

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫХ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА ПОСЛЕ СМЕРТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОТРАВМЫ

Кандидат медицинских наук *Н. Л. Гурвич* (Москва)

Вопрос о возможности оживления пораженных током приобрел актуальность в начале XX в. в связи с развитием электротехники и появлением случаев электротравматизма. Этот вид промышленного травматизма по статистическим данным дает относительно больший процент смертности, чем другие виды травмы. Разумеется, в борьбе с электротравматизмом решающее значение имеют профилактические мероприятия. Нужно, однако, признать, что в отличие от больших успехов, достигнутых в области профилактики электротравматизма, помощь пораженным током не находится на уровне современных научных знаний.

Не отрицая исключительной важности и настоятельной необходимости проведения искусственного дыхания при отсутствии признаков жизни, мы должны все же констатировать, что одно это мероприятие не всегда является эффективным для спасения жизни пораженного током. Недостаточная эффективность общепринятых средств оживления при смерти от электричества тем более не может быть более терпима сейчас, когда отечественной медициной сделан большой шаг вперед по разрешению более общей проблемы — проблемы восстановления жизненных функций организма, находящегося в состоянии агонии или клинической смерти.

Решение вопроса об оживлении пораженных током тесно связано с нашими представлениями о механизме нарушений жизненных функций при электротравме. Разноречивость мнений об этом механизме объясняется тем, что он определяется условиями поражения и неодинаков в разных случаях. Кроме того, наличие случаев тяжелых электроповреждений без смертельного исхода послужило причиной распространения ошибочных представлений об отсутствии строгой закономерности в реакции организма на действие электрического тока. Примером этому может служить известный афоризм Еллинека: «Всякий ток может поразить, но не каждый ток поражает». Такие агностические воззрения встречаются в литературе и сейчас. Так, в вышед-

шей недавно вторым изданием книге А. Д. Каплана «Поражение электрическим током и молнией» проводится мысль, что смертельное поражение может наступить от ничтожно слабого тока, всего в несколько миллиампер. Понятно, что с такой позиции механизм электропоражения приобретает весьма загадочный характер, а вместе с тем ставится под сомнение и возможность научного разрешения вопроса об оживлении пораженных током.

Между тем опыт показывает, что реакция организма на действие электрического тока, будучи весьма сложной, имеет тем не менее строго закономерный характер. В зависимости от вида тока, его напряжения, продолжительности и других условий поражения могут быть нарушены в той или иной степени различные функции организма. Переменный ток силой в несколько миллиампер действует на кожные окончания чувствительных нервов и вызывает только болевую реакцию. При 15—20 мА ток оказывает прямое возбуждающее действие на поперечнополосатую мускулатуру и вызывает непроизвольное ее сокращение. Опасность для жизни появляется лишь при силе тока свыше 100 мА. Как показали опыты на животных, при этой силе тока могут наступить фибриллярные сокращения сердца и смерть от остановки кровообращения. При большей силе тока — в несколько ампер — наряду с поражением сердца, может наступить и остановка дыхания.

Отметим, что при чрезмерно большой силе тока, порядка десятка ампер, вызывающей глубокое нарушение функций центральной нервной системы, фибрилляции сердца не бывает. Этим, повидимому, объясняются казуистические случаи выживания людей, попавших под высокое напряжение. О физиологическом механизме этой особенности действия сильного тока на сердце будет сказано ниже. Экспериментально на животных доказано, что в зависимости от напряжения и условий контакта организма с током возможны в основном два механизма смертельного нарушения жизненных функций: первичная остановка сердца и кровообращения или прекращение дыхания при продолжающейся работе сердца. Нарушение сердечной деятельности вследствие наступления фибрилляции наиболее вероятно при более длительном нахождении под током невысокого напряжения (от 110 вольт и выше). Пребывание в течение доли секунды под высоким напряжением — в несколько тысяч вольт — может иметь своим последствием остановку дыхания без поражения сердечной деятельности.

Очевидная возможность наступления необратимой фибрилляции сердца при электротравме вызвала ряд исследований по изысканию наиболее эффективных способов устранения этого состояния. Из двух известных способов прекращения фибрилляции — путем химического и электрического воздействия на сердце — последнее является более эффективным и может быть

использовано с большим успехом в качестве средства экстренной помощи.

