

ЮРИ КЕСКПАЙК, ПЭЭТ ХОРМА

РЕГИСТРАЦИЯ ЧАСТОТЫ ПУЛЬСА У ПТИЦ В ПОЛЕТЕ

В последние годы неоднократно делались попытки получить при помощи радиотелеметрии информацию о работе сердечно-сосудистой системы, в том числе и частоте пульса, у летящей птицы (Eliassen, 1963; Hart, Roy, 1966; Berger и др., 1970; Кескпайк, Хорма, 1970). Однако полученные до настоящего времени данные имеют ряд недостатков, без устранения которых нельзя судить не только об истинности уже известной информации, но и о применимости новой методики вообще в эколого-физиологических исследованиях птиц.

1. Исключительно все результаты о работе сердечно-сосудистой системы нуждаются в уточнении, так как они получены только при кратковременных полетах или экстраполированы из данных непосредственно после полета (Berger и др., 1970). Главной причиной этого является неприменимость общепринятых лабораторных способов регистрации электрокардиограммы (ЭКГ) ввиду определенных трудностей, возникающих при получении удовлетворительно сильного сигнала на фоне мощных биотоков работающей грудной мускулатуры.

2. Не известно насколько вынужденные кратковременные полеты в закрытых помещениях или несвободные полеты (птицы привязаны к капроновой нити) отражают физиологическое состояние вольноживущих птиц.

3. Важное значение имеет и вес прикрепляемой к птице аппаратуры, ее влияние не только на изучаемый параметр, но и на общее поведение исследуемого.

Исходя из приведенного выше, была и поставлена задача настоящего исследования: 1) разработать методику введения электродов, позволяющую непрерывную регистрацию ЭКГ у птиц средних размеров при длительных произвольных полетах в природе; 2) изучить влияние веса радиопередатчика на частоту пульса в различной фазе полета (взлет, установившийся полет, посадка), чтобы определить максимально допустимый вес аппаратуры, существенно не влияющий на поведение птиц; 3) установить, насколько частота пульса во время кратковременных полетов отличается от частоты пульса во время установившегося полета (длительные полеты).

Работа выполнена на Пухтуской орнитологической станции Института зоологии и ботаники Академии наук Эстонской ССР в 1970 г.

Материал и методика

Аппаратура. Используемая биотелеметрическая аппаратура обеспечивает передачу информации на расстояние до 6 км при прямой видимости. Система модуляции ЧМ-ЧМ, число каналов 1—2, срок непрерывной работы до 3 суток.

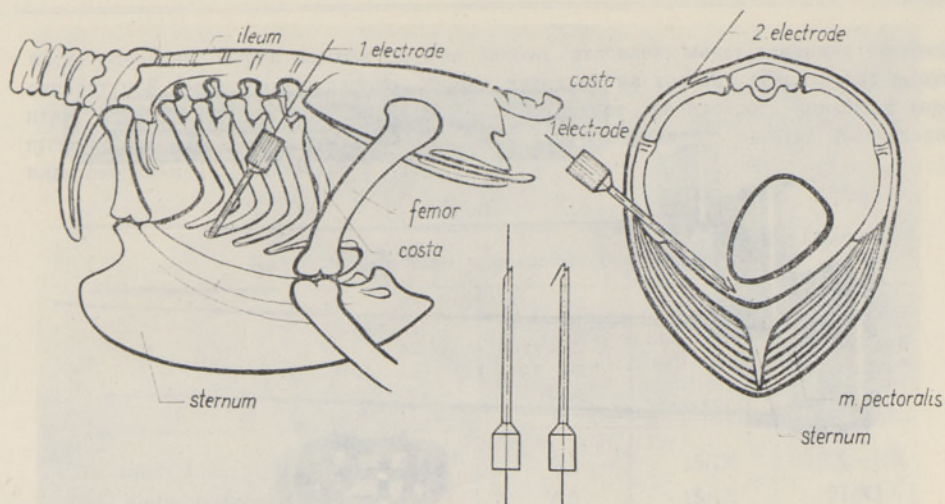


Рис. 1. Введение и расположение электродов.

