

Е. Е. Степура¹, В. И. Федоров¹

Электрофизиологические показатели сердечной деятельности лошадей якутской породы Республики Саха (Якутия)

¹ Арктический государственный агротехнологический университет**Рекомендации для цитирования:**

Степура Е. Е. Электрофизиологические показатели сердечной деятельности лошадей якутской породы республики Саха (Якутия) / Е. Е. Степура, В. И. Федоров // Генетика и разведение животных. — 2025. — № 3. — С. 82–90. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2025-3-82-90>

For citation:

Stepura E. Electrophysiological indications of variational pulsometry of horses of the republic of Sakha (Yakutia) / E. Stepura, V. Fedorov // Genetics and animal breeding. — 2025. — № 3. — P. 82–90. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2025-3-82-90>

Поступила в редакцию: 07.09.2025.

Received: 07.09.2025.©

© Stepura E., Fedorov V., 2025

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Конфликт интересов:**

авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest:

the authors declare that they have no conflict of interest.

Введение. От состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) зависят выносливость, сила и резвость лошадей, что в свою очередь сказывается на их работоспособности [1–2]. Несмотря на высокую адаптационную способность системы и её резервы, при запредельных физических нагрузках и действии стрессовых факторов возможно развитие ряда патологий сердца и сосудов, что сокращает срок эксплуатации животного и часто приводит к его выбраковке [3–4].

Нарушения в СССР у лошадей встречаются довольно часто. В настоящее время учёные активно разрабатывают интегральные методы оценки функционального состояния животных [5–6].

Аннотация.

Цель: изучение вариационных пульсограмм методом математического анализа вариабельности сердечного ритма и электрокардиограмм.

Материалы и методы. Показатели электрокардиограмм и вариабельности сердечного ритма (ВСР) изучали на лошадях. Для анализа и снятия ЭКГ у исследуемых животных использовали программу «CONAN-4.5». Клинические методы исследования проводились по методикам клинического осмотра животных Б. В. Уша и включали в себя — осмотр, пальпацию, перкуссию и аускультацию сердечной области.

Результаты. На основании проведённых исследований при анализе ЭКГ лошадей установлены первичные показатели вариационной пульсометрии: мода — $1,57 \pm 0,13$ сек, амплитуда моды — $43,63 \pm 3,19$ %, вариационный размах — $1,04 \pm 0,21$ сек. Вторичные показатели: индекс напряжения регуляторных систем организма — $22,38 \pm 3,01$ у.е., RMMSSD — $308,65 \pm 20,61$ мс, pNN50 — $41,88 \pm 3,62$ %, индекс вегетативного равновесия — $35,75 \pm 9,39$ у.е., вегетативный показатель ритма — $0,88 \pm 0,22$ у.е., показатель адекватности процессов регуляции — $23,51 \pm 2,16$ у.е. Показатели Каплана — индекс дыхательный модуляции (ИДМ) — $9,51 \pm 2,56$ %, индекс симпато-адреналового тонуса — $62,01 \pm 3,83$ %, индекс медленноволновой аритмии — $19,01 \pm 3,42$. Индекс показателя сердечного стресса — $15,77 \pm 2,31$ %, индекс показателя сердечной аритмии — $5,18 \pm 0,61$ %. В результате проведённых исследований при анализе классической ЭКГ получены следующие средние значения: зубец Р — $0,171 \pm 0,054$ мВ; зубец Q — $0,212 \pm 0,071$ мВ; зубец R — $0,275 \pm 0,104$ мВ; зубец S — $0,424 \pm 0,153$ мВ; зубец T — $0,140 \pm 0,038$ мВ. Длительность интервала R–R у лошадей в среднем равна $1,558 \pm 0,131$ мс и изменяется от 1,156 до 1,876 мс; интервал P–Q изменяется от 0,096 до 0,152 мс; интервал Q–T изменяется от 0,296 до 0,640 мс; комплекс QRS изменяется от 0,022 до 0,064 мс.

Ключевые слова: лошади; электрокардиограмма; индекс напряжения; вариационная пульсометрия; вариабельность сердечного ритма; исходный вегетативный тонус.

Известно, что регулярные умеренные физические нагрузки оказывают благотворное действие на СССР. Однако данные, полученные с помощью электрокардиограмм (ЭКГ), указывают на то, что у лошадей длительные физические нагрузки на выносливость и интенсивный ипподомный тренинг могут вызывать патологические изменения в СССР [7–8].

Необходимо учитывать, что восстановительные процессы, в том числе и энергетические, осуществляются в диастолический период, и диастолическая дисфункция сопровождает все заболевания сердца, часто предшествует систолической дисфункции или зарождается вместе с ней

[9–11]. Других указаний на исследования биоэлектрической активности сердца в отечественной и зарубежной литературе у лошадей Республики Саха (Якутия) нами не найдено.

Цель исследований — изучение электрофизиологических показателей вариационных пульсограмм методом математического анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) и ЭКГ.