Возможность прекращения фибрилляции, вызванной электрическим током, последующим еще более сильным электрическим воздействием на сердце обнаружена случайно при изучении действия электрического тока различной силы на организм. Оказалось, что в отличие от слабого сильный ток вызывает не фибрилляцию, а лишь временную остановку сердца в диастоле. Такой результат действия сильного тока наблюдался и тогда, когда сердце находилось в состоянии фибрилляции после предварительного действия менее сильного тока. Обнаруженную эмпирическим путем способность сильного тока прекращать фибрилляцию сердца приписывали особому «свойству» такого тока угнетать возбудимость сердца. Эту особенность действия сильного тока противопоставили свойству слабого тока «перевозбуджать» сердце и вызывать фибрилляцию.

В соответствии с таким метафизическим разграничением «свойств» тока различной силы не возникало сомнений в целесообразности применения продолжительного воздействия переменным током для прекращения фибрилляции. Но при том высоком напряжении в 3 000 в, которое необходимо для этой цели, обращение с переменным током весьма опасно и совершенно неприемлемо для оказания экстренной помощи.

Путь к решению вопроса об использовании электричества для прекращения фибрилляции сердца при оказании помощи пораженным током найден в Советском Союзе. В 1939 г. Н. Л. Гурвич и Г. С. Юньев доказали возможность применения для этой цели вместо переменного тока одиночных разрядов конденсатора. Замена переменного тока высокого напряжения такой сравнительно малоопасной формой электрического воздействия, как разряд конденсатора, явилась первым шагом по пути освоения для медицинской практики способности сильного тока восстанавливать расстроенную работу сердца. Чтобы установить наиболее благоприятную для прекращения фибрилляции форму электрического импульса, необходимо было выяснить закономерности этого явления.

Раскрытие закономерностей прекращения фибрилляции требовало выяснения природы самого процесса фибрилляции. Как известно, старые теории фибрилляции рассматривали переход нормальных сравнительно редких сокращений сердца в частые фибриллярные как результат внезапного изменения рефрактерности или автоматии отдельных элементов сердца. Авторы этих теорий не смущало, что предполагаемые изменения физиологических свойств отдельных волокон сердечной мышцы должны были в десятки раз превышать установленные для них пределы, чтобы соответствовать большой частоте фибриллярных сокращений. С позиций клеточной физиологии, на которой стояли эти авторы, ничего лучшего нельзя было придумать.

В соответствии с пониманием наступления фибрилляции как внезапного изменения физиологических свойств каждого мышечного волокна в результате его перевозбуждения, прекращение фибрилляции сильным током рассматривалось как результат перехода в противоположное состояние торможения, угнетения возбудимости сердца. С такой точки зрения казалось, что применение переменного тока продолжительностью до 1 секунды и больше в качестве лечебного приема является вполне рациональным.

Установленный нами факт возможности прекращения фибрилляции одиночным раздражением сердца оказался в резком противоречии со всеми этими гипотезами. Для нас стала очевидной необходимость ревизии старых теорий фибрилляции с позиций основных принципов учения И. П. Павлова.

В свете павловской физиологии ясно, что нарушение жизнедеятельности сердца как целого органа нельзя объяснять на основе тех закономерностей низшего порядка, которые были установлены на отдельных нервных и мышечных волокнах: нарушение сокращений миокарда как целого при фибрилляции может являться только результатом нарушения взаимосвязи между отдельными его элементами, а не каких-то необычайных изменений свойств каждого из этих элементов в отдельности.

На основе такого понимания механизма фибриллярных сокращений сердца проведены опыты, показавшие несостоятельность метафизического представления о принципиальной противоположности действия на сердце тока различной силы. Доказано, что током одной и той же силы, меняя только ритм раздражения, можно вызывать и прекращать фибрилляцию сердца: при частоте раздражения 10 раз в секунду фибрилляция возникает, а при одном раздражении в секунду прекращается. Этими опытами установлено, что как возникновение, так и прекращение фибрилляции под действием электрического тока обусловлены одним и тем же возбуждающим действием электрического раздражения на сердце. Противоположный же эффект действия тока различной силы связан с тем, что сердце (как и все органы) составлено из отдельных элементов. Поэтому при раздражении сердца слабым переменным током отдельные его элементы, не поспевая за частым ритмом раздражения — 50 раз в секунду, — начинают сокращаться разновременно, в результате чего между отдельными волокнами устанавливается круговая, непрерывная, замедленная по сравнению с нормой передача возбуждения. Раздражение же большой силы возбуждает одновременно все элементы сердца. Поэтому такое раздражение не вызывает фибрилляции при нормальной работе сердца и устраняет это нарушение при его наличии.

