

О чём ещё могут рассказать электро-кожные потенциалы?¹

А.И.Назаров

Проводилась одновременная регистрация ЭМГ, КГР (по Тарханову) широкополосными усилителями биопотенциалов, а также КГР (по Фере) – узкополосным усилителем. Сырые записи ЭМГ и кожного потенциала (КП, или КГР, по Тарханову) обрабатывались цифровыми фильтрами в программе PowerGraph. В КП была выделена высокочастотная компонента, ранее не обнаруживаемая с помощью традиционных методов регистрации. Это позволяет считать, что КП является суммарным сигналом, состоящим из высокочастотной (до 200 Гц) и низкочастотной (традиционной, менее 1 Гц) компонент. Описано явление «живого конденсатора» – реакция КП на приближение живого или неживого физического тела к незаземлённому испытуемому при монополярном отведении КП, которая может применяться в качестве сигнала обратной связи для формирования у испытуемого чувствительности к обычно неощущаемой внешней стимуляции.

Ключевые слова: электро-миограмма (ЭМГ), кожно-гальваническая реакция (КГР), кожный потенциал (КП), цифровая обработка сигналов, высокочастотная компонента КП

В нашем организме есть множество источников разнообразных электрических сигналов. На клеточном уровне – это медленно меняющиеся потенциалы, в нервных волокнах – это дискретные импульсы постоянной амплитуды, но разной частоты, в сердечной мышце – это ритмические аналоговые разряды, в головном мозге – электрические волны разной амплитуды и частоты. Кожный покров нашего тела – хороший проводник электричества. Поэтому на любом его участке можно зарегистрировать электрические потенциалы. По-видимому, они представляют собой результат смешения всех разноамплитудных и разночастотных электрических процессов, протекающих в организме. Для того чтобы выделить из этой смеси интересующий нас сигнал, нужно применить её специальную обработку. Сейчас это делается с помощью цифровых фильтров, работа которых основана на быстром преобразовании Фурье. В технике связи цифровая обработка сигналов уже имеет продолжительную историю. В экспериментальной психологии она начала применяться недавно. И здесь сложилась своеобразная ситуация, когда новая технология используется не столько для того, чтобы открыть что-то новое, сколько для придания вкуса новизны той или иной давней традиции. Более продуктивно, на мой взгляд, с помощью новых методов искать новое в старом, особенно если оно ещё не забыто. В качестве примера остановлюсь на широко известном явлении – кожно-гальванической реакции (КГР).

Из двух вариантов показателя электро-кожной активности – кожно-гальванической реакции (КГР, метод К. Фере) и кожного потенциала (КП, метод И. Тарханова) – в исследованиях эмоциональных состояний и реакций человека подавляющее большинство авторов отдают предпочтение первому. Однако строгое обоснование такого выбора отсутствует. Скорее это безотчётная дань традиции, которая сложилась под влиянием чисто технических трудностей регистрации КП с помощью приборов, применявшихся для этих целей. Они не позволяли получать достоверные данные о КП без создания специальных и дорогостоящих условий, в которых находился испытуемый, – экранированных камер, сеток Фарадея и проч. Но с

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-06-00134\14.

появлением методов цифровой обработки сигналов, которые в настоящее время всё шире проникают в практику психофизиологических исследований, ситуация кардинально изменилась. Оказалось возможным в обычных условиях, без применения специальных защитных средств регистрировать даже низкоуровневые биоэлектрические сигналы, получая как в режиме он-лайн, так и в режиме офф-лайн надёжные и достоверные данные. А применение программных пакетов (таких как MatLab и PowerGraph) позволяет обнаружить ряд новых свойств давно известных в психофизиологии явлений. Остановимся на некоторых из них.

По всеобщему признанию, упомянутые выше два способа регистрации электрокожной активности измеряют разные по своей природе её свойства. Методом Фере измеряют *сопротивление* околоэлектродного участка кожи, когда через него пропускают слабый электрический ток. Величина этого сопротивления зависит от активности расположенных на этом участке потовых желез², которая связана с различными физиологическими и психическими состояниями человека. Методом Тарханова измеряют «чистый» кожный потенциал (КП) без пропускания внешнего электрического тока через околоэлектродный участок. Возможно, что КП в какой-то степени подвержено влиянию со стороны активности потовых желез. Несмотря на разную природу КГР и КП, оба показателя практически одинаково реагируют на внешний стимул [5]. Но есть и существенное различие, которое обнаруживается при соответствующей обработке КП. Дело в том, что, согласно традиционному мнению, и КГР, и КП – это относительно медленные процессы, динамика которых достаточно хорошо представлена в диапазоне частот до 1 Гц. Именно в таком диапазоне работают специализированные биоусилители, предназначенные для регистрации КГР или КП. Если же для регистрации КП использовать широкополосный усилитель с верхней граничной частотой 1 кГц, то в сигнале КП можно увидеть довольно широкий спектр высокочастотных составляющих вплоть до 200 Гц. Это показано на рис. 1.

