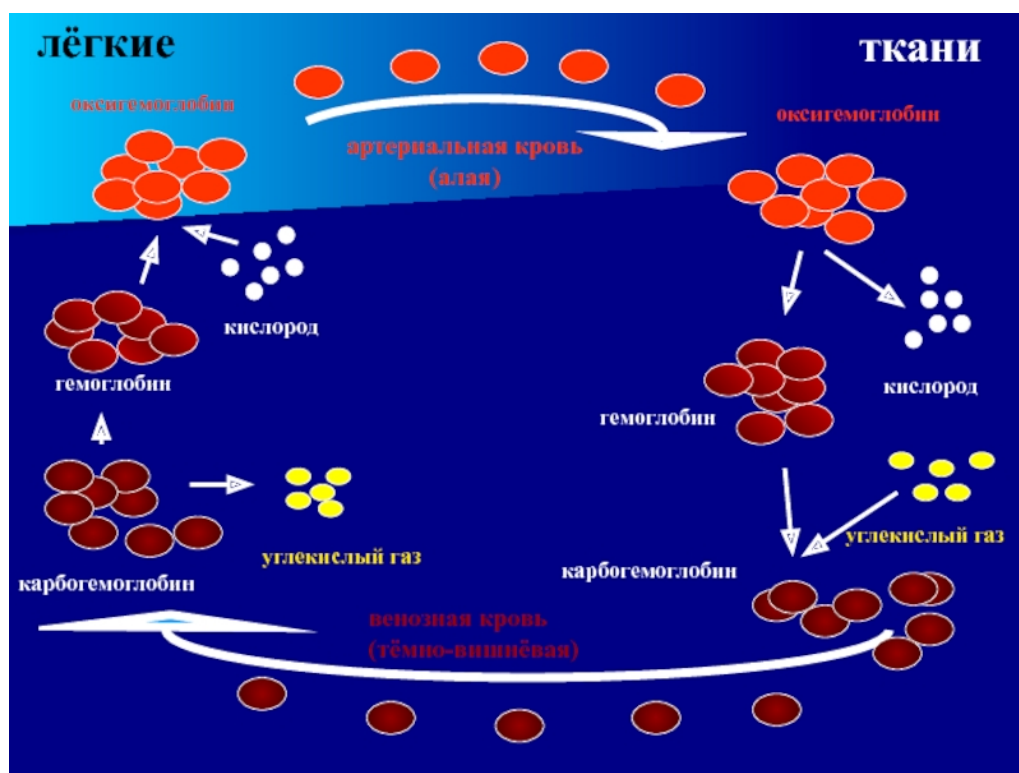


Рис. 12. Схема газообмена в организме с помощью гемоглобина.

В процессе трансформации эритроцитов, содержащий в них гемоглобин, который, собственно, и определяет красный цвет клеток крови, может находиться в трех состояниях: 1) насыщенный кислородом — оксигемоглобин ( $\text{HbO}_2$ ), 2) свободный от кислорода и углекислого газа (переходная форма) — чистый гемоглобин (Hb) и 3) насыщенный углекислым газом — карбогемоглобин ( $\text{HbCO}_2$ ). Все три модификации этой молекулы имеют разный цвет — алый (оксигемоглобин), темно-красный (гемоглобин) и «вишневый» (карбогемоглобин)

Представляется интересным определить моды в спектре этих разных видов крови.

Вполне возможно, что четвертая мода является продуктом какого-то промежуточного состояния гемоглобина (типа кислород + углекислый газ). Возможно, эта мода обусловлена присутствием в крови гликированного гемоглобина:

*«Гликированный гемоглобин отражает процент гемоглобина в крови, **необратимо соединённый с молекулами глюкозы**. Гликированный гемоглобин образуется в результате реакции Майяра между гемоглобином и глюкозой крови. Повышение уровня глюкозы в крови при сахарном диабете значительно ускоряет данную реакцию, что приводит к повышению уровня гликированного гемоглобина в крови. Время жизни красных кровяных телец (эритроцитов), которые содержат гемоглобин, составляет в среднем 120—125 суток. Именно поэтому уровень гликированного гемоглобина отражает средний уровень гликемии на протяжении примерно трёх месяцев».* (Википедия)

Вполне возможна и другая причина возникновения четвертой моды, например, наличие в крови оператора метгемоглобина и ряда других факторов. Может быть предложена еще одна версия: три вида гемоглобина дают спектр 620, 645 и 665 нм. А четвертая мода и отклонение вправо на 5 нм от этого распределения обусловлены тканями тела человека. Тогда можно предположить, что оксигемоглобин дает моду — 620 нм, свободный гемоглобин — 645 нм, а карбогемоглобин — 665 нм. Еще одна версия: оксигемоглобин имеет доминирующую моду в области 620 нм, карбогемоглобин — в области 690 нм, а сам гемоглобин дает пик в области либо 650 нм либо 670 нм.

Проверить все эти предположения, можно; лишь проведя тщательно выверенные эксперименты с прохождением света через кровь разного состава, что является задачей следующего этапа исследований.

### **Практические выводы из полученных результатов исследований**

В связи с наличием восьми (4+4) различных мод в спектре крови и ткани, сдвинутых относительно друг друга на 5 нм, возникает важный вопрос о наиболее эффективном способе воздействия красного света на кровь в плане выбора оптимальной длины волны для облучающего прибора и способа облучения. В большинстве приборов красного света, как и в природных условиях, идет облучение поверхности тела, в которой в капиллярах присутствует и артериальная и венозная кровь. Но есть приборы, например, прибор лазерного облучения крови «ЛАЗМИК-ВЛОК» мод. КЛ-ВЛОК-635-2 («Лазермедсервис», Москва), применяемые для облучения венозной крови с помощью маломощного лазерного излучения, которое подается непосредственно в вену через иглу. Неясным остается вопрос — какую кровь облучать наиболее эффективно — артериальную, венозную или смешанную капиллярную? Как проводить облучение — делать ли общее облучение тела или направленное облучение в проблемную зону?

Можно предположить, что эти вопросы не имеют особого значения и облучать можно по-разному и разной длиной волны в диапазоне от 620 до 690 нм. Но такое предположение не имеет под собой какого-то закреплённого клиническими результатами исследования. Становится ясно, что выбор длины волны для облучения, в частности, является важнейшей проблемой при конструировании лечебных и восстанавливающих поясов, которые изготавливаются в ООО «Моналит Текнолоджи».