

# Нейролаборатория ViTronics NeuroLab

$$F = ma$$

На платформе

**LEGO® MINDSTORMS® Education EV3**

## УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

## Введение

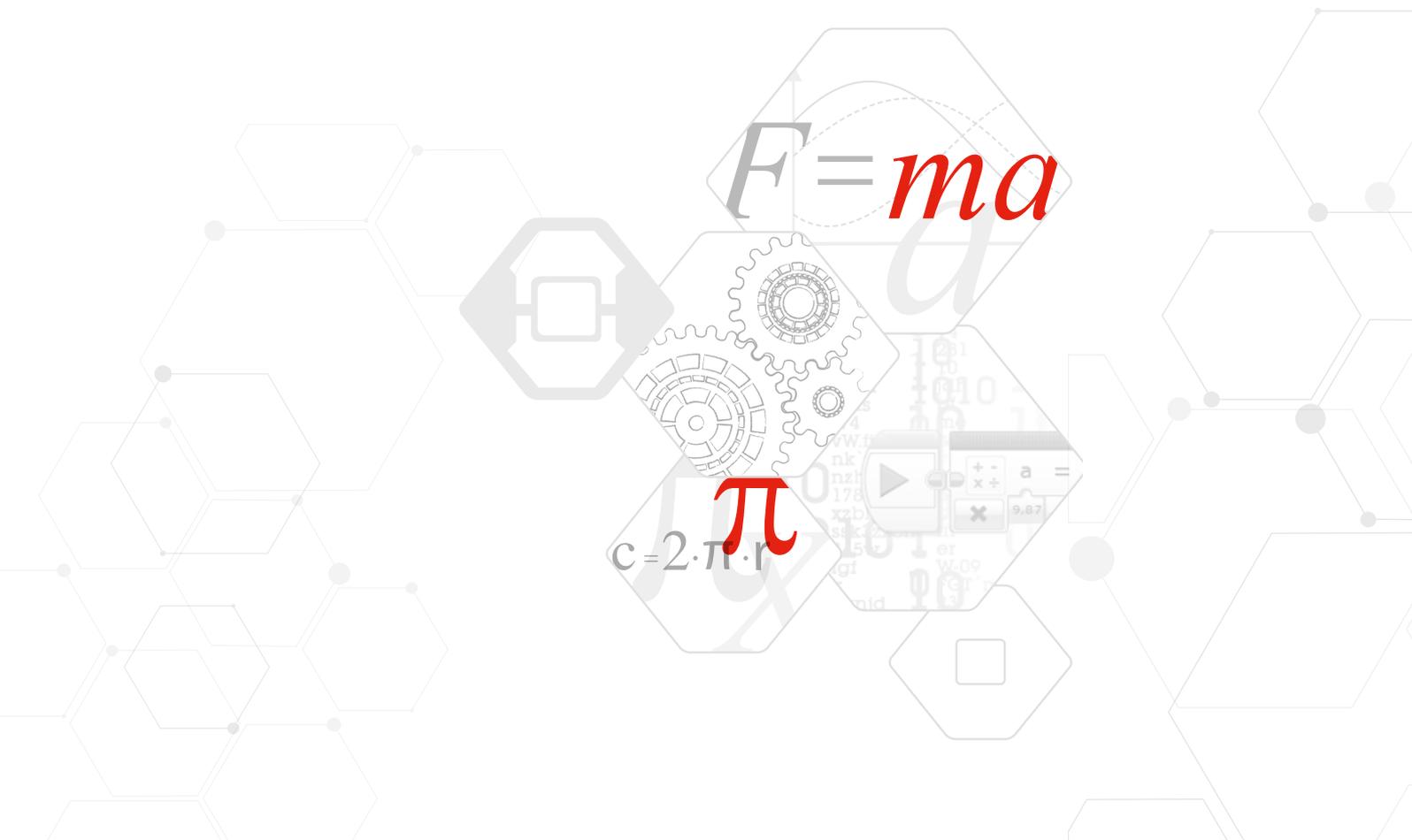
ViTronics NeuroLab – это обучающая платформа для изучения биосигналов человека. Используя конструктор Lego Mindstorms EV3 вместе с модулями биосигналов человека ViTronics NeuroLab, легко измерить пульс и сопротивление кожи, записать электроэнцефалограмму мозга и измерить мышечную активность. Образовательная программа нейроработы позволяет подробно изучить биосигналы человека в рамках школьного курса биологии. Данное пособие содержит в себе теорию по физиологии человека, а также 8 лабораторных работ, которые встраиваются в основную школьную программу. Таким образом, нейроработы позволяют изучить теоретические основы биосигналов, а также исследовать их на практике и применить полученные знания при создании инженерных проектов.

Выполняя задания лабораторных работ, учащиеся:

- познакомятся с тонкостями проведения научного эксперимента;
- смогут углубить свои знания в области биологии, информатики и физики;
- изучат базовые принципы обработки биосигналов человека.

Данный учебник является неотъемлемой частью ViTronics NeuroLab и предназначен для изучения теоретических основ перед выполнением практической работы.

Использование модулей ViTronics NeuroLab не ограничивается занятиями, предложенными в данном пособии. Изучив азы, вы сможете придумывать и проводить новые эксперименты, а также построить целую научно-исследовательскую работу в области физиологии человека и человеко-машинных интерфейсов!



# Содержание

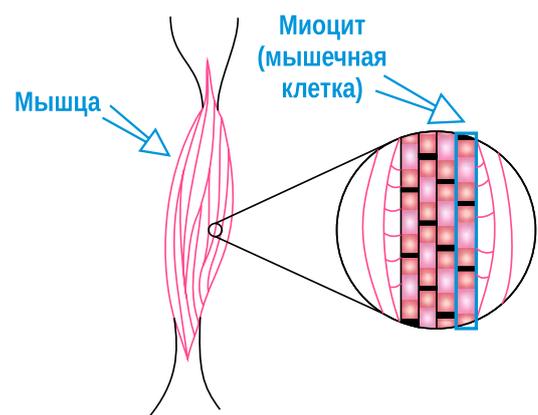
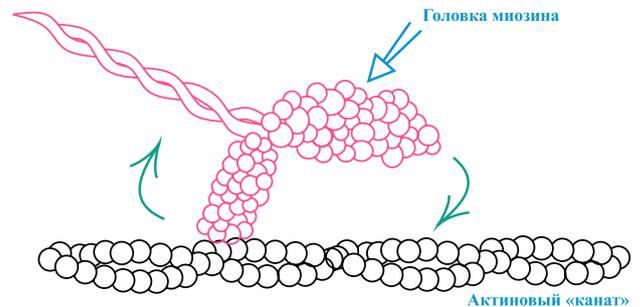
---

Молекулярные механизмы сокращения.....	4
Работа мышц.....	4
Синергисты и антагонисты.....	5
Энергия для мышц.....	6
Утомление мышц.....	7
Электромиография.....	7
Автономная нервная система.....	8
Сердечно-сосудистая система.....	9
Регуляция активности сердца.....	9
Вариабельность сердечного ритма.....	10
Оптическая пульсометрия.....	11
Нейроны и передача сигналов.....	12
Головной мозг.....	13
Электроэнцефалография.....	14
Глаз.....	15
Электроокулография.....	16
Потовые железы.....	16
Кожно-гальваническая реакция.....	17
<b>Приложения</b>	
Словарь терминов.....	18
Крупные изображения.....	19

## Молекулярные механизмы сокращения

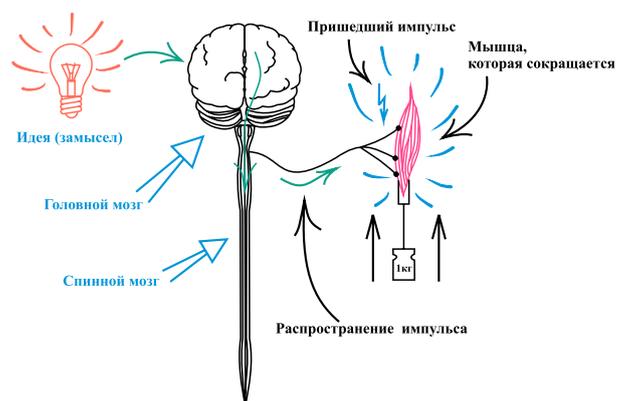
Сокращение мышцы обеспечивают миоциты – мышечные клетки. Их «двигателем» является актин-миозиновый комплекс, который состоит из двух белков: актин формирует тонкие нити, которые прикрепляются к противоположным концам клетки к Z-дискам (на микрофотографиях они выглядят как чёрные полосы, из-за чего скелетная мышечная ткань и называется поперечно-полосатой). Между нитями актина располагаются молекулы белка миозина. Этот белок имеет в своём составе две головки, которые могут прикрепляться к актиновым нитям.

Когда в цитоплазме мышечной клетки повышается содержание ионов кальция, миозин прикрепляется к нити актина и делает «гребок». За счёт энергии АТФ головка миозина отсоединяется от актина, к нему прикрепляется другая головка и делает ещё один «гребок». Таким образом за счёт энергии АТФ миозин «шагает» по актину. Благодаря этому миозин сближает актиновые нити противоположных концов клетки и миоцит сокращается. Такой актин-миозиновый комплекс развивает небольшое усилие, но в мышце их очень много, поэтому она способна развивать большую силу. Регуляция сокращения осуществляется ионами кальция: когда к миоциту приходит нервный импульс, в цитоплазму мышечной клетки поступает кальций и активирует миозин-актиновый комплекс. Однако в дальнейшем кальций выкачивается из клетки и миоцит расслабляется. Благодаря этому механизму возможны одиночные, быстрые сокращения.

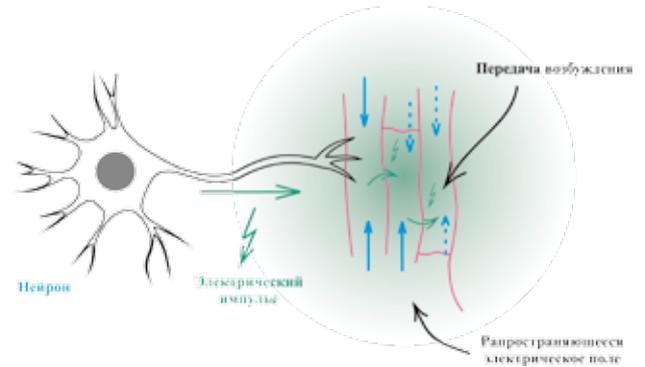


## Работа мышц

Моторчиками мышцы являются миоциты – сократительные мышечные клетки, которые изменяют свою длину и развивают усилие. Миоцитам необходимо каким-либо образом сообщить, что они должны сократиться. Для этого нейроны посылают электрические сигналы мышцам, а те в ответ сокращаются. Когда мы задумываем какое-то движение, в головном мозге активируются нейроны двигательной коры. Они передают сигналы в спинной мозг, где располагаются мотонейроны. В спинном мозге сигналы о сложном движении переводятся на понятный мышцам язык: когда и на сколько нужно сократиться. Эти сигналы к мышцам поступают через мотонейроны, которые своими электрическими импульсами управляют мышцами.