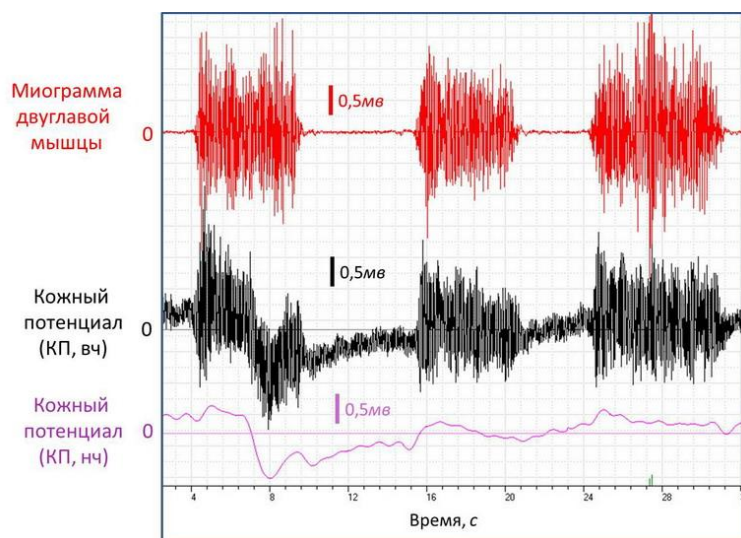


Рис. 1. Пример регистрации кожного потенциала (КП) в полосе частот 0,05 – 200 Гц (чёрная кривая) и миограммы двуглавой мышцы в той же частотной полосе. Нижняя кривая – традиционная низкочастотная компонента КП, выделенная из суммарного КП с помощью цифрового низкочастотного фильтра 1 Гц. Испытуемый три раза с небольшими паузами произвольно напрягал

² Не все современные авторы разделяют эту традиционную точку зрения. В качестве альтернативы предлагается ионная концепция электрокожной активности [4].

двуглавую мышцу (бицепс) правой полусогнутой руки (методику регистрации и обработки см. в Приложении)

Испытуемый три раза с небольшим интервалом произвольно напрягал двуглавую мышцу (бицепс) *правой* руки. Одновременно двумя независимыми идентичными биоусилителями регистрировались поверхностная миограмма этой мышцы (красная кривая) и суммарный КП (чёрная кривая), который снимался с подушечки среднего пальца *левой* руки. Испытуемый в состоянии полного покоя сидел на стуле за столом, на котором располагалась его левая рука. Правая рука была полусогнута и ни на что не опиралась. На рис. 1 видно, что синхронно с напряжением бицепса *правой* руки увеличивается амплитуда КП *левой* руки. Видно также, что в сигнале КП есть как высокочастотная, так и низкочастотная составляющие. Последняя показана на нижней кривой рис. 1, которая получена путём обработки суммарного сигнала КП низкочастотным фильтром 1 Гц. Это как раз традиционная форма сигнала электро-кожной активности, для которой характерно полное отсутствие высокочастотных компонент.

Динамика низкочастотной компоненты КП действительно аналогична динамике КГР, в которой высокочастотные компоненты отсутствуют по чисто техническим причинам. На рис. 2 представлен фрагмент регистрации, сделанной во время показа испытуемой на экране компьютера изображений разных лиц с выражениями разных эмоций³.

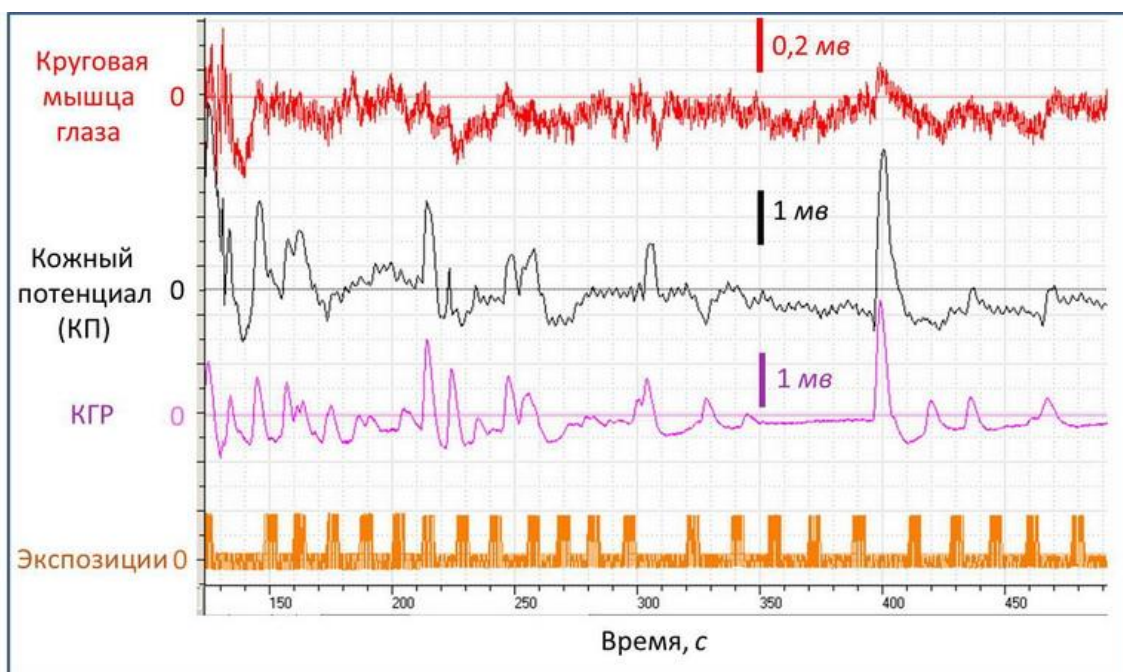


Рис.2. Фрагмент регистрации электро-физиологических параметров при наблюдении испытуемой изображений лиц с разными эмоциональными выражениями. Моменты экспозиций маркированы высокими прямоугольниками на нижней кривой. Миограмма круговой мышцы глаза регистрировалась в полосе частот 0,05 – 300 Гц. КГР регистрировалась по методу Фере, КП – по методу Тарханова (представлена только низкочастотная компонента, выделенная

³ Стимульный материал заимствован из работы [3]

фильтром 1 Гц). Средний по всей записи коэффициент кросскорреляции КГР и КП равен 0,75

