

**Экспериментальное исследование корреляции релаксации йодопсина разных типов  
in vivo.**

*А.С. Джус*<sup>1</sup>, *А.И. Миланич*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН

Для развитых живых существ, зрительная информация является самым информативным способом получения сведений об окружающей среде. Считается что для человека, информация полученная через глаза составляет 80 % всей информации от органов чувств. Хотя человеческий глаз хорошо изучен с медицинской точки зрения, многие аспекты зрительного восприятия исследованы недостаточно, следовательно, понимание механизмов зрительного восприятия требует уточнения.

Согласно современным представлениям, цветное зрение основано на обратимой фотохимической реакции разложения йодопсина под воздействием света. У человека существует 3 типа колбочек и три типа йодопсина, ответственных за восприятие красного, зеленого и синего цвета(далее R,G,B, соответственно).

Все виды фоторецепторов в глазу человека распределены и собраны в блоках с довольно строгой мозаикой. Согласно современным методам фотографирования сетчатки [2], колбочки синего типа выделяются из общей мозаичной структуры и составляют всего 10% от всех типов колбочек, как результат их строение и поведение отличается от колбочек опонентных цветов. По этой причине в данной работе принято решение исследовать влияние разложения йодопсинов разных типов именно на восстановление синего типа йодопсина.

Данная работа посвящена исследованию процесса изомеризации хромоформной группы белков (йодопсинов) в транс-форму при поглощении света (далее «выгорание» йодопсина), дальнейшего восстановления разных типов йодопсина в глазу человека, и влиянию выгорания опонентных типов йодопсина на восстановление выбранного типа.

Между мозгом и сетчаткой находится сложная система клеток, которая осуществляет первичную обработку и упрощение информации полученной на сетчатке, поэтому априори нельзя утверждать, что восприятие восстановления йодопсинов разных типов колбочек не зависит друг от друга . Но, прямое измерение скорости восстановления йодопсина прежде не проводилось, при исследовании популярных научных источников подобные работы небыли нами обнаружены.

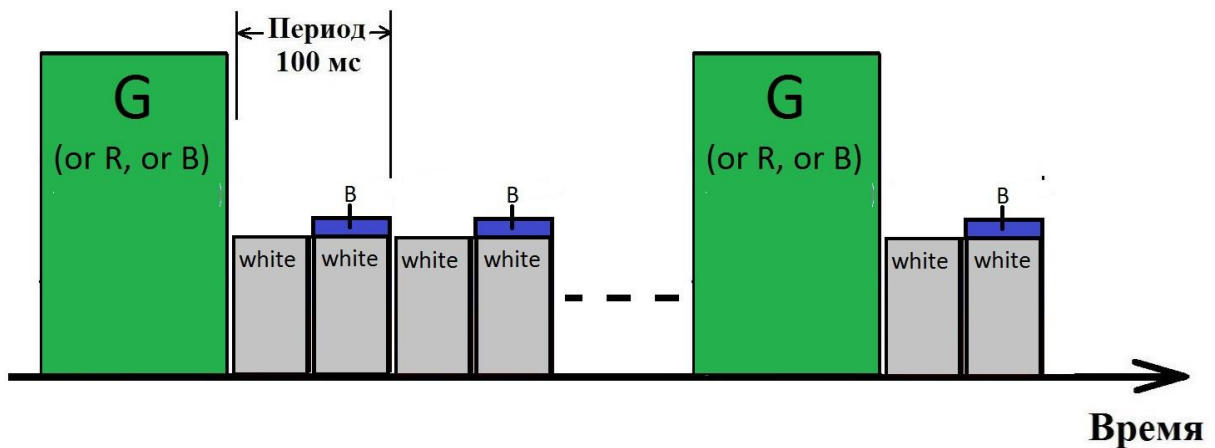


Рис.1 Последовательность импульсов при тестировании

Для исследований был разработан экспериментальный стенд, который инициировал «выгорание» выбранного типа йодопсина за счет мощной вспышки соответствующего цвета длительностью 1 с, а затем без задержки, глаз тестировался быстроменяющимися импульсами один из которых белый, а второй имеет слабую добавку тестируемого (синего) цвета. Состав цвета импульсов варьировался по изложенному в [1] методу (см. рис. 1). Частота переключения импульсов устанавливается в начале эксперимента и далее постоянна. Соотношение цветов светодиода проверялось по градациям серого при условии  $R = G = B$ .

Экспериментальный стенд был реализован на базе микроконтроллера Atmega 8 и RGB-светодиода (см. рис. 2).