Приемная часть позволяет принимать одно-четыреканальную информацию. Запись сигналов производится на магнитофонную ленту после первого детектирования (четыре канала вместе на одну дорожку) или прямо на шлейфный осциллограф. При необходимости биоэлектрический сигнал (ЭКГ и ЭМГ (электромиограмма); может быть разделен на отдельные части спектра и записан на отдельные дорожки на шлейфе.

Объекты исследования. Методика введения электродов для получения ЭКГ, а также изучение влияния веса прикрепляемой аппаратуры и т. д. были проведены на двух ручных вбранах (*Corvus c. corax* L.). Применимость выработанной методики проведена на пяти видах птиц: серой цапле (*Ardea c. cinerea* L.) — 1 особь, морских чайках (*Larus m. marinus* L.) — 3 особи, ястребе-тетеревятнике (*Accipiter g. gentilis* L.) — 1 особь, кряквах (*Anas p. platyrhynchos* L.) — 2 особи, сером гусе (*Anser a. anser* L.) — 1 особь.

Введение электродов. Разработан способ отведения либо совершенно чистого сигнала ЭКГ, либо смешанного; хорошо отличаемая ЭКГ на фоне биотоков грудной мускулатуры. Последнее особенно важно, поскольку позволяет одновременно судить как о динамике полета, так и о количестве, длительности и глубине взмахов.

Для получения чистого сигнала ЭКГ необходимо, чтобы оба электрода были расположены в грудной клетке около сердца. При смешанном сигнале нейтральный электрод находится на поверхности ребер (точную локализацию см. на рис. 1).

В настоящих исследованиях были применены игольчатые электроды диаметром 0,09 (нержавеющая сталь) и 0,5 мм (платина). Сопротивление между электродами не превышало 10—20 ком, величина сигнала ЭКГ 1—3 мв.

Электроды вводились в грудную клетку по внутренним краям киля с помощью иглы шприца. Последовательность операции схематически изображена на рис. 1. Операция не требовала наркоза и особой фиксации и выполнялась в течение 30 мин вместе с установлением подкожных соединительных проводов. Операция электродов оказывала влияние на нормальное поведение вбранов не более трех суток.

Локализация и прикрепление телепередатчика. При регистрации физиологических функций у птиц передающая аппаратура располагается на спине (Eliassen, 1963; Hart, Roy, 1966). Такое положение имеет преимущество по сравнению с грудным, широко применяемым в исследованиях радиопрослеживания, так как при этом наблюдается наименьшая подвижность (важно при фиксации чувствительных элементов) и имеется возможность применения штыревой антенны (увели-

