

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ СССР

имени И. М. СЕЧЕНОВА

Том LXVII

1981

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК



ЛЕНИНГРАД
«НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

МЕТОДИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 612.14.08

МЕТОДИКА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ДИНАМИКИ ДАВЛЕНИЯ КРОВИ И ДЫХАНИЯ У СВОБОДНО ПЛАВАЮЩИХ ДЕЛЬФИНОВ

В. Г. Даргольц, Е. В. Романенко, Е. А. Юматов,
В. Г. Янов

Лаборатория морфологии и экологии высших позвоночных (зав. В. Е. Соколов);
Лаборатория биоакустики (зав. Е. В. Романенко)
Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова
АН СССР; Кафедра нормальной физиологии (зав. К. В. Судаков)
I Московского медицинского института им. И. М. Сеченова, Москва

В настоящее время разработаны различные методы изучения сердечно-сосудистых и дыхательных функций у наземных животных, позволяющие регистрировать артериальное давление, электрокардиограмму, объемный и линейный кровоток, пневмограмму и т. д. при различных состояниях организма, в том числе в условиях свободного поведения животных [1, 2].

Вместе с тем существует необходимость в подобных исследованиях и у водных животных в условиях их свободного существования, например у дельфинов. В частности, представляет интерес сравнительный анализ сердечно-сосудистых и дыхательных функций при эмоциональных реакциях у животных, находящихся в разных средах обитания. Возникла также необходимость исследования регуляции артериального давления и дыхания у дельфинов в связи с проблемами гидродинамики и биоакустики.

Однако регистрация этих функций у свободно плавающих животных связана с рядом технических трудностей. Для этой цели необходимо создание герметичного телеметрического устройства с автономным питанием, воспринимающего полезную информацию и передающего ее из водной среды к приемной аппаратуре. В данной работе приводится описание прибора, отвечающего этим требованиям.

Для измерения кровяного давления, а также давления воздуха в дыхательной системе дельфина-афалины, свободно плавающего в условиях ограниченной акватории (бассейн, морской вольер), была разработана и изготовлена радиотелеметрическая аппаратура, функциональная блок-схема которой приведена на рис. 1.

Устройством, непосредственно воспринимающим давление, служил датчик типа «Elema-Schonander (EMT-34)» 1, рабочую камеру которого с помощью катетера диаметром 1.5—2 мм соединяли с кровеносным сосудом или с исследуемым объемом дыхательной системы дельфина. При измерении кровяного давления рабочую камеру датчика и катетер предварительно заполняли физиологическим раствором, который и передавал давление крови чувствительному элементу датчика. Выходное, медленно меняющееся напряжение — сигнал информации, амплитуда которого пропорциональна избыточному, по отношению к атмосферному, давлению с симметричного выхода датчика, подавалось на преобразователь 2. В преобразователе происходила амплитудно-импульсная модуляция сигналом информации опорных импульсов, поступающих с генератора опорных

импульсов и имеющих частоту повторения $F_n = 2$ кГц 3. Эти же импульсы, деленные по частоте в 4, 5, служили сигналом калибровки. Необходимое соотношение уровня сигнала калибровки и амплитудно-импульсно-модулированного сигнала информации выбирали при помощи двух делителей: $R_1 - R_3$ и $R_2 - R_3$.

Далее суммарный сигнал поступал с сумматора 7 на генератор с частотным модулятором 8, где он модулировал по частоте несущую радиопередатчика, имеющую в режиме «молчания» частоту 31 кГц. После усилителя мощности 9 сигнал излучался в морскую воду. Была использована узкополосная частотная модуляция с индексом модуляции $m = 0.4$.

Передача закодированной таким образом информации о давлении осуществлялась по подводному радиотокровому каналу.

Излучаемая мощность передатчика была равна 50 мВт на сопротивлении 7 Ом, что обеспечивало дальность уверенного приема до 8—10 м. Эта дальность позволяет уверенно принимать сигнал во всем объеме сетевого вольера или закрытого бассейна. Конструкции передающей и приемной антенны приведены в работе [3].