Каждая мышца состоит из так называемых двигательных единиц (ДЕ) – совокупностей из десятков или сотен клеток, которыми управляет один мотонейрон из спинного мозга. Сначала при сокращении мышцы в работу включаются медленные ДЕ, которые слабо устают и способны выполнять длительную работу (например, поддерживать вертикальное положение тела). Когда их возможностей не хватает, в дело вступают быстрые ДЕ, которые способны кратковременно развивать большую силу, но за это приходится платить их повышенной усталостью.



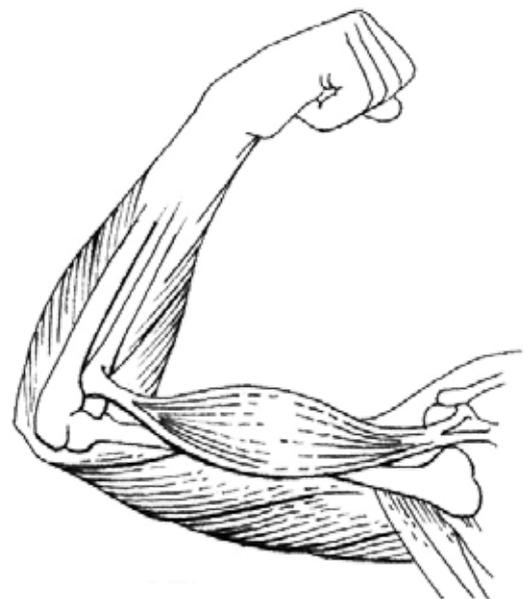
Когда к миоциту приходит электрический импульс, внутри него начинает работать актин-миозиновый моторчик – мышечная клетка сокращается. При этом сами клетки становятся маленькими генераторами электрического тока. Важно отметить, что сила сокращения определяется не величиной, а частотой приходящего сигнала. Чем чаще к миоциту приходят нервные импульсы, т. е. чем меньше промежутки времени между ними, тем большую силу он развивает, т. к. он просто не успевает расслабиться и остаётся в напряжённом состоянии. Если же по каким-то причинам протекание тока невозможно, то мышца сокращаться не будет. Расслабление мышцы происходит пассивно: если нет электрической стимуляции, то под действием упругих сил клетка возвращается в ненапряжённое состояние.

## Синергисты и антагонисты

Движение живых организмов возможно благодаря мышечным клеткам. В разных организмах они расположены различным образом, что определяет характер движения. Например, кольчатые черви не имеют скелета и передвигаются попеременным сокращением мышц, образующих их тело. Похожим образом в организме человека по желудочно-кишечному тракту происходит перемещение пищи (перистальтика кишечника). Однако такие движения не очень эффективны и скудны.

У позвоночных набор возможных движений гораздо больше. Всё дело в наличии костей, которые создают подвижный каркас. Кости скрепляются между собой суставами, которые позволяют костям двигаться друг относительно друга. Движение костей в суставах создают мышцы, которые прикрепляются к ним с помощью сухожилий.

Мышца крепится к разным костям по обеим сторонам сустава. При её сокращении возникает вращение в суставе. Зачастую движение в одном суставе создаётся не одной мышцей, а двумя группами. Когда сокращаются мышцы первой группы, происходит вращение в одном направлении, а когда сокращаются мышцы второй группы – вращение происходит в противоположном направлении. Первую группу мышц называют синергистами, поскольку они вместе выполняют одно движение, а вторую называют антагонистами, поскольку мышцы второй группы совершают движение, противоположное первой группе. Например, при сгибании руки в локтевом суставе синергистами являются двуглавая мышца плеча (бицепс) и плечевая мышца, а их антагонистом – трехглавая мышца плеча (трицепс).



В нашем теле большое число различных по своему строению суставов. Их строение по-разному ограничивает свободу движений. Её принято характеризовать числом степеней свободы: оно показывает, какое число независимых переменных нужно, чтобы описать положение костей в суставе. Локтевой сустав имеет одну степень свободы: предплечье сгибается в одной плоскости, и его положение относительно плеча можно характеризовать одним углом. Также одну степень свободы имеют цилиндрические суставы в позвоночнике. Две степени свободы присущи седловидному суставу, который связывает большой палец с кистью, суставу между лопаткой и ключицей и суставам проксимальных фаланг пальцев. Тазобедренный сустав имеет 3 степени свободы: он обеспечивает поворот бедра в двух плоскостях (влево-вправо и вперёд-назад), а также вращение бедренной кости, благодаря которому мы можем вывернуть голень вбок. Эти движения создают 10 мышц бедра, которые закреплены на бедренной кости в разных местах. Таким образом, типы суставов и характер прикрепления к ним мышц определяет все многообразие движений.

## Энергия для мышц

Чтобы мышца сокращалась, ей нужна энергия. Источником энергии в клетках являются питательные вещества: белки, жиры и углеводы. Самыми энергоёмкими из них являются жиры, белки же клетка использует для получения энергии в последнюю очередь, поскольку они выполняют множество других функций (ферментативная, транспортная, защитная и т. п.) В норме клетка использует углеводы для получения энергии.

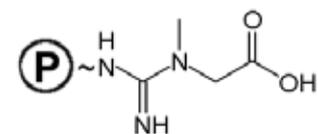
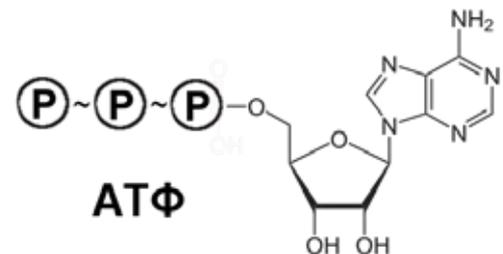
Мышечные клетки имеют запасы гликогена. Это полимер, построенный из остатков глюкозы – самого простого углевода. Когда мышца отдыхает, в ней синтезируется гликоген из глюкозы, поступающей в мышцу с током крови. Когда мышца работает, гликоген расщепляется на молекулы глюкозы. Все молекулярные машины, которые работают в клетке, используют гораздо более простой и универсальный источник энергии – аденозинтрифосфат (АТФ). Его ещё называют «энергетической валютой» клеток, поскольку энергия жиров, белков и углеводов клетки переводят в энергию АТФ. Когда от молекулы АТФ отщепляется фосфатная группа, выделяется энергия, которую могут использовать различные молекулярные машины. Одной из таких машин является актин-миозиновый комплекс.

Мышца сокращается, если миозин двигается вдоль нитей актина. Миозин прикрепляется к актину своей головкой и делает гребок. Для следующего гребка миозин использует одну молекулу АТФ, чтобы отсоединить свою головку от актина. Затем весь цикл повторяется снова. Таким образом, сокращение мышцы требует энергии АТФ.

Оказывается, что концентрация АТФ в миоцитах при умеренной нагрузке меняется слабо. Содержание АТФ клетки восполняют за счёт креатинфосфата (КФ). Из его фосфатной группы можно быстро получить АТФ. Сам же КФ синтезируется во время расслабления мышцы из избытка АТФ.

Сами молекулы АТФ клетка получает из глюкозы. Существуют два пути переработки глюкозы. В аэробном окислении глюкозы участвует кислород и образуется большое количество АТФ. Это основной, но медленный процесс метаболизма глюкозы. Но если при большой нагрузке на мышцу кислорода не хватает, чтобы восполнить нехватку АТФ аэробным окислением, запускается быстрый анаэробный гликолиз. Он не требует участия кислорода, но в этом случае образуется меньшее количество АТФ и молочная кислота. Именно она вызывает неприятные ощущения усталости в мышцах.

Таким образом, актин-миозиновый комплекс использует для своей работы АТФ. Сначала содержание АТФ восполняется за счёт расщепления КФ, затем – за счёт окисления глюкозы и распада гликогена.



**Креатинфосфат**

## Утомление мышц

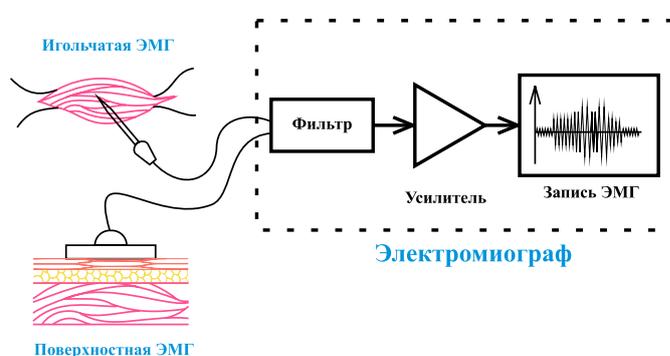
При интенсивной нагрузке мышцам требуется большое количество энергии, запасённое в молекулах АТФ. Большая их часть в покое образуется за счёт аэробного окисления глюкозы. Когда мышца интенсивно работает, требуется большее количество кислорода, чтобы получить большее количество АТФ. Для этого увеличивается приток крови к мышце, но не всегда этого бывает достаточно. Если кислорода не хватает, то мышца переключается на анаэробный гликолиз. Этот процесс не требует кислорода, однако при этом образуется молочная кислота (или лактат). Из-за этого в мышце понижается рН (она «закисляется») и возникает чувство усталости. Также растёт концентрация углекислого газа, который образуется при аэробном гликолизе, что также способствует снижению рН. Из-за изменения кислотности и недостатка АТФ снижается производительность мышцы – она устаёт. Если долгое время мышца пребывает в напряжённом состоянии, то миоциты с течением времени развивают всё меньшую и меньшую силу.

Когда мышца расслабляется, начинается процесс восстановления. Восполняется содержание АТФ и запасов энергии. При этом у клетки появляется «кислородный долг»: молочная кислота, которая образовалась в процессе гликолиза, расщепляется с участием кислорода. После нагрузки мышце нужно ещё некоторое время, чтобы полностью восстановиться и расщепить молочную кислоту.