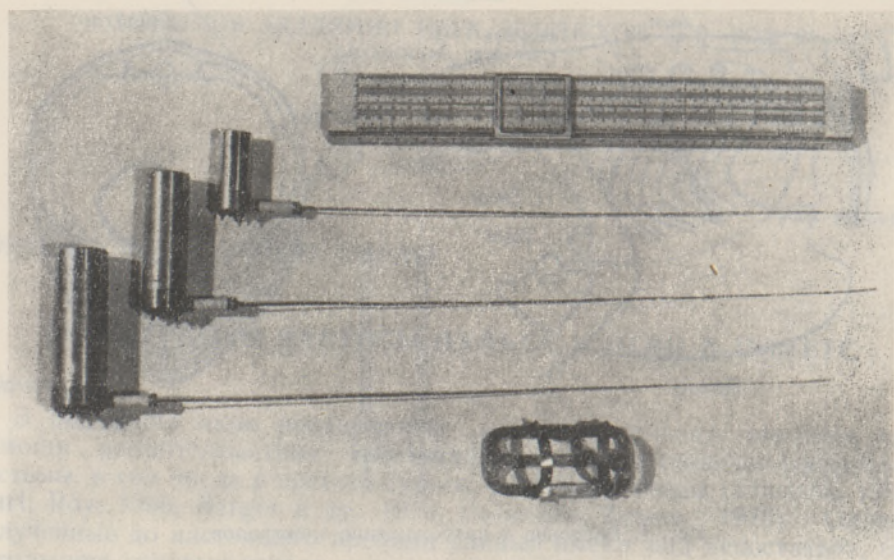


Рис. 2. Передатчики и снаряжение для их прикрепления.

чение радиуса действия). Однако, как показали настоящие эксперименты, очень важна точная локализация аппаратуры по отношению к центру тяжести тела подопытного. Установлено, что для птиц средних размеров (от 500 до 1000 г) центр тяжести аппаратуры должен находиться на расстоянии одной трети длины тела от основания хвоста (по оси). Только при таком положении аппаратуры даже при весе, составляющем более 20% от веса тела птиц (обычный вес применяемой в настоящее время аппаратуры), вбронь не теряли способности к взлету. При локализации передатчика в переднем положении — между крыльями — птицы должны выучиться летать и ходить уже при сравнительно незначительном добавочном грузе.

Передатчик прикреплялся на алюминиевый кронштейн, который приклеивался к перьям на спине птицы (рис. 2). Такой способ имел достаточную прочность в течение одного-трех месяцев.

К аппаратуре, установление которой длится около часа, птицы привыкали в течение 6—10 суток. Только после такого срока подопытные принимали участие в игровых полетах и полностью занимали свой пост в иерархии в общей стае.

Проведение экспериментов. Следки ворон содержались на территории орнитологической станции на свободе до появления у них летных качеств, не отличающихся от взрослых. С начала августа птиц содержали в вольере размерами 15×3×2,5 м, но выпускали ежедневно на свободу «на прогулку» на четыре часа. 17-го августа к одной из птиц («ведущей») была прикреплена аппаратура, а по поведению второй судили о естественности поведения подопытного. Регистрация ЭКГ продолжалась с перерывами с 27-го августа по 4-е ноября. Использовались следующие весовые нагрузки 55 г (5% от веса тела), 100 г (9%), 130 г (11%), 176,5 г (16%), 196,5 г (17,8%), 216,5 г (19,7% от веса тела).

К очередному добавочному грузу, как правило, вбронь привыкал в течение суток. Регистрация ЭКГ проводилась при произвольных полетах в ходе нормальной деятельности птицы во время прогулок по территории орнитологической станции. Максимальное расстояние регистрируемых полетов — около трех километров.

Остальные подопытные виды птиц тоже жили на свободе на территории орнитологической станции и ежедневно получали корм. Со дня прикрепления радиопередатчика и электродов до начала опытов их содержали в общей вольере. Исключение составлял ястреб-тетеревятник, которого с макетом аппаратуры выпустили сразу же

после операции. Перед опытом он был заново отловлен; макет заменили настоящей аппаратурой. Регистрацию частоты пульса начинали на третий день после выпуска птиц без вмешательства экспериментатора. Последнее не касалось кряквы и серого гуся, которые были малоактивны и их приходилось заставлять летать. Календарный план экспериментов приведен в табл. 1.