Несколько слов о выборе метода кодирования. Учитывая то, что сигнал медленно меняющейся частоты имеет весьма малую амплитуду при реальных значениях кровяного давления и давления воздуха в дыхательной системе дельфина, оказалось целесообразным применить поднесущую частоту (в виде опорных импульсов), амплитудно-модулированную полезным сигналом, и в дальнейшем оперировать с этим сигналом поднесущей частоты. Одновременно наличие опорного сигнала позволяет сформировать кратный ему по частоте сигнал калибровки, необходимый для абсолютных измерений.

Прием сигналов радиопередатчика осуществляли с помощью специально разработанного приемника частотно-модулированных сигналов, состоящего из 2 функциональных блоков: блока избирательных усилителей 10 (с центральной частотой настройки $f = 31$ кГц и полосой $2\Delta f = 8$ кГц) и блока демодуляции 11. В приемнике осуществлялась демодуляция несущей и выделение суммарного сигнала, состоящего из амплитудно-импульсно-модулированного сигнала информации с частотой 2 кГц, содержащего информацию о давлении, и из сигнала калибровки — 500 Гц. Этот суммарный сигнал после необходимого разделения 12 регистрировали на один из каналов магнитофона 13 типа «Электроника-100», в то время как по другому каналу с микрофона 14 записывали пояснительный текст.

В процессе обработки записанных результатов суммарный сигнал воспроизводили на том же самом магнитофоне и подавали на два фильтра: полосовой с центральной частотой 2 кГц и полосой $2\Delta f = 650$ Гц 15 и фильтр нижних частот с частотой среза 1020 Гц 16. Полосовой фильтр служил для выделения промежуточной частоты 2 кГц с амплитудно-импульсным модулированным сигналом информации, а фильтр нижних частот — для выделения сигнала калибровки. Коэффициенты передачи полосового фильтра на частоте 2 кГц и фильтра нижних частот на частоте 500 Гц были равны 1. Далее, разделенные по частоте сигналы информации и калибровки поочередно записывали на бумагу самописца типа «Brüel & Kjaer 2305A». В начале и в конце каждой записи проводили калибровку шкалы уровней самописца сигналом от внешнего генератора 18 типа ГЗ-102.

Зная величину давления, которому соответствовала постоянная амплитуда сигнала калибровки, и градуировочную характеристику датчика давления, можно было оценить абсолютную величину давления в кровеносных сосудах или воздухоносной системе дельфина в каждый момент времени.

Передающую аппаратуру 1 вместе с датчиком давления 2 крепили на спинном плавнике дельфина. Эластичный катетер диаметром 1.5—2 мм, заполненный физиологическим раствором с гепарином (для предотвращения свертывания крови), вводили в одну из артерий спинного или хвост-