Таким образом, выяснилось, что различная реакция сердца на действие тока различной силы зависит не от противополож-

ных «свойств» слабого и сильного тока, а от различного характера взаимодействия между отдельными элементами сердца при различной силе раздражения: частые и слабые раздражения действуют лишь на часть этих элементов и способствуют их разновременному возбуждению и возникновению фибрилляций; сильные же, действуя одновременно на все эти элементы, восстанавливают их синхронную деятельность и поэтому прекращают фибрилляцию.

В свете такого понимания механизма действия тока на сердце стало очевидным, что продолжительность электрического воздействия, имеющего целью прекращение фибрилляции, должна определяться временным параметром возбудимости сердца, т. е. должна быть ограничена немногими миллисекундами. В качестве электрического импульса, удовлетворяющего такому требованию, был избран разряд конденсатора в 15—20 микрофард. Разряд этой емкости при наличии в цепи индуктивности в 0,2—0,3 генри имеет продолжительность около 0,01 секунды, довольно близко совпадающую с «полезным временем» сердечной мышцы. Напряжение, необходимое для прекращения фибрилляции при разряде через грудную клетку, доходит до 5 000 в. Такое высокое напряжение не должно пугать: при наличии индуктивности в цепи действительная величина напряжения при разряде в 3—4 раза ниже напряжения на конденсаторе. Испытание действия таких разрядов на нормально работающем сердце не обнаружало заметных изменений его деятельности.

Разряды конденсатора через грудную клетку, прекращающие фибрилляцию сердца, могут быть получены с помощью сравнительно несложного портативного и безопасного в обращении аппарата. Первые образцы такого аппарата сконструированы и изготовлены на заводе в результате исследований, проведенных совместно со специалистами ВЭИ имени Ленина проф. А. А. Акопяном и И. А. Жуковым.

Возможность прекращения фибрилляции сердца разрядом конденсатора через грудную клетку сама по себе не решает еще вопроса об оживлении пораженных током. Даже при оптимальной форме электрического воздействия нельзя ожидать, что сердце, лишенное питания в течение длительного времени, может оказаться способным возобновить достаточно эффективные сокращения. Предельный срок, после которого сердце способно восстановить свою деятельность после прекращения фибрилляции, не превышает 2 минут. Прекращение фибрилляции после этого срока не приведет к восстановлению нормальной работы сердца, если не будут приняты дополнительные меры для устранения развившейся вследствие фибрилляции глубокой гипоксии организма, в первую очередь самого сердца. Единственным эффективным способом устранения гипоксии при отсутствии сердечной деятельности является, как известно, разработанная В. А. Неговским и его сотрудниками методика оживления путем

артериального нагнетания крови и проведения искусственного дыхания аппаратом, вдувающим воздух в легкие.

Для выяснения возможности оживления пораженных током по этой методике проведены опыты на собаках. Смертельная электротравма наносилась подопытным животным путем включения в цепь городского тока на 1—2 секунды. При этих условиях всегда наступала фибрилляция сердца. Через 6—8 минут после поражения через грудную клетку пропускался разряд конденсатора емкостью в 18 микрофард при напряжении в 5 000—6 000 в. После прекращения фибрилляции производилось артериальное нагнетание крови в центральный конец бедренной артерии. Кровь в количестве 400—500 мл мы получали у собак-доноров или же (в меньшем количестве) заранее у подопытного животного. В последнем случае кровь разводилась в 2—3 раза физиологическим раствором. Искусственное дыхание производилось аппаратом, вдувающим воздух в легкие. В предварительных опытах, проведенных при менее длительном сроке гипоксии, до 6 минут, искусственное дыхание проводилось ручным способом или же при раннем появлении самостоятельных дыхательных движений вовсе не проводилось. Во время опыта регистрировались кровяное давление, дыхательные движения и время от времени электрокардиограмма.

Опыты показали, что этим путем можно восстановить сердечную деятельность и все жизненные функции организма даже в случае оказания помощи через 7—8 минут после нанесения смертельной электротравмы. Результаты 56 опытов по оживлению собак, пораженных током, представлены в таблице.