## Электромиография

Для понимания механизма работы мышц, определения их состояния и развиваемой ими силы врачи и учёные используют электромиографию – метод, позволяющий измерить электрическую активность мышц во время их сокращения и после обработки полученного сигнала сделать вывод о различных параметрах их работы.

Внутри мышцы при её сокращении протекают крошечные токи – это проявление электрической активности мышечных клеток. Эти токи в миллионы раз меньше того тока, который протекает в спирали лампочки накаливания. Чтобы такую активность можно было измерить и изучить, используют специальные приборы – электромиографы. Они представляют собой сложные устройства, которые фильтруют электрический сигнал мышцы, очищая его от помех и шумов, а затем усиливают в десятки тысяч раз. Такой сигнал уже можно регистрировать и обрабатывать. Итак, электромиограмма представляет собой запись электрической активности мышечных клеток, а такой метод исследования мышц называется электромиографией (ЭМГ).

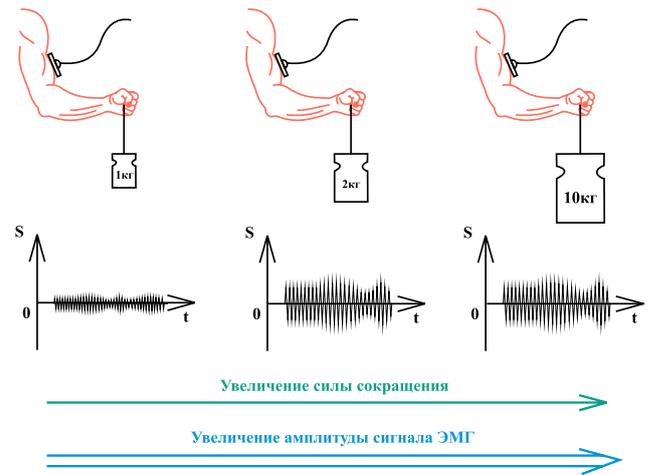


На практике чаще всего используют поверхностную ЭМГ. Её ещё называют интегральной, поскольку она объединяет (интегрирует) электрические сигналы от тысяч клеток. Для поверхностной ЭМГ используют три электрода, которые прикрепляются на тело человека и не вызывают никаких неприятных ощущений. Два из них (сигнальные электроды) по проводам передают электрический сигнал в электромиограф, а третий служит для согласования электрической цепи прибора с телом человека, в том числе, чтобы обеспечить точность измерений и минимальные помехи (этот третий электрод называется опорным, т. к. именно относительно его показаний отсчитывается сигнал ЭМГ).

Если построить график зависимости измеренного напряжения между сигнальными электродами (которое служит количественной мерой электрической активности миоцитов) от времени, то будет видна очень сложная картина, которая на первый взгляд может показаться полной неразберихой. Действительно, все клетки в мышце сокращаются не одновременно, а с разной задержкой: какие-то

миоциты расслабляются, а другие в этот момент находятся на пике сокращения. Кроме того, сигнал от них, проходя сквозь ткани к коже, сильно искажается, поэтому регистрируемый сигнал имеет сложную форму, не поддающуюся простому описанию. Однако математические методы обработки позволяют преобразовать его и извлечь много полезной и важной информации.

О чём же он может рассказать? Во-первых, на основе ЭМГ можно судить о силе сокращения мышцы по величине полученного сигнала: чем больше сила сокращения мышцы, тем больше амплитуда сигнала ЭМГ. Во-вторых, ЭМГ позволяет определить, как сильно активируются мышечные клетки и как работает сама мышца. По мере вовлечения новых ДЕ в сокращение мышцы увеличивается амплитуда сигнала, потому что работающих клеток становится больше, и растёт частота их стимуляции. Поэтому при увеличении силы, развиваемой мышцей, пик в спектре мощности сигнала смещается в область более высоких частот.



## Автономная нервная система

Деятельность всех внутренних органов организма человека регулирует автономная (вегетативная) нервная система (АНС). Мы не можем ей сознательно управлять. АНС получает информацию о состоянии внутренних органов и среды организма через разнообразные рецепторы и в соответствии с их показаниями регулирует деятельность органов. АНС состоит из двух отделов: симпатического и парасимпатического.

Симпатическая нервная система (СНС) активируется в стрессовых ситуациях, когда реализуется стратегия «беги или сражайся». Стимуляция СНС приводит к увеличению силы и частоты сердечных сокращений (ЧСС), расширению бронхов и сосудов скелетных мышц, сужению сосудов желудочно-кишечного тракта и снижению активности пищеварительной системы. СНС мобилизует все силы организма, чтобы он мог противостоять агрессивной среде.

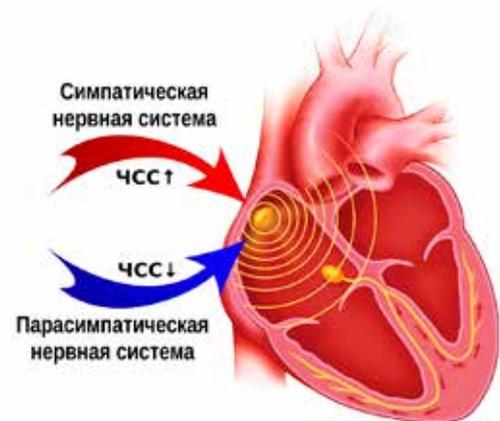
Парасимпатическая нервная система (ПНС) оказывает противоположное влияние на организм. Она снижает ЧСС и силу сокращений сердца, усиливает активность желез ЖКТ. Её деятельность ассоциируют с состоянием расслабленности, отдыха, восстановления. В норме активность ПНС превосходит активность СНС.





оно способно само себя запускать. Многие клетки сердца способны самостоятельно возбуждаться и периодически генерировать электрический ток. В норме таким водителем ритма выступает синоатриальный узел (СА-узел). Там периодически (с частотой 60–80 раз в минуту) возникает электрический импульс, который распространяется по сердцу и приводит к его сокращению.

На работу СА-узла влияет автономная нервная система. Она не подконтрольна нашему сознанию и регулирует деятельность всех внутренних органов. Её симпатический отдел стимулирует работу сердца: увеличивает силу и частоту сердечных сокращений (ЧСС, пульс), а парасимпатический отдел производит противоположный эффект: он уменьшает ЧСС и силу сокращений. В норме сердце испытывает влияния от обоих отделов, которые уравнивают друг друга. Однако при большой нагрузке или стрессе активируется симпатический отдел и сердце начинает биться чаще. Во время сна, наоборот, преобладает влияние парасимпатического отдела, и сердце сокращается реже.



## Вариабельность сердечного ритма

Сердечный ритм не является постоянным, поскольку в разных ситуациях требуется различная активность сердца: когда мы спим, потребление кислорода невелико и сердце сокращается реже, чем при беге, когда необходимо снабжать ткани большим количеством кислорода. Регуляция активности сердца осуществляется автономной нервной системой. Активность её симпатического и парасимпатического отделов определяется множеством факторов.

АНС получает информацию о состоянии организма от разных рецепторов. Одними из них являются барорецепторы, расположенные в сонных артериях и в дуге артерии. Эти рецепторы отслеживают артериальное давление. Если оно повышается, то АНС даёт сигнал сердцу биться реже и с меньшей силой, если артериальное давление падает, то АНС увеличивает силу сокращений сердца. Такая схема регуляции называется барорефлексом.

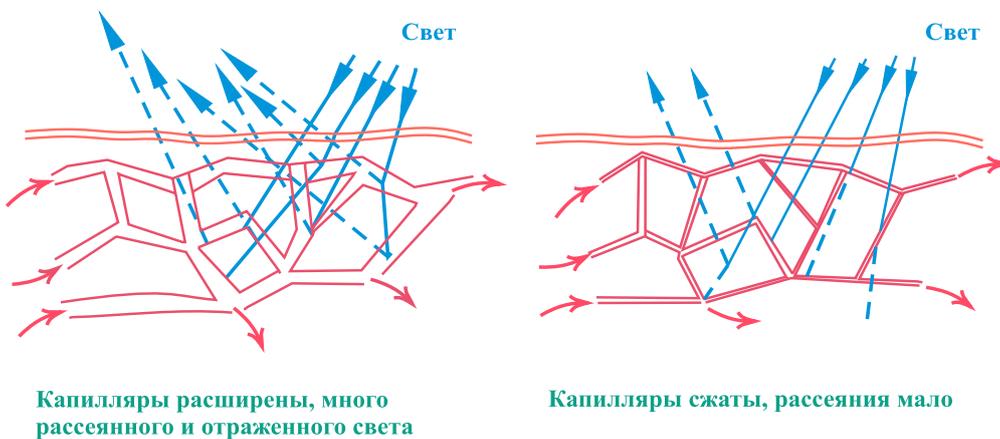
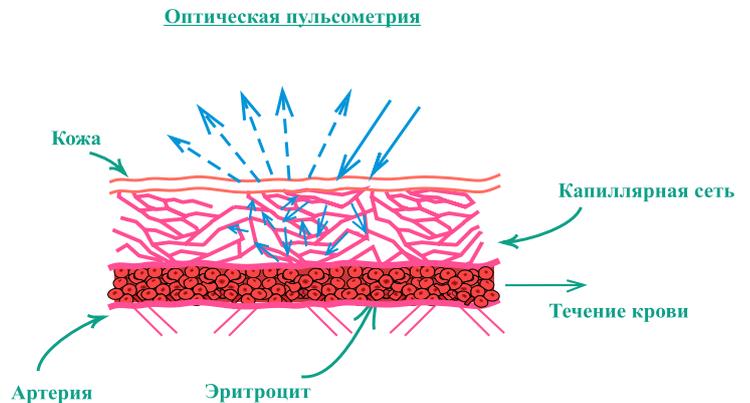
Кроме того, на активность АНС влияет дыхание. Когда мы делаем вдох, лёгкие растягиваются и это растяжение лёгочной ткани снижает активность парасимпатического отдела. На выдохе лёгкие спадаются и активность парасимпатической системы восстанавливается. Это означает, что на вдохе сердце испытывает преимущественное влияние симпатической системы, на выдохе – парасимпатической. Это приводит к учащению сердечных сокращений на вдохе и их урежению на выдохе. Наблюдаемая нерегулярность сердечного ритма называется дыхательной аритмией и является одним из проявлений вариабельности сердечного ритма. Таким образом, сердечный ритм изменяется в соответствии с активностью АНС. Одним из проявлений нерегулярности является дыхательная аритмия. Другими причинами вариабельности сердечного ритма являются барорефлексы сонных артерий, стресс и иные изменения активности АНС.