Календарный план проведения экспериментов

Таблица 1

Вид	Вес, кг	Вес аппаратуры, % от веса тела	Время	
			прикрепления электродов и аппаратуры	проведения экспериментов
<i>A. anser</i> L.	3,0	3,3	15/IX	31/IX—1/X
<i>A. platyrhynchos</i> L.	1,4	6,5	15/IX	21/XI
<i>A. cinerea</i> L.	1,8	5,0	1/IX	20/IX
<i>A. gentilis</i> L.	1,2	6,5	20/IX	27—29/IX 22—23/XI
<i>L. marinus</i> L.	1,2	7,2	29/VII	5—6/IX
	1,2	8,1	14/IX	24—25/IX

Результаты исследований и их обсуждение

В результате анализа 20 взлетов, 28 посадок и 18 полетов различной продолжительности вбрана установлено (табл. 2, 3):

а) Частота пульса у вбрана во время установившихся полетов (продолжительностью не менее одной минуты) очень стабильна — $8,98 \pm 0,02$ удара в секунду и не определяется весом передатчика до 20% от веса тела. Линия регрессии имеет вид:

$$y = 8,79 + 0,017 x,$$

где y — частота пульса, сек и x — процент передатчика от веса тела.

б) Частота пульса у вбрана во время неустановившихся полетов (кратковременные полеты меньше 30 сек) незначительно выше по сравнению с установившимися полетами — $9,19 \pm 0,04$ удара в секунду (раз-

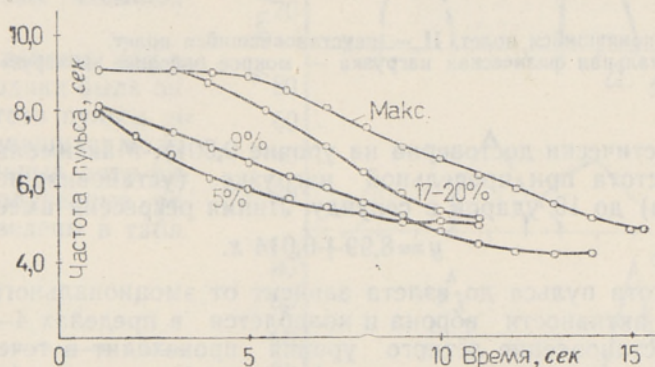


Рис. 3. Восстановительный период сердечной деятельности после полета при разной нагрузке (цифры обозначают процент аппаратуры от веса тела).

Таблица 2

Частота пульса (сек) у вёрона в полете при различных весовых нагрузках

Время после взлета, сек	Весовые нагрузки, % от веса тела				
	4,5		19,7		макс.*
	I	II	I	II	II
1	8	8	8	8	9
2	8	9	8	9	9
3	9	8	8	9	9
4	8	9	8	9	9
5	9	9	9	9	10
6	9	8	9	9	9
7	9	9	8	9	10
8	9	8	9	9	9
9	9	9	9	9	9
10	8	9	9	10	10
11	9	9	9	9	9
12	9	9	9	9	10
13	9	9	9	9	9
14	9	9	9	10	10
15	9	10	9	9	9
16	9	9	9	9	10
17	9	9	9	10	10
18	9	9	9	9	9
19	9	9	9	10	10
20	9	9	9	9	9
21	9	10	9	9	9
22	9	9	9	10	9
23	9	9	9	9	10
24	9	9	9	9	Посадки
25	9	9	9	10	
26	9	10	9	9	
27	9	9	9	Посадка	
28	9	Посадка	9		
29	9		10		
30	9		9		
31	9		9		
32	9		9		
33	9		9		
34	9		9		
35	9		10		
36	9		9		
37	9		9		
38	9		9		
39	9		9		
40	9		9		

I — установившийся полет, II — неустановившийся полет.

* Максимальная физическая нагрузка — мокрое оперение + «груз» 130 г.

ница статистически достоверна на уровне 0,001). Максимальная наблюдаемая частота при предельной нагрузке (установившиеся полеты немислимы) до 10 ударов в секунду. Линия регрессии имеет вид:

$$y = 8,99 + 0,014 x.$$

в) Частота пульса до взлета зависит от эмоционального состояния и степени активности вёрона и колеблется в пределах 4—8 ударов в секунду. Установление лётного уровня происходит в течение первых пяти секунд полета независимо от физической нагрузки (см. табл. 2).