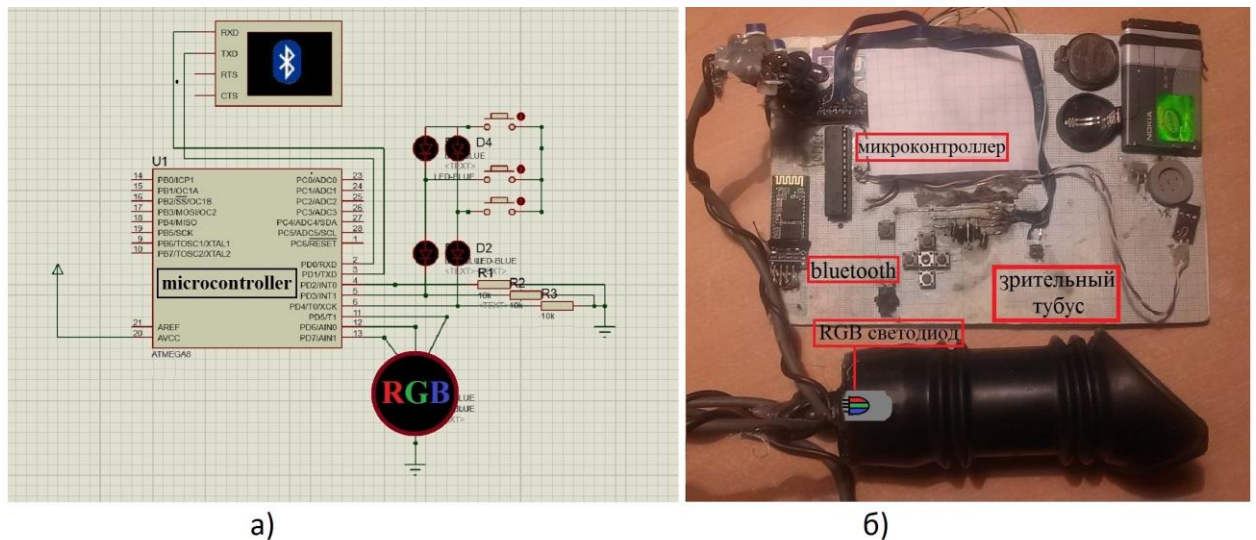


Рис. 2 Принципиальная схема устройства а) и его реализация в виде стенда б)

Сам эксперимент (рис.1) измерения времени восстановления йодопсина выглядит следующим образом: глаз засвечивается зеленым синим или красным светом (например, зеленый  $RGB=0,255,0$ ) в течении 1 секунды, а далее подается базовый тусклый белый цвет ( $RGB=40,40,40$ ) длительностью 0,05 сек. и по окончанию импульса подается белый

смешанный со слабой добавкой синиего (RGB=40,40,45) длительностью 0,05 сек. затем последовательность повторяется до момента обнаружения мигания испытуемым ( от 4 сек. до 0.7 сек.). В этот момент человек должен нажать на кнопку ,и цикл повторяется начиная с засветки ярким цветом(к примеру зеленым), и с увеличенной компонентой синего во втором из импульсов. Этот субъективный фактор - основной источник ошибок, даже на явно выраженном мигании нажатие происходит не ранее чем через 700 миллисекунд, которые при обработке результатов вычитались как естественная задержка. Таким образом, по серии из 15-20 испытаний можно установить кривую восприятия восстановления синего йодопсина в зависимости от выжигания йодопсинов базовых типов (цветов). Оптимальная для данного эксперимента частота - 10 герц, т.к. чувствительность глаза к интенсивности находится на плато от 5-ти до 30-ти герц (проверено дополнительным экспериментом), а при более высоких частотах (больше 10 герц), испытуемым начинает «мерещиться» мигание без добавления тестового цвета, что существенно увеличивает ошибку.

Эксперименты проводились на студентах МФТИ. Было установлено, что в области фотооптики полное восстановление йодопсина происходит за 2-3 секунды. Характерная кривая восстановления, построенная программой Excel, экстраполируется зависимостью  $y = \exp(-kt+c)$ , где Y-время нажатия на кнопку в миллисекундах, X-интенсивность синего цвета в RGB, k,c-коэффициенты кривой (Рис. 3) .