Материалы и методы. Клиническое и электрокардиографическое исследования лошадей якутской породы ($n=20$ голов) проводили в Конноспортивном комплексе Арктического государственного агротехнологического университета (АГАТА). В период проведения исследований животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания в соответствии с зоогигиеническими требованиями.

Перед тем, как провести ЭКГ-обследования, лошади проходили контрольный осмотр, чтобы исключить наличие инфекционных и неинфекционных заболеваний ввиду того, что многие болезни могут оказывать как прямое, так и косвенное воздействие на состояние ССС.

Клинические методы исследования включали осмотр, пальпацию, перкуссию, аускультацию и термометрию. В работе использовался метод ВСР, который является общепринятым для оценки функционального состояния регуляторных систем, а также врождённых функциональных резервов организма.

Анализ провели по Р. М. Баевскому — регистрировался синусовый сердечный ритм с последующим анализом его структуры [1]. Регистрация кардиоинтервалограмм (КИГ) проводилась в системе фронтальных отведений с помощью специализированной электрофизиологической лаборатории «CONAN 4.5», ЭКГ снималась за 2–3 часа до приёма пищи, когда частота пульса стабилизировалась. Регистрировались 200 последовательных кардиоинтервалов (КИ, R-R), рассчитывался индекс напряжения (ИН) регуляторных систем, первичные и вторичные показатели Баевского, показатели Каплана, показатель сердечного стресса и сердечной аритмии и классическая ЭКГ.

Результаты и обсуждение. При анализе ЭКГ изучены кардиоинтервалы R-R в динамическом ряду. Анализ этих значений заключается в расчёте характеристик сердечного ритма. Функциональное состояние системы кровообращения находит своё отражение в изучении вариационных пульсограмм. Числовыми характеристиками электрокардиограмм являются мода (Мо), амплитуда моды (АМо) и вариационный размах (ΔX). Данные первичные показатели дают возможность оценить, какой отдел вегетативной

нервной системы преобладает в регуляции сердечного ритма (табл. 1).

Мода (Мо) характеризует наиболее вероятный уровень функционирования системы кровообращения и гуморальный канал регуляции. Для исследуемой группы лошадей среднее значение данного показателя составило $1,57 \pm 0,13$ сек. Изменения происходили в пределах от 1,16 сек до 1,79 сек).

Амплитуда моды (АМо) отражает стабилизирующий эффект централизации управления ритмом сердца, то есть определяет состояние активности симпатического отдела ВНС. Среднее значение данного показателя составило $43,63 \pm 3,19$ %; минимальное и максимальное значения зафиксированы в пределах от 26,08 % до 46,17 %).

Вариационный размах (ΔX), отражающий уровень активности парасимпатического отдела ВНС составил $1,04 \pm 0,21$ сек. (изменялся в пределах от 0,73 сек до 1,54 сек).

Индекс напряжения регуляторных систем организма (ИН) определяет степень централизации управления сердечным ритмом над автономным. Для исследуемой группы лошадей среднее значение данного показателя составило $22,38 \pm 3,01$ у.е. (от 5,25 у.е. до 26,50 у.е.).

Функциональное состояние организма также характеризует показатель частоты сердечных сокращений — у изучаемых лошадей он составил 45,25 уд/мин (от 33,08 уд/мин до 51,42 уд/мин).

В таблице 2 представлены вторичные показатели вариационных пульсограмм: индекс вегетативного равновесия (ИВР); вегетативный показатель ритма (ВПР); показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР), а также квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD), число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс в % к общему числу кардиоинтервалов в массиве (pNN50) и проведён их сравнительный анализ.

Таблица 1. Первичные показатели вариационной пульсометрии якутских лошадей, $M \pm m$ ($n=20$)

Table 1. Primary indicators of variation pulsometry of Yakut horses, $M \pm m$ ($n=20$)

Показатели вариационной пульсометрии	Значения		
	$M \pm m$	Lim_{max}	Lim_{min}
ИН, у.е.	$22,38 \pm 3,01$	26,50	5,25
ЧСС, уд/мин	$45,25 \pm 3,87$	51,42	33,08
Мо, сек	$1,57 \pm 0,13$	1,79	1,16
АМо, %	$43,63 \pm 3,19$	46,17	26,08
ΔX, сек	$1,04 \pm 0,21$	1,54	0,73

Показатель ИВР, определяющий соотношение активности ПО и СО ВНС, изменялся от 13,52 до 57,98 у.е. и в среднем зафиксирован на уровне $35,75 \pm 9,39$ у.е. у всех исследуемых лошадей. ВПР — баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, в среднем составил $0,88 \pm 0,22$ у.е. (изменения от 0,34 до 1,41 у.е.) Параметр ПАПР, определяющий активность СО ВНС и контролирующий при этом ведущий уровень функционирования синусового узла, в среднем составил $23,51 \pm 2,16$ у.е. (изменения от 18,38 у.е. до 28,62 у.е.). RMMSSD, характеризующий влияние ПО ВНС на ритм сердца, в том числе на синусовую аритмию, связанную с дыханием, составил в среднем $308,65 \pm 20,61$ мс. Минимальные и максимальные значения данного параметра зафиксированы в пределах от 55,85 мс до 561,45 мс, соответственно. Показатель, характеризующий влияние ПО на сердечный ритм, в том числе на проявление синусовой аритмии, связанную с дыханием, pNN50, в среднем составил $41,88 \pm 3,62$ % (изменения от 33,31 до 50,44 %).