## Оптическая пульсометрия

Кровь является жидкой тканью организма человека и состоит из жидкой плазмы и содержащихся в ней форменных элементов крови, т. е. различных клеток: эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов и других. Примерно 45 % объёма крови и более 90% количества всех её форменных элементов составляют эритроциты – безъядерные клетки, содержащие белок гемоглобин, переносящий кислород от лёгких к другим тканям. Именно благодаря этим клеткам и этому белку кровь имеет красный цвет.

Розовый цвет нашей кожи обусловлен как раз отражением и рассеянием падающего света на крови в капиллярах. В покое кровь течёт только через каждый третий капилляр, остальные закрыты сжатыми предкапиллярными артериолами. Распаренная или растёртая кожа имеет красноватый цвет, поскольку в данных случаях расширяются капилляры кожи (возникает гиперемия) и через их тонкую стенку ярче проглядывает кровь. Если же температура кожи падает, то внутренние механизмы терморегуляции сжимают сосуды кожи, крови в них не остаётся, а кожа бледнеет. Аналогично, в зависимости от степени наполнения капилляров и других сосудов кровью будет изменяться интенсивность рассеянного от них света: чем больше там крови, тем больше рассеивающих частиц – эритроцитов – и тем сильнее свет будет от них отражаться.



Именно на этом принципе основана оптическая пульсометрия. Если капиллярную сеть освещать с помощью светодиода, прижатого к коже, и регистрировать рассеянный свет, то таким образом можно измерять зависимость кровенаполнения капилляров от времени. Но их наполнение кровью определяется работой сердца: после сокращения сердца кровь из левого желудочка по аорте устремляется в артерии и доходит до капилляров. При этом все сосуды, наполняясь, растягиваются под влиянием повышенного давления, которое распространяется от сердца в виде пульсовой волны. Таким образом, с помощью оптической пульсометрии можно регистрировать пульсовые волны, а по ним – определять сердечный ритм.

Пульсовая волна представляет собой волну давления, которая распространяется по крупным артериальным сосудам от сердца. Когда мы прощупываем пальцами пульс на локтевой артерии, мы чувствуем прохождение пульсовой волны. Рассмотрим причины её появления. При сокращении левого желудочка в начале сердечного цикла полулунный клапан, отделяющий его от аорты, закрыт, пока давление в желудочке не достигнет некоторого порогового значения. Затем он открывается и под

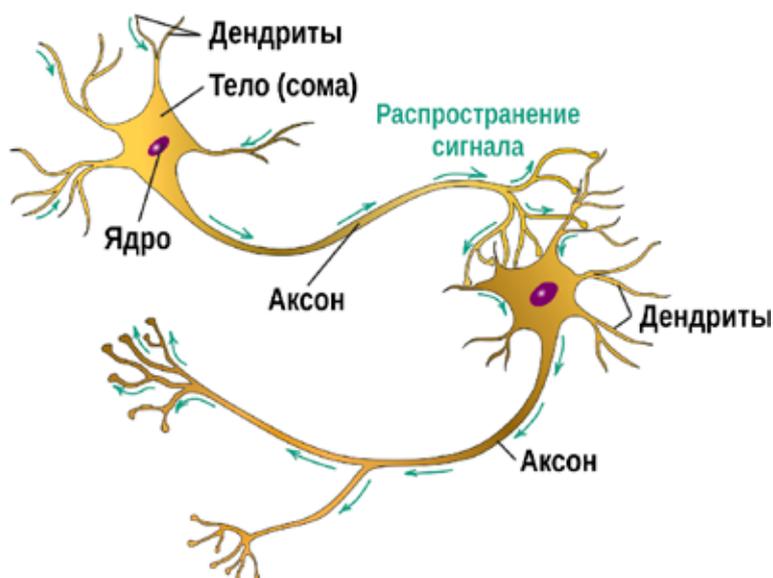
большим давлением кровь устремляется в аорту, при этом аорта немного растягивается и давление в ней повышается. Далее это повышенное давление распространяется в виде пульсовой волны по сосудам. Это связано с тем, что все сосуды являются упругими трубками, которые растягиваются при поступлении в них крови. Распространение волны происходит с конечной скоростью, а само повышение давления наблюдается в передней части волны, называемой фронтом пульсовой волны. Характер такого течения крови и распределения давления по сосудистому руслу обусловлен особыми механическими свойствами стенок сосудов.

Необходимо отметить, что максимумы пульсовой волны кровотока не совпадают по времени с систолой сердца, а идут с некоторой задержкой, т. к. она должна пройти по сосудам от сердца. Также форма (временная зависимость) пульсовой волны зависит от сосуда, который исследуется, и механических характеристик всех предшествующих ему сосудов, а они изменяются при различных патологиях. Таким образом, с помощью простого датчика оптической пульсометрии можно диагностировать по форме пульсовой волны определённые заболевания сердечно-сосудистой системы.

Кроме того, существует разновидность оптического пульсометра, который называется пульсоксиметром. Этот прибор позволяет измерять не только пульс, но и содержание кислорода в крови. Известно, что основным переносчиком кислорода является гемоглобин. В крови он может быть связанным с кислородом (оксигемоглобин) или же свободным от него (дезоксигемоглобин). Оказалось, что эти две формы гемоглобина по-разному поглощают свет, и на основе этого можно определить отношение их концентраций в крови, а значит, и содержание кислорода. Стоит отметить, что оно никогда не достигает 100 %, что связано с особенностями химических реакций и обеспечивает возможность передачи кислорода от эритроцитов окружающим тканям. В норме насыщение артериальной крови кислородом составляет 97 %.

## Нейроны и передача сигналов

Элементарным «кирпичиком» нервной системы является нейрон. Это клетка, которая самостоятельно или в ответ на приходящие нервные импульсы способна генерировать электрический ток, т. е. нервный импульс. От тела клетки (сомы) отходит длинный отросток – аксон, по которому нейрон посылает сигнал, а древовидные отростки – дендриты – служат для приёма импульсов извне. Именно с помощью таких электрических токов нейроны общаются друг с другом и способны воздействовать на другие клетки, например, заставлять мышечные сокращаться. Интересной особенностью нейронов является зависимость силы воздействия не от величины электрического импульса, а от частоты, с которой нервные клетки генерируют их: чем выше частота, тем сильнее будет воздействие от этого нейрона.



## Головной мозг

Главным органом, осуществляющим управление всем организмом, является головной мозг. Он регулирует деятельность всех систем, ответственен за сознание, мышление, речь, память и множество других функций, и является основным органом нервной системы, которая позволяет организму адекватно реагировать на различные события, получать и соединять информацию о внешнем мире и собственном состоянии, принимать решения, управлять собой и в конечном счёте выживать.

Необычайная сложность устройства головного мозга и широкий спектр решаемых им задач обусловлены огромным числом как самих нейронов, так и ещё большим числом связей между ними. Так, по оценкам учёных, головной мозг насчитывает порядка 10 млрд нервных клеток и более 10 000 млрд связей между ними. Такая организация головного мозга обеспечивает не только возможность выполнения сложных мыслительных процессов, но и пластичность мозга: зачастую при повреждении какой-либо области соответствующая ей функция практически полностью восстанавливается, поскольку её начинают выполнять другие нейроны, отрачивая новые связи друг с другом.

Стоит отметить, что в нашем мозге выделяют три типа областей, которые распределены по всей его поверхности – коре больших полушарий.

1. Сенсорные области распознают сигналы, приходящие от различных рецепторов, и именно там формируются наше восприятие мира: мы видим, слышим, чувствуем запахи и вкус, ощущаем прикосновения и текстуру предметов. В затылочной области располагается зрительная кора, в височной – слуховая, а под корой в центре мозга находятся центры, отвечающие за обоняние и вкус. Формирование тактильных ощущений происходит в т. н. постцентральной извилине, расположенной в теменной области рядом с двигательной корой.

2. Моторные зоны коры осуществляют выработку программы движения и схему расположения частей собственного тела, что позволяет нам предсказывать траекторию собственных движений. Большая часть моторных зон расположена на поверхности коры в теменной области, а именно, в районе т. н. центральной борозды. Размеры области, отвечающей за выполнение движения какой-либо частью тела, тем больше, чем больше вариантов движения у неё может быть (т. е. зона, отвечающая за движение пальцев, больше зоны, отвечающей за движение голени).

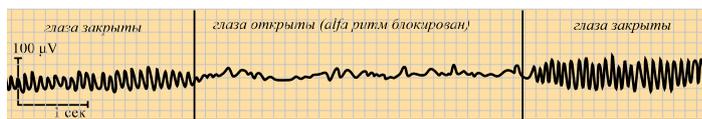
3. Ассоциативные области в коре больших полушарий позволяют человеку интерпретировать поступающую информацию из различных систем (часто они находятся рядом с областями, отвечающими за ту же сенсорную систему). Они обеспечивают понимание и формирование речи, чтение, определение положения собственного тела относительно других предметов, их распознавание и наименование, активное мышление, и пр. Короче говоря, ассоциативные зоны участвуют в процессах запоминания, научения и мышления, формируя то, что мы называем интеллектом.



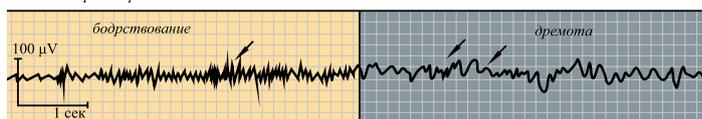
## Электроэнцефалография

Клетки головного мозга постоянно общаются между собой с помощью электрических токов. Несмотря на их малость, за счёт большого числа нейронов и сложной картины связей между ними, можно с помощью особых приборов – электроэнцефалографов – зарегистрировать такую электрическую активность мозга. Для этого на поверхности головы располагают парные сигнальные электроды, а также за ухом закрепляют опорный электрод, служащий для согласования электрической цепи прибора и тела человека. В современной практике используют не одну пару электродов (иначе говоря, отведение), а систему из 20 электродов, расположение которых строго регламентировано. Таким образом, одновременно регистрируют 10 сигналов из разных отделов мозга (система 10/20). Эти сигналы являются слабыми, поэтому также существует определённый порядок и условия измерений, чтобы не исказить их. Они усиливаются, фильтруются от помех и шумов и в конце концов записываются на компьютере или миллиметровой бумаге. Такую запись называют электроэнцефалограммой (ЭЭГ). Она имеет сложную структуру, поскольку получается от суммарного воздействия миллионов нейронов, а кроме того, он искажается из-за прохождения через мягкие ткани головы и череп. Однако, существуют математические методы, которые позволяют анализировать такой сигнал и извлекать из него полезную информацию.