На нижней кривой время экспозиций соответствует ширине более высоких столбиков. Одновременно регистрировались: миограмма круговой мышцы глаза⁴, КП и КГР. Низкочастотная компонента КП (чёрная кривая), как и в предыдущем примере, выделялась с помощью низкочастотного фильтра 1 Гц. КГР (лиловая кривая) представлена без всякой обработки в виде сигнала, снимаемого с выхода биоусилителя, специально предназначенного для этого параметра (см. Приложение). Видно, что КП и КГР почти идеально соответствуют друг другу: коэффициент кросскорреляции $r = 0,75$. Правда, из-за индивидуальных различий корреляция может оказаться слабее, причём на некоторых участках, особенно там, где уровень динамики невысок, она может быть даже отрицательной. Сходство, а иногда и полная идентичность поведения обоих параметров ставит под сомнение традиционное (хотя и нередко оспариваемое) мнение, что в основе КГР лежит активность потовых желез, которая влияет на влажность кожной поверхности, что, в свою очередь, приводит к изменению кожного сопротивления. Правда, дискуссия по этому вопросу (см., напр., [1; 4]) не входит в цель данной статьи.

Вернёмся к описанию свойств высокочастотной компоненты КП, возникающей при работе двуглавой мышцы (рис. 1). Для этого сравним профили динамики миограммы и КП, изобразив их в более растянутом временном масштабе (рис. 3). Красная кривая изображает переходный процесс в мышце (частотная полоса 1 – 300 Гц) – от полного покоя (на интервале 3,9 – 4,16 с) до развития состояния напряжения (на интервале от 4,16 с и далее).

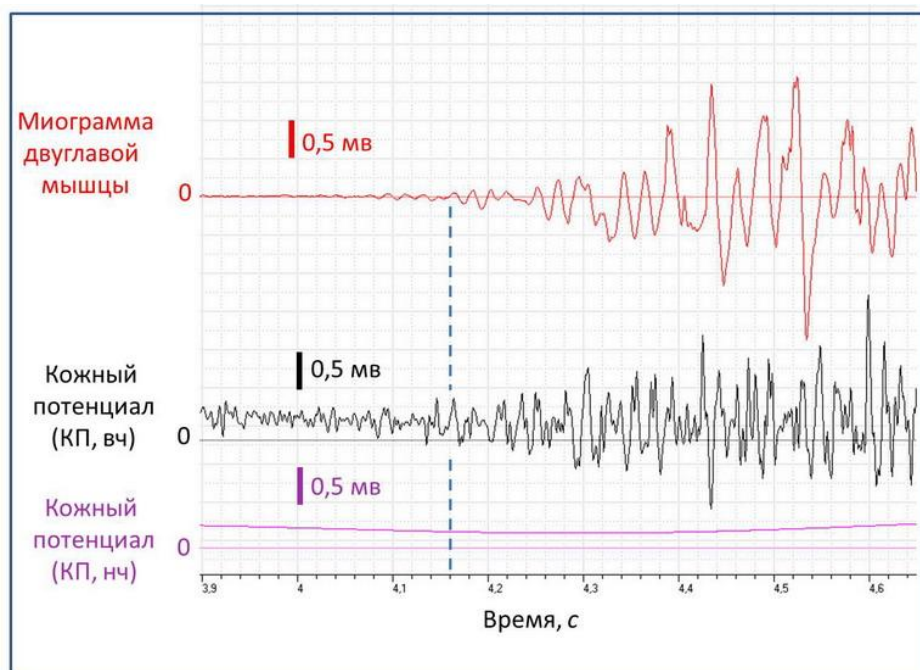


Рис. 3. Фрагмент записи миограммы и кожного потенциала в увеличенном временном масштабе. Видно, что паттерн высокочастотной компоненты КП отличается от паттерна миограммы

⁴ Регистрация миограммы проводилась тем же способом, который применяется в экспериментах со старт-реакцией (см., напр., [2]).

Две нижних кривых изображают тот же переходный процесс на участке отведения КП: чёрная – высокочастотную компоненту КП (частотная полоса 0,05 – 200 Гц), лиловая – его традиционную низкочастотную компоненту (0,05 – 1 Гц). На интервале мышечного покоя (слева от вертикального пунктира) наблюдается спонтанная (фоновая) активность КП. По окончании этого интервала (справа от вертикального пунктира) *практически одновременно* с началом роста мышечного напряжения амплитуда высокочастотной компоненты КП также начинает увеличиваться. Вообще, как это видно на рис. 1, границы временных интервалов активации миограммы и КП совпадают. В то же время, более детальный анализ их динамических профилей (рис. 3) показывает, что эти профили разные. Другими словами, один профиль не есть копия другого. Необходимы дополнительные эксперименты, чтобы выявить все факторы, влияющие на структуру и динамику паттерна КП.

* * *

Однажды я налаживал аппаратуру для эксперимента, ожидая прихода испытуемого. К неинвертирующему полюсу симметричного входа биоусилителя я подключил экранированный провод от электрода для регистрации КП. Другой, инвертирующий полюс этого входа оставался свободным. Коэффициент усиления входного сигнала был равен 500. Если в это время к выходу биоусилителя подключён регистратор, то обычно при данных условиях наблюдается довольно значительный по амплитуде сигнал наводки 50 Гц. Когда я подключил второй электрод к инвертирующему входу биоусилителя, амплитуда наводки уменьшилась, поскольку такие усилители имеют большой коэффициент подавления синфазной помехи, но всё же она оставалась хорошо заметной на экране регистратора. В процессе подключения второго электрода моя рука прошла в непосредственной близости от первого электрода, и в это время я заметил на регистраторе изменение амплитуды сигнала наводки, хотя у меня не было никакого физического контакта ни с первым, ни со вторым электродом, который ещё не был подключён к усилителю. Я оставил второй электрод неподключённым и начал совершать разные движения рукой около первого электрода, не дотрагиваясь до него. *Синхронно с моими движениями изменялась амплитуда сигнала наводки.* Будучи дилетантом в области физики электричества и наслышан рассказами о телекинезе, биополе, экстрасенсах, я решил, что причиной наблюдаемого факта является взаимодействие излучаемого мной биополя с подключённым к усилителю электродом, который в данном случае служил приёмной антенной. Сам по себе факт подтвердился на разных испытуемых.