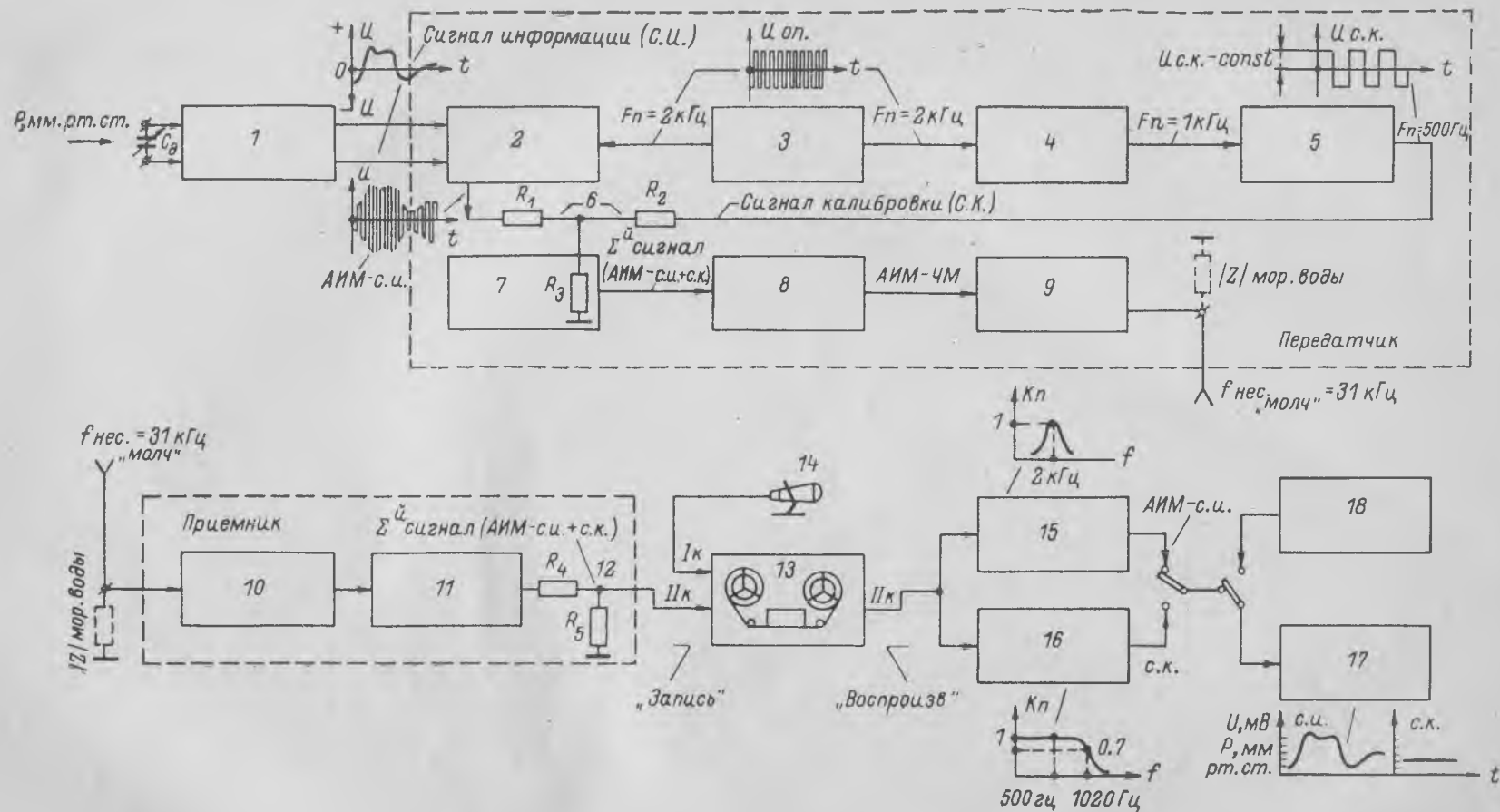


Рис. 1. Функциональная блок-схема.

1 — датчик давления «Elema-Schonander (ЕМТ-34)», 2 — преобразователь, 3 — генератор опорных импульсов, 4, 5 — делители частоты, 6 — делители сигнала информации и сигнала калибровки, 7 — сумматор, 8 — генератор с частотным модулятором, 9 — усилитель мощности, 10 — блок избирательных усилителей, 11 — блок демодуляции, 12 — делитель, 13 — магнитофон, 14 — микрофон, 15 — полосовой фильтр, 16 — фильтр нижних частот, 17 — самописец «Brüel а. Kjxder (2305A)», 18 — генератор калибровки ГЗ-102А.

вого плавника и подключали к датчику давления. Перед проведением очередных измерений катетер промывали тем же раствором. Доступ к артерии осуществляли путем отсечения конца плавника шириной 2—3 см. При измерении давления воздуха в дыхательных путях дельфина заполненный воздухом катетер вводили в хоаны или в дыхало над хоанами и закрепляли присоской у входа в дыхало.