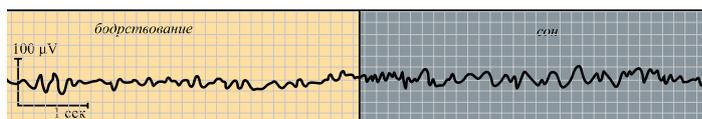
Оказывается, что электрическую активность мозга можно в виде сумм волн определённой формы – ритмов ЭЭГ. Каждый ритм ЭЭГ связывают с определённым видом деятельности или с каким-либо состоянием человека. В норме у бодрствующего человека можно наблюдать два ритма.  $\alpha$ -ритм ЭЭГ лучше всего выражен в затылочных отделах головного мозга и имеет наибольшую амплитуду в состоянии спокойного бодрствования, особенно при закрытых глазах в затемнённом помещении. Если повышается внимание (в особенности зрительное) или мыслительная активность, то амплитуда  $\alpha$ -ритма уменьшается. Кроме того, для него характерно возникновение спонтанных изменений амплитуды, выражающихся в чередующемся нарастании и снижении амплитуды волн с образованием узнаваемых «веретён». Другой ритм –  $\beta$ -ритм – представляет собой более частые колебания и присущ состоянию активного бодрствования. Наиболее сильно он выражен в лобной доле, но при различных видах напряжённой деятельности резко усиливается и распространяется на другие области мозга. Его интенсивность возрастает при предъявлении нового неожиданного стимула, при концентрации внимания, умственном напряжении или эмоциональном возбуждении. Также существуют другие, более высокоамплитудные и низкочастотные колебания, такие как  $\delta$ - и  $\theta$ -волны. В норме у бодрствующих взрослых людей они не регистрируются, а проявляются во время сна. Однако у детей эти ритмы активны даже в период бодрствования.



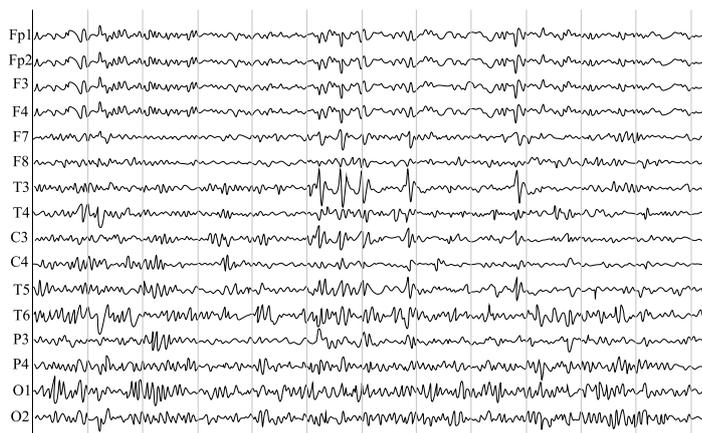
*Альфа волны: частота 8-12 Гц, присутствует в состоянии бодрствования, исчезает при открытии глаз.*



*Бета волны: состояние бодрствования и дремоты*

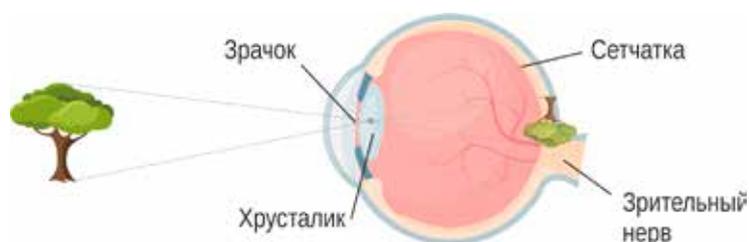


*Theta волны: присутствует и в состоянии сна, и в состоянии бодрствования.*



В настоящее время ЭЭГ широко используется в медицине для исследования работы головного мозга и диагностики различных заболеваний (например, эпилепсии). Он завоевал признание врачей своей неинвазивностью (т. е. он не связан с повреждением организма человека и проникновением внутрь него) и относительной простотой и дешёвой применением. Также в последние десятилетия ЭЭГ и похожий метод элетрокортикографии, при котором электроды накладываются в ходе операции на поверхность головного мозга, применяются в интерфейсах «мозг–компьютер», позволяя управлять внешними устройствами силой мысли. Например, парализованные люди могут заново научиться управлять манипулятором или экзоскелетом, набирать текст на компьютере и т. п. Однако эффективность таких систем не всегда соответствует запросам пациентов и врачей, поэтому в этой области остаётся ещё много неисследованного и широкий простор для создания новых подходов к пониманию и использованию «музыки» нашего мозга.

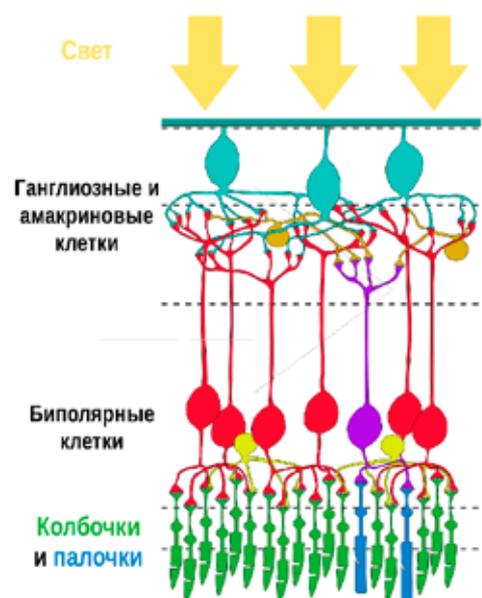
## Глаз



Главным органом одной из наиболее сложно устроенных сенсорных систем – зрительной – является глаз. Он представляющий собой оптическую систему, которая проецирует изображение окружающего мира на светочувствительную сетчатку, передающую информацию в головной мозг.

Радужная оболочка действует как диафрагма фотоаппарата и регулирует количество поступающего в глаз света в зависимости от освещения и психоэмоционального состояния. За ней располагается линза с регулируемым фокусным расстоянием – хрусталик. Благодаря специальным мышцам он может изменять свою кривизну, а следовательно, фокусироваться на разных расстояниях, что позволяет сформировать чёткое перевернутое и уменьшенное изображение на сетчатке.

Сетчатка является светочувствительным элементом глаза, который преобразует световую энергию в нервные импульсы. Для этого на дне глаза под слоем нервных клеток, являющихся по своему происхождению частью головного мозга, и вспомогательных клеток располагаются светочувствительные (фотосенситивные) клетки. Их можно разделить на два типа: колбочки, отвечающие за восприятие синего, красного и зелёного цветов и формирующие, таким образом, цветное зрение, и палочки, которые регистрируют только интенсивность света, но при этом очень чувствительны, и именно благодаря им мы можем видеть даже тусклый свет звёзд. Палочек больше колбочек, их распределение неравномерно и неодинаково по сетчатке. Например, светочувствительные клетки отсутствуют в области сосочка, от которого отходят зрительные нервы, а в центре глазного дна палочек нет совсем, а колбочек – больше всего.



## Электроокулография

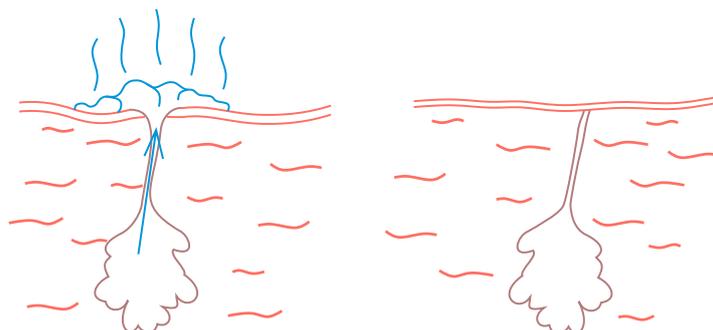
Глаз в силу своего строения является электрически поляризованным: его сетчатка заряжена отрицательно, а роговица имеет положительный заряд. Получается, что существует ненулевое напряжение между роговицей и сетчаткой. Это явление обусловлено работой клеток пигментного эпителия, выстилающего сетчатку. Когда они освещаются светом, проходящим через зрачок, в них протекают химические реакции, сопровождающиеся электрической активностью, и потенциал эпителиальных клеток изменяется в зависимости от уровня освещения. Чем ярче свет, падающий на сетчатку, тем сильнее поляризуются клетки пигментного эпителия и тем больше наблюдаемое напряжение между роговицей и сетчаткой.

Такую поляризацию глазного яблока можно зарегистрировать, располагая электроды на лице вблизи глаза. Как правило, две пары электродов располагают по обе стороны глаза в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Тогда при повороте глаза вправо будет меняться ориентация его электрической оси: к одному из электродов в горизонтальной плоскости ближе будет положительно заряженная роговица, а к другому – отрицательно заряженная сетчатка. Из-за этого изменяется конфигурация электрического поля вокруг глаза, а значит и напряжение между горизонтальной парой электродов: при повороте глаза в одну сторону изменение напряжения будет положительным, а в другую – отрицательным. Чем больше будет отклонение глаза от равновесного положения (когда человек смотрит прямо перед собой), тем больше будет наблюдаемое отклонение напряжения от равновесного значения.

Описанный метод исследования положения глаз называется электроокулографией. Для получения электрических сигналов используется две пары электродов, которые располагаются в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Такая конфигурация электродов позволяет определять направление взгляда, поскольку одна пара электродов отслеживает поворот оси глаза только в плоскости их расположения, а две пары электродов позволяют задать два угла поворота: в горизонтальной плоскости и в вертикальной плоскости.

## Потовые железы

Каждый день с поверхности нашего тела испаряется пот, который производят потовые железы. Выделяют два типа потовых желез. Апокринные железы, расположенные в подмышечных впадинах и паховой области, определяют запах тела и реагируют на раздражители, вызывающие стресс или другие эмоциональные реакции. Эккринные потовые железы расположены по всей поверхности тела и выделяют обычный пот. Известно, что он представляет собой водный раствор солей и в небольшом количестве содержит продукты расщепления белков и жиров. Эккринные железы выполняют другую функцию – терморегуляцию, т. е. за счёт испарения пота они помогают поддерживать постоянную температуру тела. Однако те эккринные железы, которые расположены на ладонях и подошвах ног, а также на лбу и под мышками, реагируют в основном на внешние раздражители и стрессовые воздействия.