Вместе со студенткой 2-го курса кафедры психологии Университета «Дубна» Мошкиной Валерией Олеговной мы провели несколько опытов для более тщательного изучения описанного факта.

В первом опыте подключённый к биоусилителю *один* электрод был закреплён на подушечке среднего пальца левой руки испытуемого. Последний при этом не был заземлён и служил своеобразной живой антенной. Другой человек (ассистент), не подключённый к какой-либо регистрирующей аппаратуре и не имеющий при себе каких-либо источников радиоизлучений, находился в отдалённом конце комнаты, в которой проводился опыт, приблизительно в шести шагах от испытуемого. После непродолжительной фоновой регистрации ассистенту давалась команда в виде последовательности коротких звуков с интервалом между ними в несколько секунд. При каждом звуке он должен был сделать один шаг в направлении испытуемого,

остановиться и ждать следующего сигнала. На шестом шаге ассистент практически касался испытуемого. На рис. 4 представлена обработанная запись изменения амплитуды выходного сигнала наводки, снимаемого с пальца испытуемого (красная кривая), по мере приближения к нему ассистента.

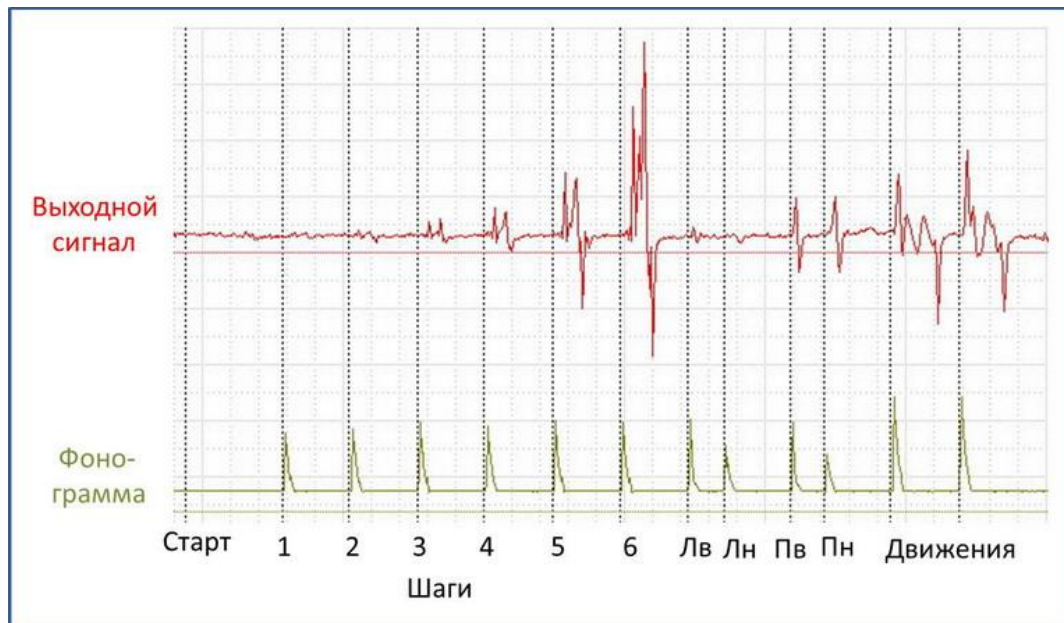


Рис. 4. Динамика низкочастотной компоненты кожного потенциала испытуемого (верхняя кривая) во время приближения к нему ассистента. Последний находился в стартовой позиции на расстоянии 6 шагов от испытуемого и начинал движение, фиксируя каждый шаг. Двойные пики на верхней кривой – это выдвигание одной ноги ассистента и приставление другой. На 6-м шаге ассистент вплотную приблизился к испытуемому и после короткой паузы совершал различные движения руками (подробности см. в тексте). Видно, что по мере сокращения расстояния между ассистентом и испытуемым амплитуда КП увеличивается экспоненциально

Выходной сигнал усилителя обрабатывался в программе PowerGraph низкочастотным цифровым фильтром 5 Гц. Каждый шаг ассистента отмечен пронумерованными импульсами на фонограмме (нижняя кривая). Приблизившись вплотную к испытуемому, ассистент поднимал левую и правую руки вверх и опускал их вниз (Лв, Лн, Пв, Пн) или совершал движения руками вокруг головы испытуемого (движения). Основной факт заключается в том, что по мере приближения ассистента к испытуемому амплитуда выходного сигнала возрастает. Однако оставался нерешённым вопрос: действительно ли мы регистрируем взаимодействие биополей испытуемого и ассистента, или здесь есть другая причина?

Ответ на этот вопрос мы получили во втором опыте. Его отличие от первого заключалось только в том, что вместо ассистента к испытуемому приближался или удалялся от него неживой предмет (схему опыта см. в Приложении 2, рис. П-2). В одном случае это была пластмассовая бутылка объёмом 2 л, в другом – металлическая банка такого же объёма. Манипулирование предметами производилось ассистентом с расстояния около 5 м от испытуемого. В 1,5 м над головой испытуемого закреплялась горизонтальная штанга, через которую была переброшена длинная нить. На одном конце нити был подвязан один из указанных предметов, а другой конец находился в

руках ассистента. С помощью такого простого блока можно было приближать или удалять предмет относительно головы испытуемого вверх или вниз, причём, испытуемый не видел этот предмет и не мог судить о его местонахождении. Максимальное приближение предмета к голове испытуемого составляло около 2 см. Регистрация сигнала, снимаемого с пальца незаземлённого испытуемого, и обработка записи производились так же, как в первом опыте. Результат показан на рис. 5 (металл); в случае с пластмассовым предметом наблюдалась аналогичная картина.