г) Длительность восстановительного периода сердечдеятельности зависит от предыдущей физической нагрузки и может длиться до

Таблица 3

Частота пульса и число взмахов крыльев у различных видов птиц

Вид	Пульс ночью в покое, мин (в)		Число взмахов, сек	Пульс в полете, сек (а)		а/в
	М±б	С, %		М±б	М±б	
<i>A. anser</i> L.	101±1,2	1,2	3,3±0,4	6,2±0,6	10,2	3,6
<i>A. platyrhynchos</i> L.	195,1±11,4	6,0	6,7±0,8	7,9±0,6	8,0	2,4
<i>A. cinerea</i> L.	183,7±10,6	5,8	2,6±0,5	7,3±0,4	5,9	2,7
<i>A. gentilis</i> L.	134,5±4,7	3,5	5,1±0,7	7,8±0,9	12,0	4,3
<i>L. marinus</i> L.	120±8,2	6,8	3,0±0,5	7,7±0,5	5,9	3,8
<i>C. corax</i> L.	120±9,6	8,0	3,9±0,4	9,0±0,4	4,0	4,5

10—11 сек, при этом лётный уровень в частоте пульса продолжался до 5 сек (рис. 3). При одинаковой весовой нагрузке восстановительный период не определяется продолжительностью полета.

Таким образом, при определении частотной характеристики сердечедательности во время полета необходимо иметь в виду только установившиеся полеты. При этом оправдан и способ экстраполяции из данных, полученных за несколько секунд после посадки, если добавочный груз (радиопередатчик) составляет более 10% от веса тела подопытного. Кратковременные полеты (неустановившиеся полеты) у птиц средних размеров дают несколько завышенные цифры.

При использовании выработанной методики была определена частота пульса во время установившихся полетов и у остальных пяти видов птиц. Полученные результаты приведены в табл. 3 и на рис. 4.

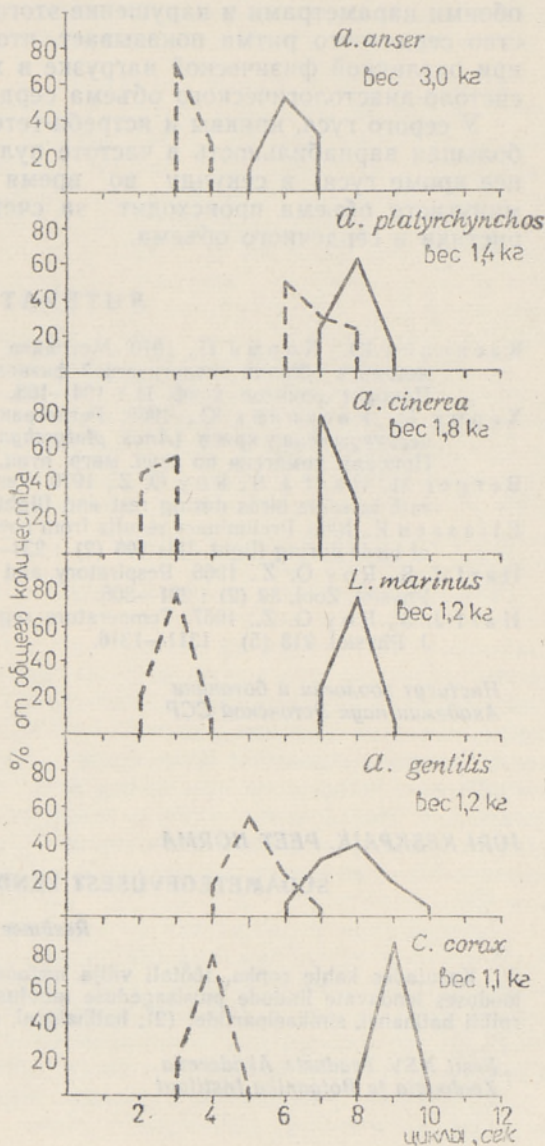


Рис. 4. Частота пульса и взмахов крыльев (сек.) в полете у различных видов птиц.