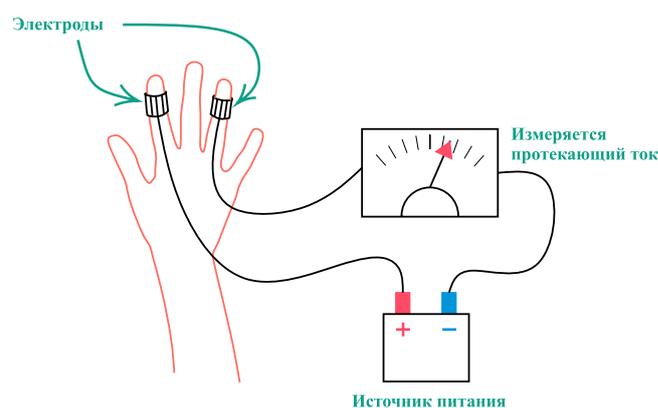
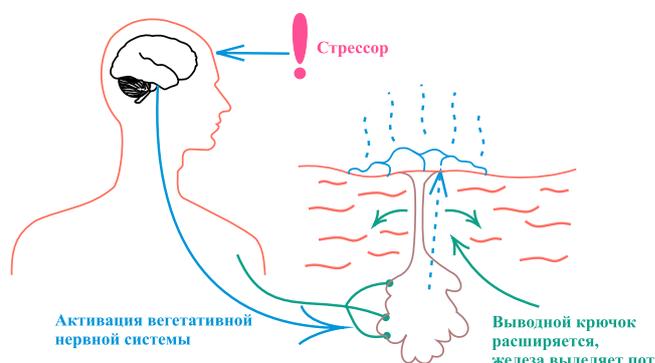
## Кожно-гальваническая реакция

Как же деятельность потовых желёз связана с психоэмоциональным состоянием человека? Управление состоянием и активностью внутренних органов осуществляет автономная нервная система. На работу потовых желёз влияет по большей части симпатическое звено: если оно активируется, то железы расширяются и выделяют пот.

Если человека испугать или иным образом изменить его психоэмоциональное состояние, то происходит активация симпатической нервной системы. При этом увеличивается частота сердечных сокращений (учащается пульс), сосуды в мышцах расширяются, а в органах желудочно-кишечного тракта – сжимаются. Как уже было сказано, при этом потовые железы начинают активно выделять на поверхность кожи пот, причём они крайне чувствительны: даже небольшое воздействие (например, напряжённая умственная деятельность), которое не влияет на работу других систем организма, возбуждает нервные волокна, идущие к потовым железам. Несмотря на незначительность таких изменений, протекающих в коже, реакцию на внешние раздражители можно зарегистрировать, измеряя электропроводность кожи. Вообще говоря, сухая кожа является не очень хорошим проводником электрического тока, поскольку её верхний слой составляют ороговевшие (умершие) клетки, а основной вклад в проводимость вносит наличие растворов солей в окружающем клетки пространстве. Как раз благодаря своей солёности пот является хорошим проводником электрического тока. Поэтому, когда кожа потеет, на её поверхности образуются проводящая плёнка, которая обеспечивает высокую проводимость кожи.

Получается, что, измеряя этот показатель, можно судить о степени активации вегетативной нервной системы, а значит, о психоэмоциональном возбуждении: чем оно выше, тем больше электропроводность кожи. Это явление называют кожно-гальванической реакцией (КГР). Наиболее простым методом исследования КГР является метод Фере, который заключается в следующем: на коже закрепляются два электрода (как правило, в виде маленьких манжеток или зажимов на пальцы рук), которые подключают к источнику питания (батарейке), и затем измеряют величину электрического тока. Чем она больше, тем выше электропроводность кожи.

Такая простая технология получила широкое распространение в различных системах контроля психоэмоционального состояния человека. Например, модуль для записи КГР входит в состав т. н. полиграфов, которые часто неправильно называют «детекторами лжи». Эти приборы имеют множество датчиков и позволяют точно и надёжно определить, изменилось ли эмоциональное или психологическое состояние человека, но не могут сказать, из-за чего это произошло: в ответ на заданный «неудобный» вопрос или из-за духоты в помещении. Также КГР применяют для оценки стресса у машинистов, лётчиков и других работников, для которых важно быть внимательными и сосредоточенными.



## Словарь терминов

---

**Автономная (вегетативная) нервная система (АНС)** – часть нервной системы, которая без участия сознания поддерживает постоянство внутренней среды организма, регулирует жизненно важные функции (дыхание, сердцебиение, пищеварение и т. п.) и работу внутренних органов. Активность АНС зависит от эмоционального и физического состояния человека.

**Актин-миозиновый комплекс** – основной двигательный элемент мышечных клеток, состоящий из тонких нитей актина и толстых нитей миозина, вложенных друг в друга. Миозин «шагает» по поверхности актина, и мышечная клетка сокращается.

**Вариабельность сердечного ритма** – изменчивость ритма сердца и интервалов между его сокращениями под влиянием автономной нервной системы.

**Головной мозг** – главный орган центральной нервной системы, управляющий всем организмом и отвечающий за высшие нервные функции: мышление, эмоции, чувства и пр.

**Кожно-гальваническая реакция (КГР, также электрическая активность кожи, ЭАК)** – изменение электрического сопротивления кожи при изменении активности потовых желёз под действием автономной нервной системы.

**Миоцит** – мышечная клетка, которая с помощью актин-миозинового комплекса сокращается в ответ на электрический импульс.

**Мышцы** – часть опорно-двигательного аппарата, предназначенная для выполнения различных действий: движения тела, поддержания позы, сокращения голосовых связок, дыхания.

**Нейрон** – электрически возбудимая клетка, которая обрабатывает, хранит и передает информацию с помощью электрических и химических сигналов.

**Нерв** – составная часть нервной системы, состоящая из сплетения нервных волокон, обеспечивающая передачу сигналов между головным и спинным мозгом и органами.

**Нервная система** – совокупность нервных структур, которая обеспечивает регуляцию деятельности всех систем организма человека и реакцию на изменение внутренней и внешней среды

**Пульсовая волна** – распространяющаяся по артериям волна повышенного давления, вызванная выбросом крови из сердца в аорту

**Сердце** – четырёхкамерный мышечный насос, перекачивающий кровь по кровеносным сосудам. Состоит из двух предсердий и двух желудочков. Левые предсердие и желудочек прокачивают кровь по большому кругу кровообращения, а правые – по малому.

**Сетчатка** – светочувствительная область на дне глазного яблока. Состоит из рецепторных клеток: колбочек, обеспечивающих цветное зрение, и палочек, реагирующих на общий уровень освещённости.

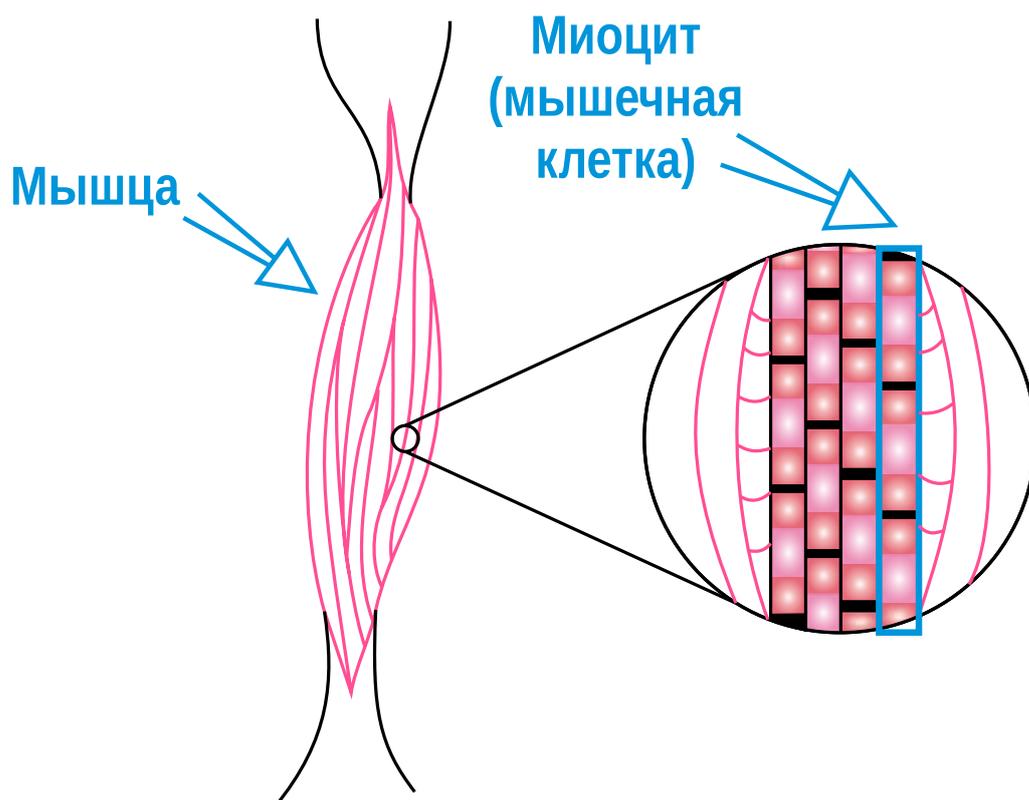
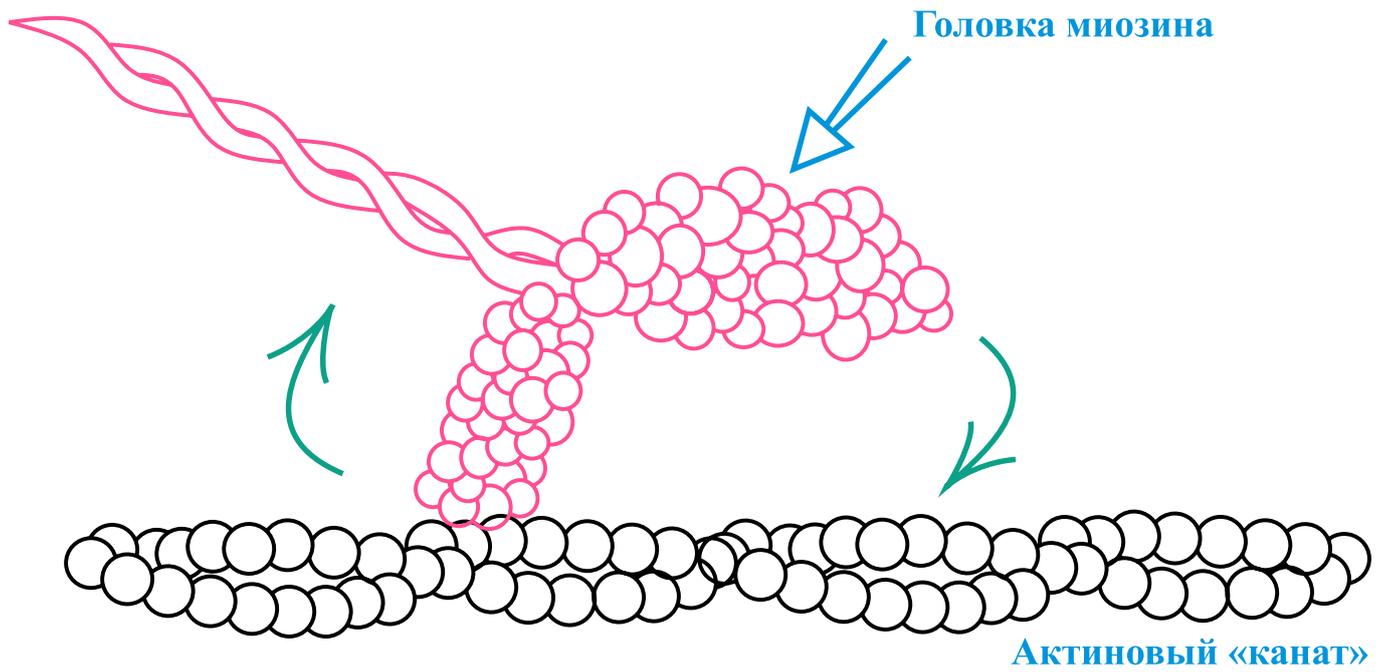
**Спинной мозг** – орган центральной нервной системы, расположенный в позвоночном канале, и отвечающий за управление мышцами и обмен сигналами между головным мозгом и другими органами.