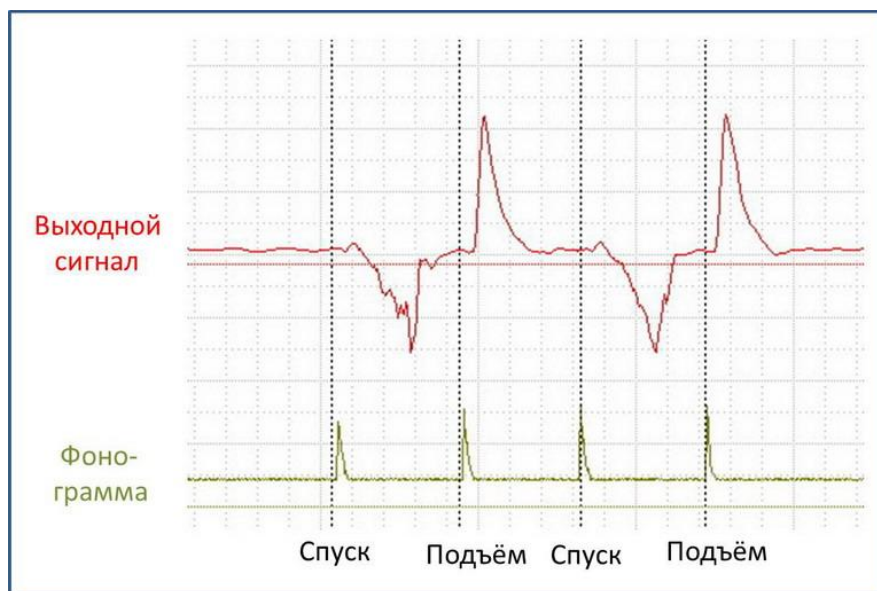


Рис. 5. Опыт с неживыми предметами (подробности в тексте)

Сравнив рис. 4 и 5, становится ясно, что не имеет значения, какой предмет меняет своё расстояние до испытуемого, – живой или неживой, металлический или пластмассовый. Таким образом, ни о каком взаимодействии гипотетических биополей в данной ситуации говорить не приходится.

Более осведомлённый в вопросах электротехники Р.В. Соколов (ст. преподаватель кафедры психологии Университета «Дубна», сотрудник лаборатории экспериментальной психологии) предположил, что в основе описанных выше эффектов лежит тот же физический процесс, который протекает во время разряда или заряда электрического конденсатора. Эту гипотезу подтвердили и некоторые профессиональные физики, с которыми я консультировался по данному вопросу. В простейшем варианте конструкция конденсатора состоит из двух электродов, разделённых диэлектриком. При включении конденсатора в электрическую цепь постоянного тока в нём начинается переходный процесс, в результате которого конденсатор через какое-то определённое время «заряжается» и перестаёт проводить ток. Если напряжение в цепи изменится скачком, конденсатор отреагирует на это в виде затухающего переходного процесса, который приведёт к соответствующему кратковременному изменению тока в цепи. В нашем случае функцию двух электродов выполняют испытуемый и ассистент, а диэлектриком является воздушное пространство между ними. Тот и другой находятся в окружении электромагнитного поля, состоящего из определённого распределения силовых линий. Делая шаг к испытуемому, ассистент перемещается относительно этих линий, меняя тем самым разность потенциалов между пластинами «живого» конденсатора. Возникающий в последнем переходный процесс мы и видим в приведенных выше записях. Живой конденсатор обнаруживает все

свойства конденсатора физического: 1) чем быстрее и шире шаг ассистента, тем больше амплитуда выходного сигнала; это аналогично зависимости амплитуды выходного напряжения на физическом конденсаторе от амплитуды и формы входного сигнала; 2) во время остановки ассистента выходной сигнал не изменяется; это аналогично отсутствию изменений тока в цепи при отсутствии изменений на входе.

Следует отметить, что эффект живого конденсатора⁵ можно обнаружить только когда испытуемый не заземлён, то есть когда сопротивление между ним и нулевой точкой биоусилителя очень велико (порядка 10 *Мом*).

Казалось бы, что по результатам этих двух опытов можно заключить, что мы изобрели велосипед, изучая известное каждому физики явление. Но здесь есть один интересный для психолога момент. Можно ли использовать возникающий в описанных условиях выходной сигнал в качестве сигнала обратной связи для испытуемого, чтобы научить его ощущать ранее неощущаемое? Например, некоторые люди чувствуют, что к ним кто-то приближается сзади, хотя никаких видимых или слышимых признаков для этого нет. Можно ли эту редко встречаемую и пока необъяснимую способность сделать более общедоступной, применив технику биологической обратной связи? Мы будем искать ответ на этот вопрос.