На рис. 2, А приведен пример записи давления крови в сосудах хвостового плавника. Кровяное давление в сосудах хвостового плавника свободно плавающего дельфина составляет величину порядка 60—80 мм рт. ст. Следует отметить, что при этом дельфин не погружался на глубину. Значе-

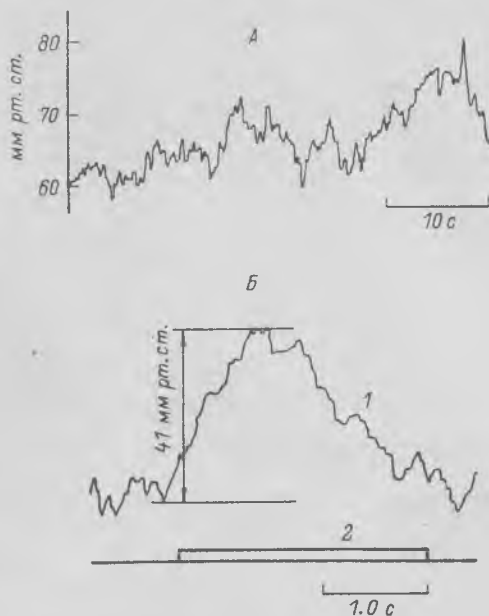


Рис. 2. Примеры записей давления.

А — давление крови в сосудах хвостового плавника, Б — давление воздуха в главном носовом проходе в период излучения эхолокационной серии: 1 — кривая давления, 2 — время эхолокации.

ние давления крови в сосудах спинного плавника в 1.5—2 раза выше, что, по-видимому, связано с близостью сосудов спинного плавника к магистральным артериальным сосудам, большим их диаметром по сравнению с сосудами хвостового плавника. Кроме того, в сосуды спинного плавника катетер удавалось вводить глубже, чем в более мелкие сосуды хвоста.

Запись давления воздуха в участке главного носового прохода (дыхала) между наружным сфинктером и мускульной пробкой, закрывающей входы в хоаны (рис. 2, Б). Кривой давления 1 сопоставлено время эхолокации 2. Очень характерно, что процессу эхолокации всегда сопутствует повышение давления в дыхале приблизительно на 30—50 мм рт. ст., давление же в хоане при этом не меняется.

Следует отметить, что в начале каждого эксперимента осуществляли установку на ноль показаний датчика давления. С этой целью уравнивали давление в рабочей камере датчика с атмосферным. Затем датчик подстраивали на минимум выходного сигнала при отсутствии избыточного давления в катетере. Оставшийся сигнал разбаланса на выходе датчика записывался на магнитофон, и его величина служила нулевой точкой отсчета.

Разработанная методика позволяет удовлетворительно измерять давление как крови в кровеносных сосудах, так и воздуха в дыхательных путях дельфинов, когда животные плавают на поверхности, не погружаясь. В процессе записи давления крови были обнаружены артефакты, связанные

с погружением животного, а при измерении давления в хвостовой артерии — и с движением лопасти хвоста при плавании.

При погружении сказывается удаленность датчика от места измерения. Это происходит из-за эластичности стенок длинного катетера (1.0—1.5 м), которые передают давление воды и искажают истинную величину давления как крови, так и в дыхательных путях. Для того чтобы исключить эти артефакты, мы располагали датчик как можно ближе к месту измерения на спинном плавнике, добиваясь тем самым уменьшения длины катетера до минимума.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ткаченко Б. И. (ред.). Методы исследования кровообращения. Изд. «Наука», Л., 1976, 1—278.
- [2] Скоцеляс Ю. Г., Иванова Л. И., Юматов Е. А. Динамическая регистрация артериального давления у крыс в хроническом эксперименте и в условиях свободного поведения. Физиол. ж. СССР, 1977, 63, 1, 154—155.
- [3] Янов В. Г., Романенко Е. В. Радиотелеметрическая система для измерения гидродинамических параметров дельфинов в условиях ограниченной акватории. Изд. «Бионика», Киев, 1972, 6, 92—99.

Поступило 4 XII 1978