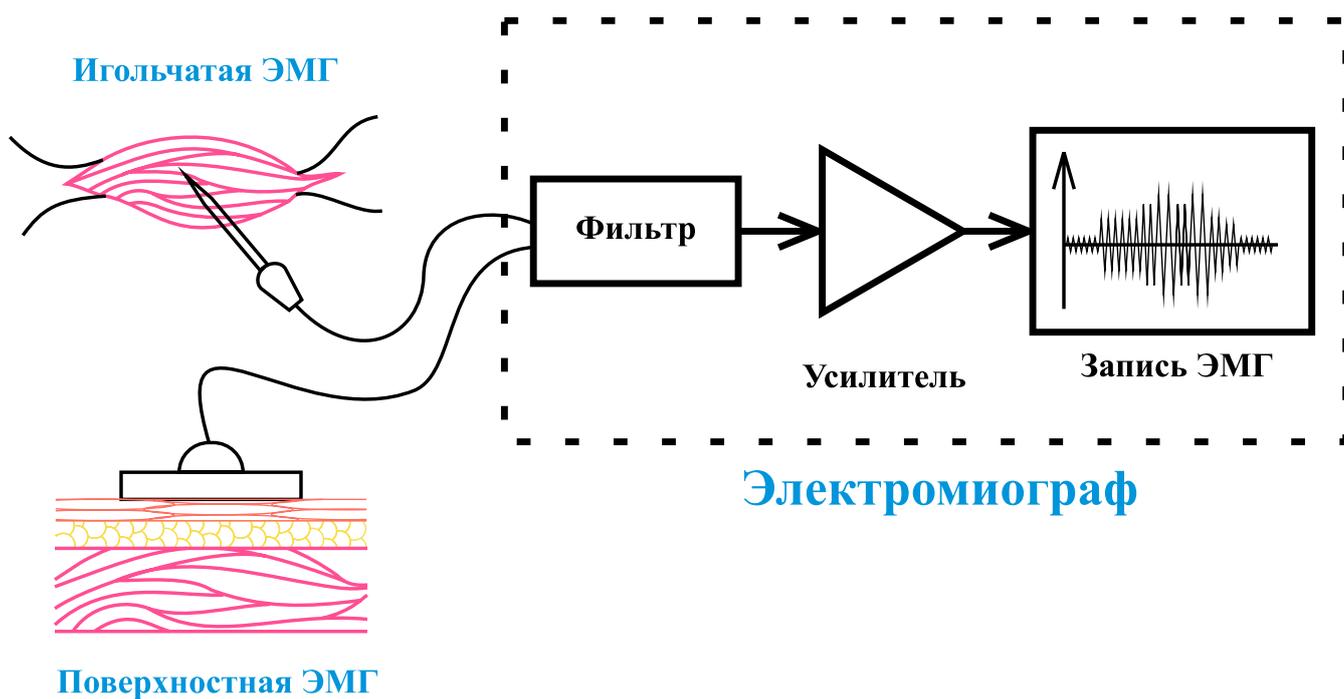
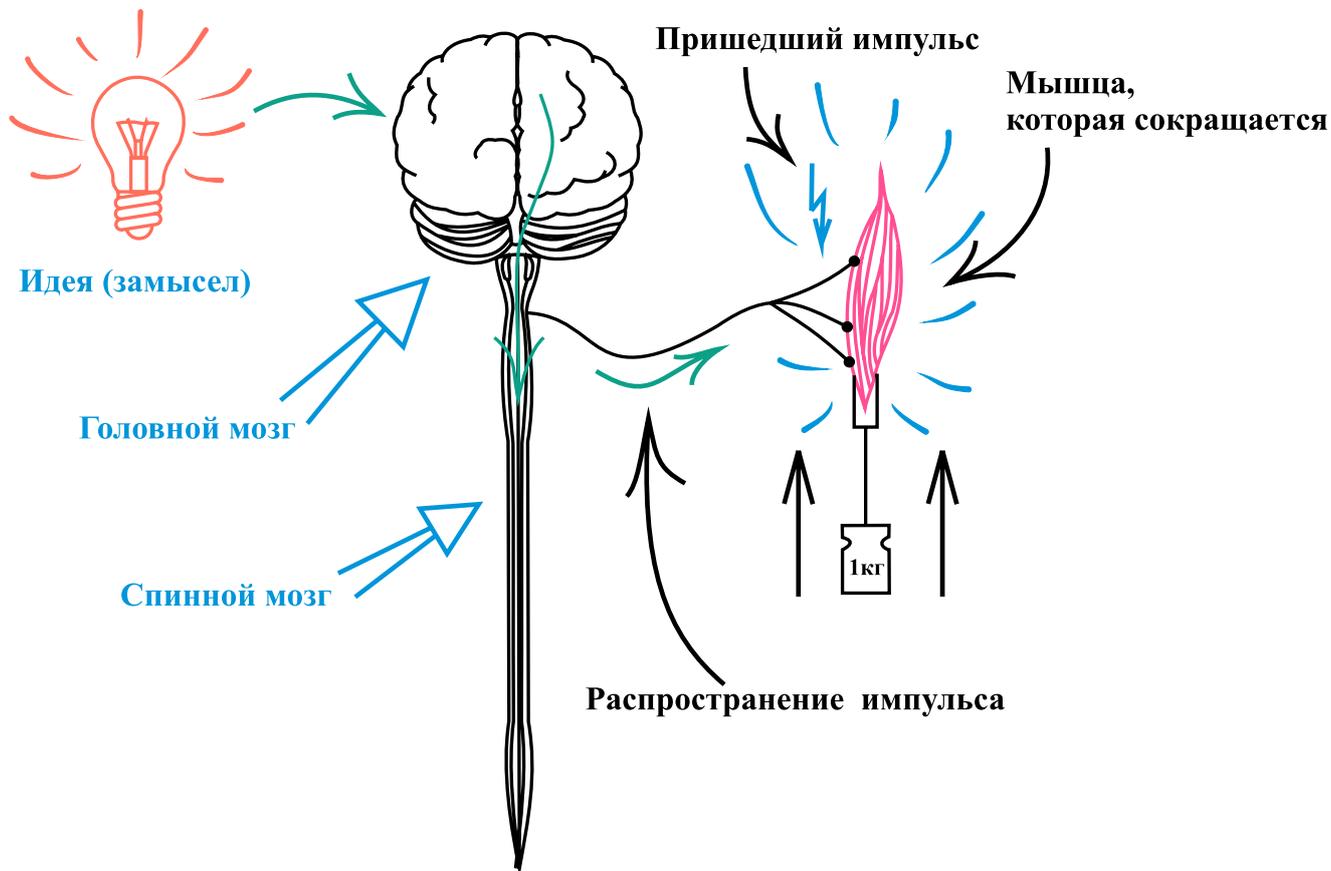
**Частота сердечных сокращений (ЧСС)** – число сокращений сердца в единицу времени. Также её называют частотой пульса.

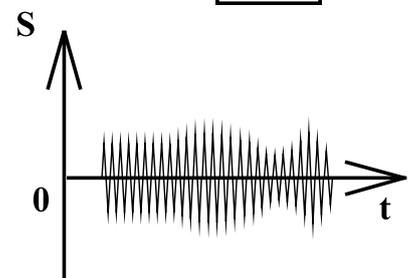
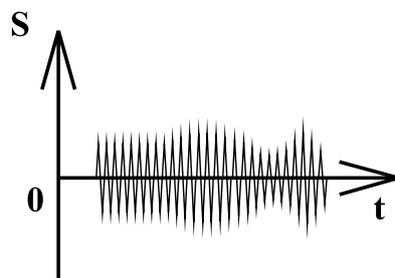
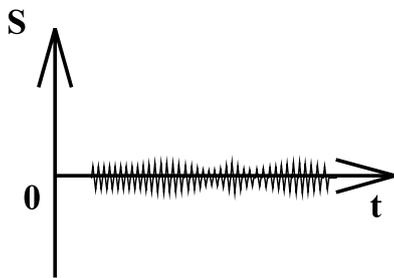
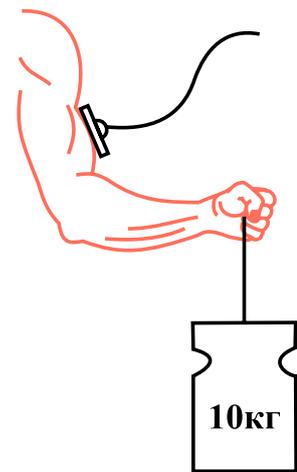
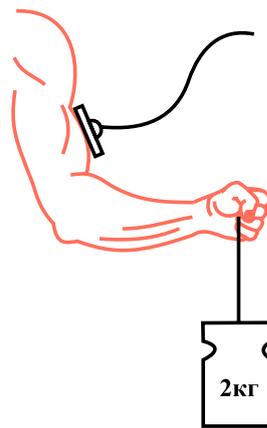
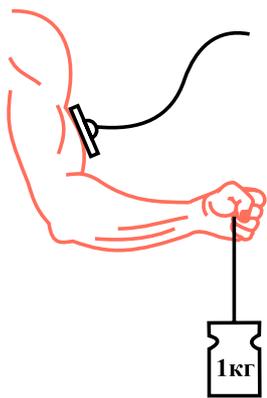
**Электромиография (ЭМГ)** – метод регистрации электрической активности мышц.