* * *

Рассмотрим ещё один неожиданный эффект, который был обнаружен в одном из наших экспериментов. Регистрация КП велась в обычном помещении, и не предпринималось никаких специальных мер для нейтрализации так называемой наводки – сильного шумового сигнала частотой 50 *Гц*, который обычно маскирует любые полезные для экспериментатора сигналы. КП снимался с подушечки среднего пальца правой руки испытуемого (монополярное отведение). Нейтральный электрод прикреплялся к наружной стороне кисти той же руки. Во время регистрации испытуемый произвёл движение типа резкого нажатия ступнёй на педаль газа в автомобиле (пятка при этом не отрывается от опоры). На записи сразу же появился импульс, амплитуда которого была гораздо выше амплитуды наводки. То же имело место и с другими испытуемыми, и каждый раз, когда производилось именно такое движение. Если «педальирование» было плавным, амплитуда КП становилась меньше, чем при резком движении ступни. Эти два случая показаны на рис. 6 а, б, где кроме суммарного КП изображена параллельно регистрируемая миограмма передней большеберцовой мышцы⁶. Записи обработаны в программе PowerGraph цифровым полосовым фильтром 0,05 – 300 *Гц* (см. Приложение). Интересно, что КП реагирует только на начальный период активации миограммы: положительный импульс возникает при подъёме ступни вверх, отрицательный – при опускании ступни, а при удержании её в верхнем положении, когда мышца продолжает оставаться в напряжении (рис. 6а), КП не реагирует.

В начале статьи я упомянул о том, что наша кожа является неплохим проводником электричества и поэтому регистрируемые с её поверхности сигналы скорее всего являются смесью потенциалов, возникающих в разных участках тела. Например, миограмма двуглавой мышцы правой руки нашла своё отражение в высокочастотной компоненте КП левой руки (рис. 1). Аналогичная иррадиация локальной активности наблюдалась и в опыте с педалью движением стопы левой ноги. В этом случае работали только большеберцовые мышцы левой ноги, а

⁵ Или «полуживого конденсатора», когда вместо ассистента используются физические предметы.

⁶ Выражаю благодарность методисту нашей кафедры Н.В. Рычаговой, которая подсказала мне, что именно эта мышца вместе с задней большеберцовой отвечает за супинацию и пронацию ступни.

соответствующий сигнал регистрировался как на пальце правой руки, так и на месте крепления электродов к такой же мышце правой ноги (рис. 7). То есть активность мышц левой ноги отражалась в виде кожных потенциалов на различных участках правой половины тела. Однако в этом случае на обоих местах регистрировалась не миограмма или какая-либо её модификация, а лишь низкочастотная компонента.⁷ Вопрос о том, какие сигналы и на какие расстояния они передаются по кожной поверхности, требует более детального изучения.

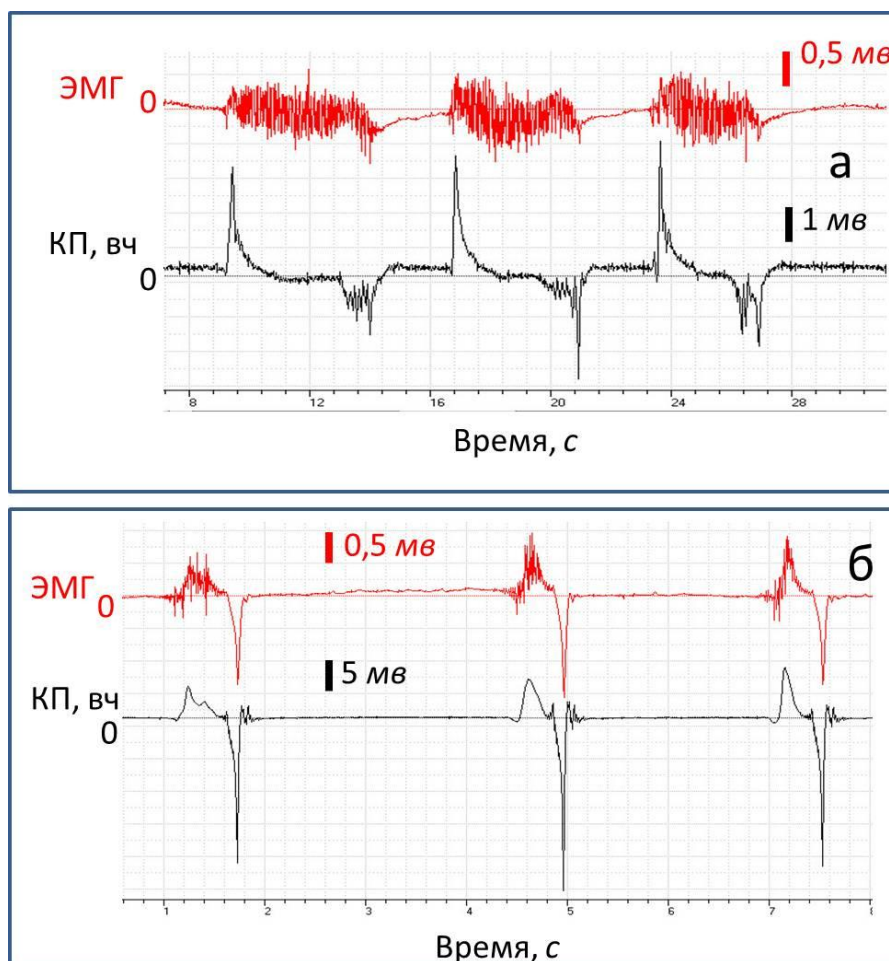


Рис.6. а) Миограмма передней большеберцовой мышцы правой ноги (красная кривая) и высокочастотная компонента КП правой руки во время медленной супинации и пронации стопы; б) То же во время быстрых движений стопы типа резких нажатий на педаль

⁷ С таким же по существу явлением иррадиации локальной электрической активности по всему телу мы встречаемся и в случае работы сердечной мышцы, регистрируя кардиограмму.