Выясняется, что по сравнению с условиями покоя (ночью) частота пульса во время полета повышена на 2,7—4,5 раза. Примерно то же зарегистрировано и в других исследованиях (Berger и др., 1970).

У домашних голубей обнаружена в полете незначительная вариабильность частоты пульса по сравнению с «наземной» деятельностью (Berger и др., 1970). Такие же результаты получены и в наших исследованиях у ворона, морской чайки и серой цапли. Особенно ярко это выражено при установившемся полете и в меньшей степени при кратковременном полете. Для названных птиц свойственна также незначительная вариабильность в частоте взмахов крыльев за единицу времени (*сек*). Постоянство сердечного ритма и ритма взмахов крыльев сохраняется и при увеличении физической нагрузки, более того, при нарушении постоянства сердечного ритма полет ворона (и морской чайки; см. Кескпайк, Хорма, 1970) становится невозможным (см. табл. 2). По-видимому, у ворона, чайки и цапли существует некая координация между обоими параметрами и нарушение этого неразрешимо. Строгое постоянство сердечного ритма показывает, что изменения в минутном объеме при различной физической нагрузке в ходе полета достигаются за счет систоло-диастолического объема сердца.

У серого гуся, кряквы и ястреба-тетеревятника наблюдается гораздо большая вариабильность в частоте пульса и взмахов крыльев (последнее кроме гуся) в секунду во время полета. Явно, что и увеличение минутного объема происходит за счет изменения частотной характеристики и сердечного объема.

ЛИТЕРАТУРА

- Кескпайк Ю., Хорма П., 1970. Методика и возможности применения радиотелеметрии в области экологической физиологии птиц в Эстонской ССР. Мат. VII Прибалт. орнитол. конф. II : 104—108.
- Хорма П., Кескпайк Ю., 1968. Регистрация биопотенциалов (ЭКГ, ЭМГ) и температуры тела у крякв (*Anas platyrhynchos*) путем радиотелеметрии. Сообщ. Прибалт. комиссии по изуч. мигр. птиц, вып. 5 : 155—161.
- Berger M., Hart J. S., Roy O. Z., 1970. Respiration, oxygen consumption and heart rate in some birds during rest and flight. *Z. vergl. Physiol.* 66 : 201—204.
- Eliassen E., 1963. Preliminary results from new methods of investigating the physiology of birds during flight. *Ibis* 105 (2) : 234—237.
- Hart J. S., Roy O. Z., 1966. Respiratory and cardiac responses to flight in pigeons. *Physiol. Zool.* 39 (2) : 291—306.
- Hart J. S., Roy O. Z., 1967. Temperature regulation during flight in pigeons. *Amer. J. Physiol.* 213 (5) : 1311—1316.

Институт зоологии и ботаники
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
15/VI 1971

JURI KESKPAIK, PEET HORMA

SÜDAMETEGEVUSEST LENDAVATEL LINDUDEL

Resüme

Kasutades kahte ronka, töötati välja meetoodika, mis võimaldab registreerida vabas looduses lendavate lindude pulsisageduse muutusi. Meetoodika kasutamiskõlblikkust kontrolliti hallhanel, sinikaelpartidel (2), hallhaigrul, merikajakatel (3) ja kanakullil.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Zooloogia ja Botaanika Instituut

Toimetuse saabunud
15. VI 1971

JURI KESKPAIK, PEET HORMA

HEART RATE DURING THE BIRDS' FLIGHT

Summary

An attempt was made to explore the possibility of continuous correct recordings of heart rate during the long-term flight of birds under natural conditions. The objects of this investigation were: Raven, Greyleg Goose, Mallard, Sea Gull and Goshawk.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Zoology and Botany

Received
June 15, 1971