**Электроокулография (ЭОГ)** – метод регистрации движения глаз путем измерения электрического поля от поляризованного глазного яблока, у которого сетчатка заряжена отрицательно, а роговица – положительно.

**Электроэнцефалография (ЭЭГ)** – метод исследования суммарной электрической активности головного мозга путем записи электрических сигналов на поверхности головы.







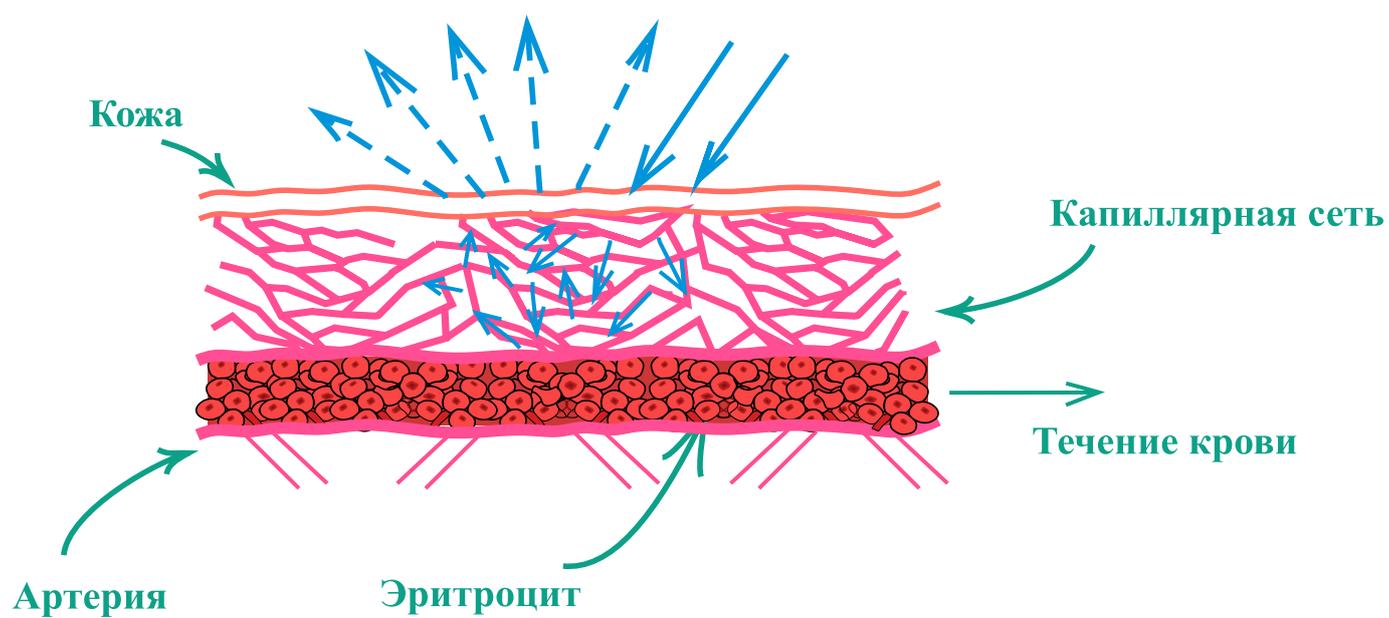
Увеличение силы сокращения

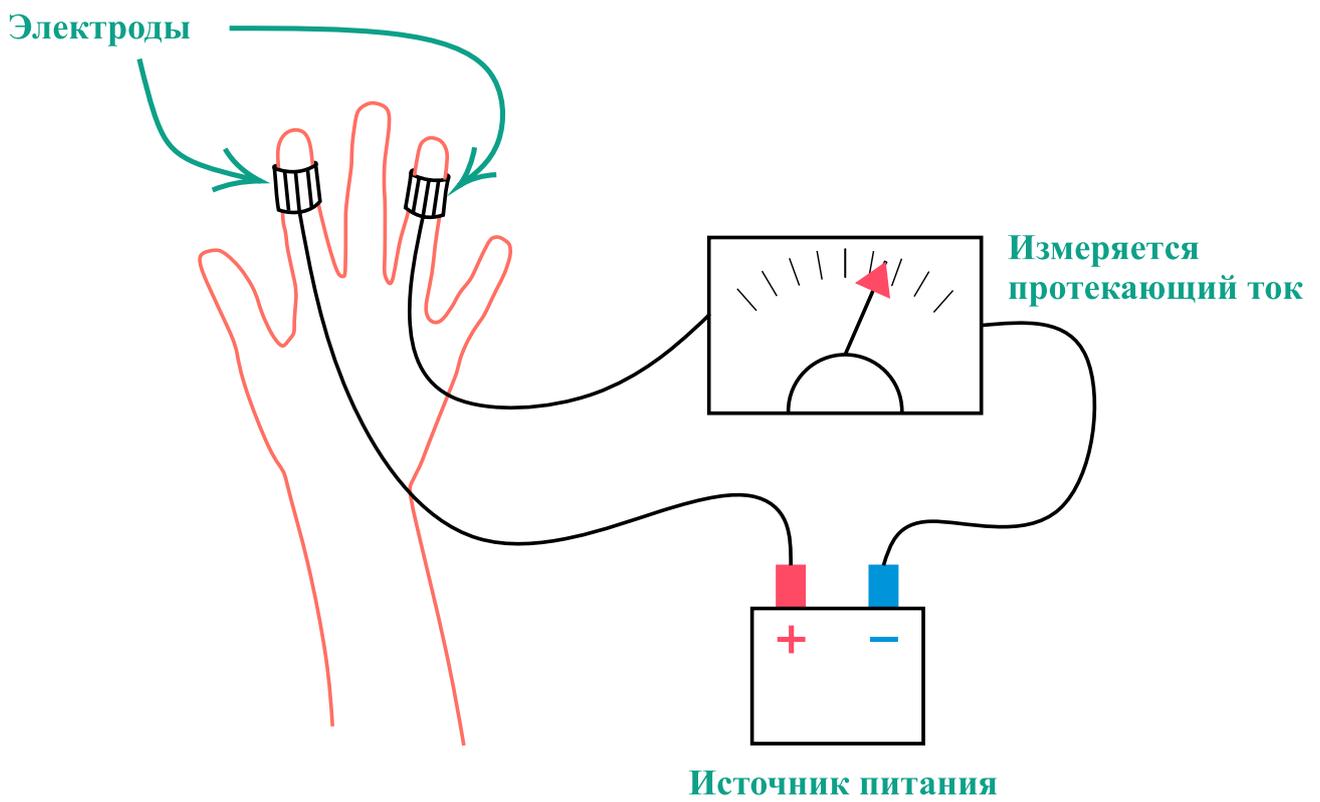
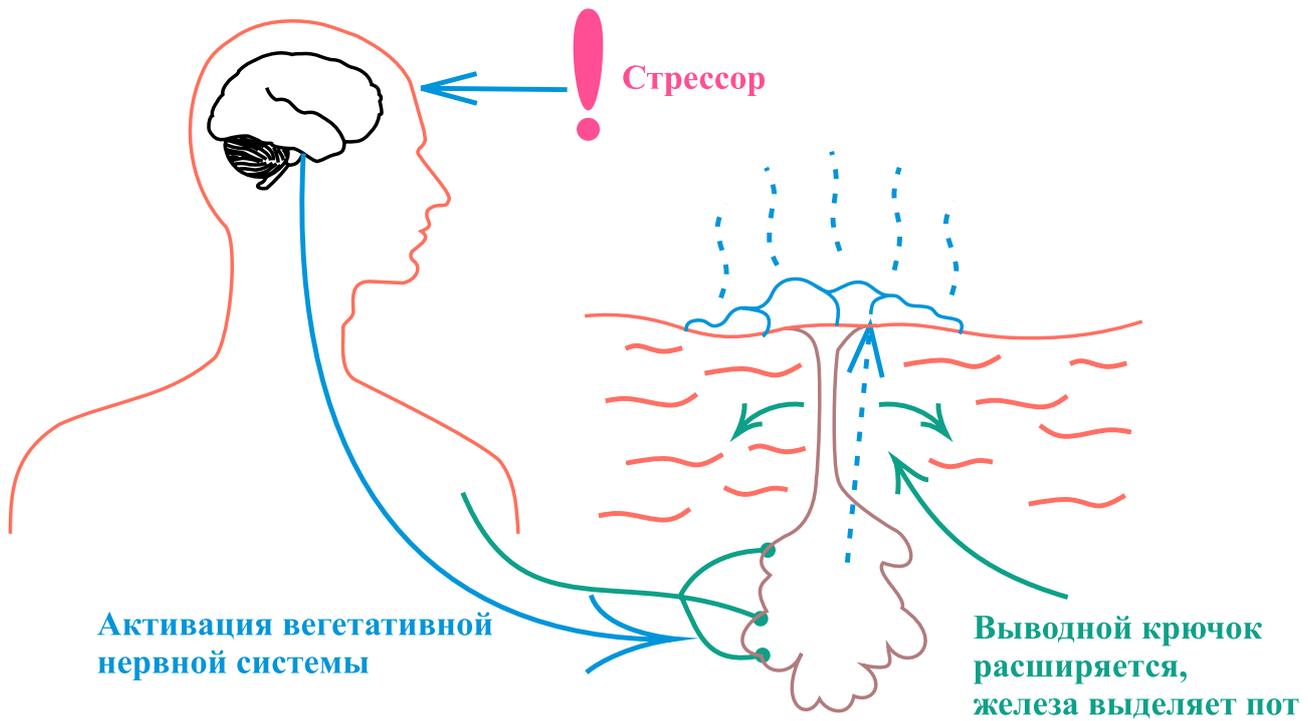


Увеличение амплитуды сигнала ЭМГ



### Оптическая пульсометрия







Если у Вас возникли дополнительные вопросы, Вы можете обратиться по электронной почте:

[lego@bitronicslab.com](mailto:lego@bitronicslab.com)