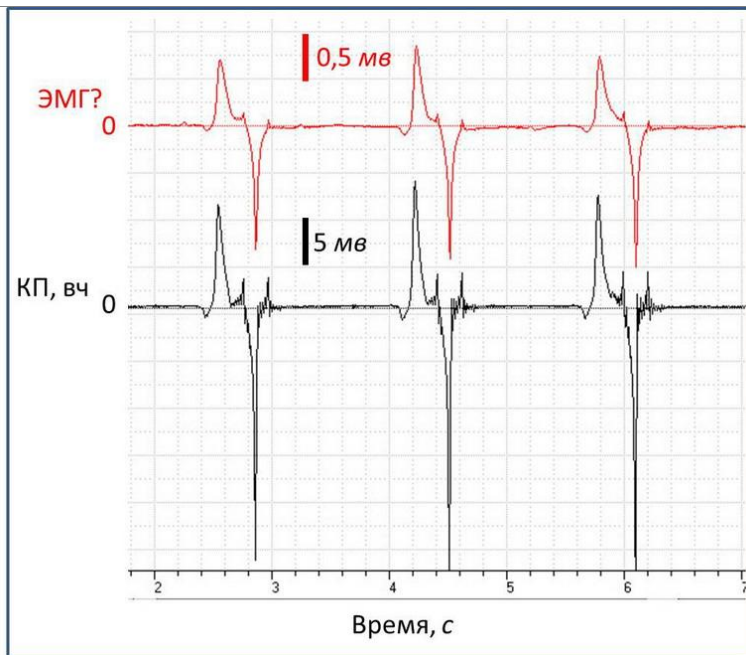


Рис. 7. Испытуемый совершал быстрые педалирующие движения левой стопой, а регистрация потенциалов производилась на кожных участках правой ноги (ЭМГ?)⁸ и пальца правой руки (КП, вч)

Давно известно, что при регистрации электро-кожной активности желательно, чтобы испытуемый не производил каких-либо движений, так как они отражаются на записи и создают трудности для выделения на ней реакций на стимульные воздействия. Однако, во-первых, по данным наших наблюдений, не все движения и в равной степени явно выражены на регистрируемых кривых; во-вторых, амплитуда артефактных движений, хотя и разная, но не настолько велика, чтобы выделяться не только на фоне наводки, но даже на обработанной высокочувствительной записи. При той же постановке электродов, что и в опыте с движением стопы, не было обнаружено каких-либо заметных изменений на обеих кривых при произвольных наклонах и поворотах головы испытуемого во всём доступном для этих движений диапазоне. С другой стороны, когда, например, испытуемый вслух произносит название эмоции, выраженной на воспринимаемом им изображении лица, это отражается на амплитуде КП (подробнее см. [3]); правда, пока остаётся под вопросом, что именно здесь отражается, – эмоциональное состояние испытуемого или процесс говорения, или то и другое.

На этот и другие вопросы, возникшие у нас в связи с описанными выше наблюдениями, мы будем искать ответы в последующих работах. Предстоит также более детально изучить частотный спектр КП, его возможную связь с различными состояниями испытуемого и влияния индивидуальных различий.

Литература:

1. Дементьенко, В.В. Гипотеза о природе электро-кожных реакций / В.В. Дементьенко, В.Б. Дорохов, Л.Г. Коренева, А.Г. Марков, А.В. Тарасов, В.М. Шахнарович // Физиология человека. – 2000. – Т. 26. – № 2. – С. 124 – 131.

⁸ На правой ноге электроды располагались над передней большеберцовой мышцей, которая в данном случае не работала, отсюда – знак вопроса.

2. Мещеряков, Б.Г. Исследование эмоционального эффекта восприятия лиц с помощью методики регистрации мигательного компонента старт-реакции [Электронный ресурс] / Б.Г. Мещеряков, М.М. Гизатуллин, А.И. Назаров // Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека «Дубна». – 2014. – № 1. – С. 6 – 27. – Режим доступа: <http://psyanima.ru/journal/2014/1/2014n1a2/2014n1a2.pdf> (дата обращения 11.12.2014).
3. Мещеряков, Б.Г. Свойства электро-кожной активности при восприятии лиц с разной экспрессией / Б.Г. Мещеряков, А.И. Назаров, Д.В. Ющенко // Психология третьего тысячелетия: Сб. материалов II Межд. научно-практич. конференции (Дубна, 2-3 апреля 2015). – Дубна, 2015. – С. 254 – 258.
4. Суходоев, В.В. Методическое обеспечение измерений, анализа и применения параметров кожно-гальванических реакций человека / В. Суходоев // Проблемность в профессиональной деятельности: теория и методы психологического анализа. – М.: ИП РАН, 1999. – С.303 – 353.
5. Jabbari, A. Electrodermal response – correlation between potential and conductance / A. Jabbari, S. Grimnes, O.G. Martinsen // IFMBE Proceedings. – 2007. – Vol. 17. – Pp. 747 – 750.

Приложение

Регистрация КП, КГР и поверхностной ЭМГ проводилась в обычном помещении без каких-либо мер по защите от наводок. Для усиления биопотенциалов применялись усилители фирмы ВЮРАС (США): широкополосные DA100С (один для миограммы и один для суммарного КП) и узкополосный GSR100С (для КГР). Сигналы с выходов усилителей подавались на входы многоканальной системы сбора данных E-440 (фирма L-Card, РФ), управляемой через компьютер программным пакетом PowerGraph (РФ). Последний позволяет осуществлять цифровую обработку аналоговых сигналов в режимах он- и офф-лайн, а также производить их обработку с помощью широкого набора математических и статистических функций. В целях получения детальной информации о форме регистрируемых сигналов была выбрана частота их квантования, равная 5 кГц.