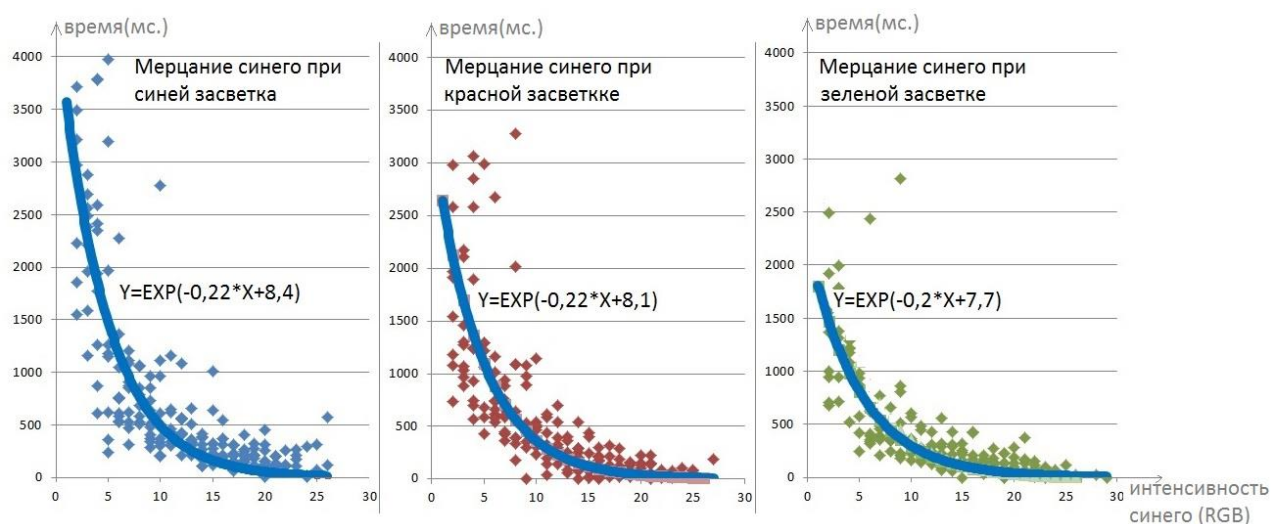


Рис. 3 Зависимость времени восстановления йодопсина от интенсивности тестового синего после зеленой синей и красной засветки.

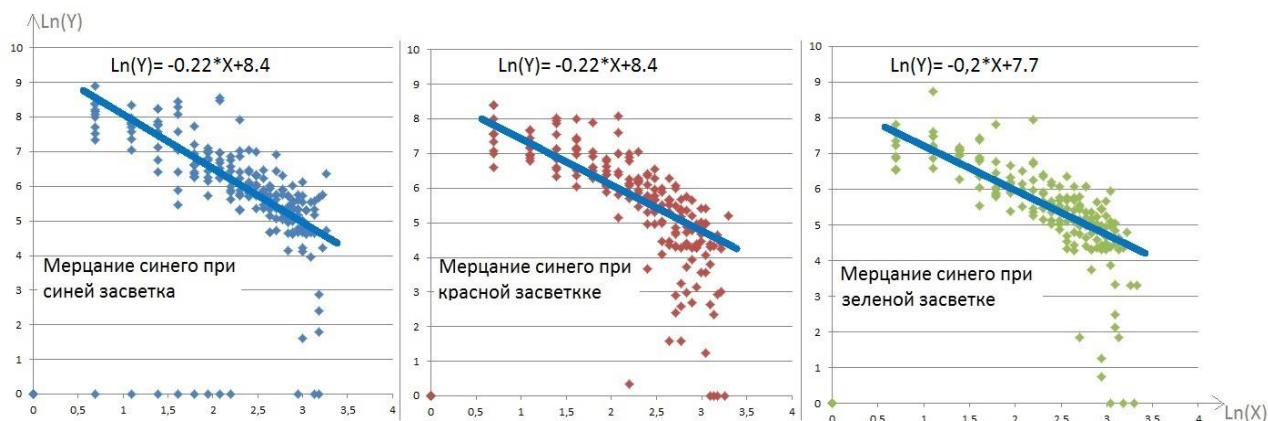


Рис. 4 Зависимость времени восстановления в логарифмических координатах .

#### Выводы.

Таким образом, предложена и опробована новая методика исследования динамики восстановления йодопсина в зависимости от изомеризации йодопсинов базовых типов *in vivo* и сконструирован экспериментальный стенд, позволяющий проводить цветовые тесты на глазе человека. Выполнено тестирование глаза и исследован характер восстановления йодопсина. Тестирование студентов МФТИ показало следующие результаты: характерное время полного восстановления йодопсина (в области фотоопии) составляет 2-3 секунды. Синее мигание при синей засветке заметно гораздо позже остальных, поскольку выжигаемый и тестируемый цвет совпадают, и наблюдается прямой эффект релаксации йодопсина. Синее мигание при красной и зеленой засветке заметно раньше, т.к. влияют на восприятие восстановления йодопсина синего типа косвенно. Восстановление зеленого типа йодопсина влияет на синий йодопсин меньше чем восстановление красного типа.

#### Литература

1. Миланич А.И. Способ определения цветного зрения в численном виде и устройство для его реализации // Патент РФ № 2499543 от 04.02.2011
2. **Shevell, S. K.** *The science of Color.*

Подписи к рисункам:

Рис.1 Последовательность импульсов при тестировании

Рис. 2 Принципиальная схема устройства а) и его реализация в виде стенда б)

Рис. 3 Зависимость времени восстановления йодопсина от интенсивности тестового синего после зеленой синей и красной засветки.

Рис. 4 Зависимость времени восстановления в логарифмических координатах .