Сравнительные результаты опытов по восстановлению жизненных функций организма через различные сроки после смертельного поражения электрическим током

Продолжительность времени от момента поражения до начала артериального нагнетания в минутах	Общее число подопытных собак	Всего оживлено	Полностью выздоровело	Не ожило
4—5	4	4	2	0
5—6	25	20	14	5
6—7	11	5	3	6
7—8	16	13	8	3
В с е г о . . .	56	42	27	14

Примечание. В последней группе опытов с наиболее длительным сроком гипоксии искусственное дыхание проводилось аппаратом, вдувающим воздух в легкие, а для артериального нагнетания применялась цельная кровь.

При продолжительности гипоксии (срок от момента поражения до начала артериального нагнетания) в 4—5 минут все 4 животных оживлены, из них 2 полностью выздоровели. При продолжительности гипоксии в 5—6 минут из 25 собак оживлено

20, из них 14 полностью выздоровели, 5 не ожили. При продолжительности гипоксии в 6—7 минут из 11 животных оживлено 5, из них полностью выздоровели 3, не ожили 6 собак. Наконец, при продолжительности гипоксии в 7—8 минут из 16 животных оживлено 13, из них полностью выздоровели 8, не ожили 3 собаки.

Из таблицы видно, что процент оживленных животных падает с увеличением продолжительности гипоксии. Исключение представляет последняя группа из 16 собак, оживление которых начиналось через 7—8 минут после поражения и из числа которых ожило, однако, 13 и полностью выздоровело 8. Такие благоприятные результаты в группе опытов, в которой срок гипоксии был наиболее длительным, объясняются тем, что искусственное дыхание проводилось аппаратом, а для артериального нагнетания применялась неразведенная кровь.

Таким образом, при смертельной электротравме, вызвавшей фибрилляцию сердца, можно полностью восстановить жизненные функции организма при оказании помощи через 8 минут после поражения. Эта помощь должна проводиться путем прекращения фибрилляции сердца разрядами конденсатора через грудную клетку, последующим восстановлением сердечной деятельности артериальным нагнетанием крови с адреналином (1 мл раствора 1 : 1 000) в сочетании с проведением искусственного дыхания посредством аппарата, вдувающего воздух в легкие.

В заключение кратко сформулируем основные положения по оказанию помощи при смертельной электротравме. Отсутствие признаков жизни после поражения электротоком может быть обусловлено двумя причинами: первичным нарушением сердечной деятельности из-за возникновения фибрилляции или прекращением дыхательных движений вследствие поражения центральной нервной системы при продолжающейся, но в той или иной степени ослабленной работе сердца. При известных условиях могут одновременно возникнуть оба вида нарушения жизненных функций.

Возникновение фибрилляции сердца возможно при включении пострадавшего в сеть невысокого напряжения (от 110 в и выше). При некоторых условиях (хороший контакт грудью или спиной) такое нарушение сердечной деятельности может наступить и от меньшего напряжения, в 30—40 в.

Потеря сознания и прекращение дыхания при продолжающейся работе сердца возможны вследствие кратковременного действия на организм тока высокого напряжения. Допустимо предположение, что у человека такие нарушения могут наступить и от действия тока невысокого напряжения (110—220 в), недостаточного по силе (из-за плохого контакта) или длительности для того, чтобы вызвать фибрилляцию сердца.

Мероприятия по оказанию помощи должны определяться в зависимости от состояния пострадавшего — имеется ли пораже-

ние сердца или только остановка дыхания. Применяемые в настоящее время меры помощи при электротравме с отсутствием признаков жизни — искусственное дыхание и введение лекарственных веществ — могут быть эффективны лишь при наличии работы сердца. При наступлении же фибрилляции необходимо прекратить фибрилляцию разрядом конденсатора через грудную клетку и проводить последующее артериальное нагнетание крови для восстановления сердечной деятельности.

Состояние сердца после поражения определяется врачом по наличию или отсутствию пульса на сонных артериях. Разумеется, при надлежащей организации первой помощи для этой цели может быть применен портативный электрокардиограф.

Искусственное дыхание при электротравме нужно начать немедленно после поражения. Это мероприятие является обязательным видом помощи (и единственно эффективным до внедрения предлагаемого нами метода) и должно проводиться непрерывно, до восстановления дыхательных движений или до появления несомненных признаков смерти — трупных пятен. Понятно, что наш доклад не дает никаких оснований для отказа от применения тех средств помощи, в особенности искусственного дыхания, которые до сих пор применялись для оживления пораженных током.