Биопотенциалы отводились от поверхности кожи с помощью хлор-серебряных электродов EL258S (для ЭМГ и КП) и TSD203 (для КГР)⁹. При регистрации всех трёх психофизиологических параметров (в тексте – рис. 2) заземление испытуемого обеспечивалось через его контакт с нейтральным электродом – одним из входивших в пару TSD203 (закреплялся на указательном пальце левой руки). Активный электрод этой пары закреплялся на подушечке среднего пальца той же руки. Третий электрод (для КП, активный) крепился на внешней поверхности кисти той же руки на участке, свободном от кровеносных сосудов. Два активных электрода для ЭМГ с расстоянием между ними 3-4 см закреплялись на участке кожи, под которой находилась мышца. Если регистрировались только ЭМГ и КП, то активный электрод для КП крепился на подушечке среднего пальца, а нейтральный – на внешней поверхности кисти той же руки на участке, свободном от кровеносных сосудов. Таким образом, для ЭМГ отведение биопотенциалов было биполярным, а для КП и КГР – монополярным.

Контакт электродов с очищенным участком кожи обеспечивался с помощью геля GEL100 и липких дисков ADD208. Диаметр всех электродов – 8 мм.

Полезные сигналы на входах и выходах биоусилителей смешаны с шумом, наиболее сильной составляющей которого является частота 50 Гц. Для устранения этой частоты и её гармоник (100, 150, 200, 250, 300 Гц) сырые данные ЭМГ и КП обрабатывались в PowerGraph (рис. П-1) с помощью алгоритма, состоящего из набора соответствующих заграждающих фильтров (Band Stop) и шумового фильтра (Noise Filter). Ширина полосы пропускания устанавливалась в диапазоне 1-300 Гц для ЭМГ и 0,05-300 Гц для суммарного КП. Сигнал КГР не нуждался в подобной обработке, поскольку предназначенный для него усилитель был настроен на приём сигналов в диапазоне 0,05-1 Гц. Низкочастотная компонента КП выделялась из суммарного КП низкочастотным фильтром (Low Pass) 1 Гц. Коэффициенты усиления: 1000 для ЭМГ, 200 для КП, и 2 мΩ/ч для КГР.

⁹ Электроды и гель фирмы ВЮРАС (США).

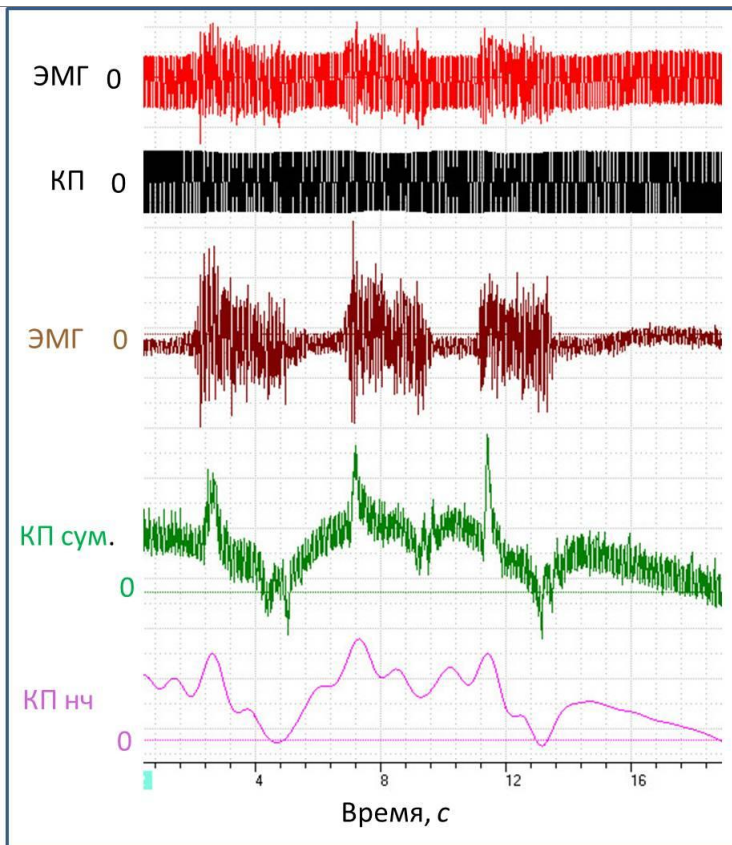


Рис. П-1. Верхние две кривые – сырые записи ЭМГ и КП. Ниже – обработанные записи ЭМГ, суммарного КП (КП сум.) и низкочастотной компоненты КП (КП нч)

На всех рисунках указаны калибровочные уровни сигналов, приведенные ко входу.

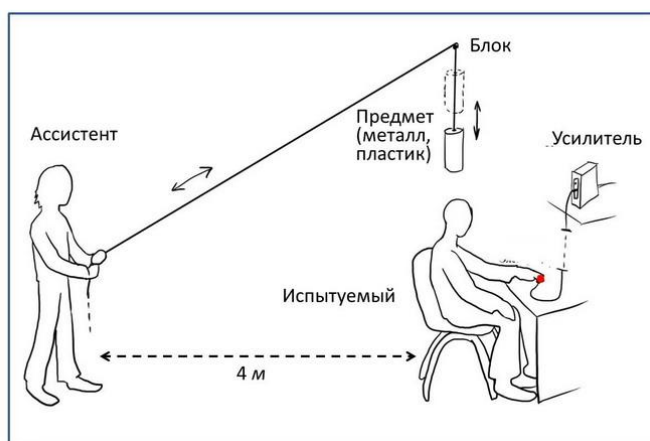


Рис. П-2. Схема опыта с неживыми предметами. Красная точка – место крепления электрода. Ассистент поднимал и опускал предмет над головой испытуемого

Поступила в редакцию: 28.04.2015 г.

Сведения об авторе

А.И. Назаров – кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры психологии Государственного университета «Дубна».

E-mail: koval39@inbox.ru