При анализе вариационной пульсометрии лошадей получены и проанализированы показатели Каплана, представленные в таблице 3.

Индекс дыхательный модуляции (ИДМ), оценивающий степень влияния дыхательного ритма на вариabельность кардиоинтервалов, в среднем составил $9,51 \pm 2,56$ % и изменялся от 3,43 до 15,75 %. Индекс симпато-адреналового тонуса (ИСАТ) — показатель, эффективный для оценки сердечной деятельности — в среднем для исследуемых животных составил $62,01 \pm 3,83$ % и изменялся от 19,82 до 104,18 %. Индекс медленноволновой (функциональной) аритмии (ИМА), характеризующий состояние организма животных на аритмии зафиксирован в среднем значении — $19,01 \pm 3,42$ и изменялся от 6,59 до 34,59.

Показатели, определяющие активность сердечной деятельности, представлены в таблице 4. Индекс показателя сердечного стресса (ПСС), предназначенный для оценки вариabельности кардиоинтервалов и выражающейся в присутствии кардиоинтервалов одинаковой или очень близкой длительности с различием до 5 мс, составил $15,77 \pm 2,31$ % (изменялся от 10,32 до 21,23 %). Индекс показателя сердечной аритмии (ПСА), предназначенный для оценки экстравариabельности кардиоинтервалов или уровня аритмии, составил $8,18 \pm 0,61$ %, и изменялся от 3,75 до 10,61 %.

При анализе ЭКГ провели оценку ритма и частоты сердечных сокращений, измерили длительность интервалов (R-R, P-Q, Q-T), комплекса

Таблица 2. Вторичные показатели вариационной пульсометрии якутских лошадей, $M \pm m$ (n=20)

Table 2. Secondary indicators of variation pulsometry of Yakut horses, $M \pm m$ (n=20)

Показатели вариационной пульсометрии	Значения		
	$M \pm m$	Lim_{max}	Lim_{min}
ИВР, у.е.	$35,75 \pm 9,39$	57,98	13,52
ВПР, у.е.	$0,88 \pm 0,22$	1,41	0,34
ПАПР, у.е.	$23,51 \pm 2,16$	28,62	18,38
RMMSSD, мс	$308,65 \pm 20,61$	561,45	55,85
pNN50, %	$41,88 \pm 3,62$	50,44	33,31

Таблица 3. Показатели Каплана вариационной пульсометрии якутских лошадей, $M \pm m$ (n=20)

Table 3. Kaplan indices of variational pulsometry of Yakut horses, $M \pm m$ (n=20)

Показатели вариационной пульсометрии	Значения		
	$M \pm m$	Lim_{max}	Lim_{min}
ИДМ, у.е.	$9,51 \pm 2,56$	15,57	3,43
ИСАТ, у.е.	$62,01 \pm 3,83$	104,18	19,82
ИМА, у.е.	$19,01 \pm 3,42$	34,59	6,59

Таблица 4. Показатели сердечного стресса и сердечной аритмии вариационной пульсометрии якутских лошадей, $M \pm m$ (n=20)

Table 4. Cardiac stress indices and cardiac arrhythmia indices of variational pulsometry of Yakut horses, $M \pm m$ (n=20)

Показатели вариационной пульсометрии	Значения		
	$M \pm m$	Lim_{max}	Lim_{min}
ПСС, у.е.	$15,77 \pm 2,31$	21,23	10,32
ПСА, у.е.	$8,18 \pm 0,61$	10,61	3,75

QRS и амплитуду зубцов (P, Q, R, S, T) с помощью комплексной электрофизиологической лаборатории «CONAN».

По результатам проведенных исследований методом классической ЭКГ выявлены некоторые особенности формирования кардиопотенциалов у лошадей. На рисунке 1 представлена электрокардиограмма лошадей.

Полученные в ходе анализа электрокардиограмм лошадей якутской породы средние значения амплитуды зубцов представлены в таблице 5.

Зубец P отражает деполяризацию предсердий, в первом отведении амплитуда колебалась от 0,052 до 0,391 мВ (в среднем значение составило $0,216 \pm 0,083$ мВ). Во II-ом отведении амплитуда данного зубца составила от 0,083 до 0,191 мВ (среднее значение — $0,171 \pm 0,054$ мВ). В III-ом

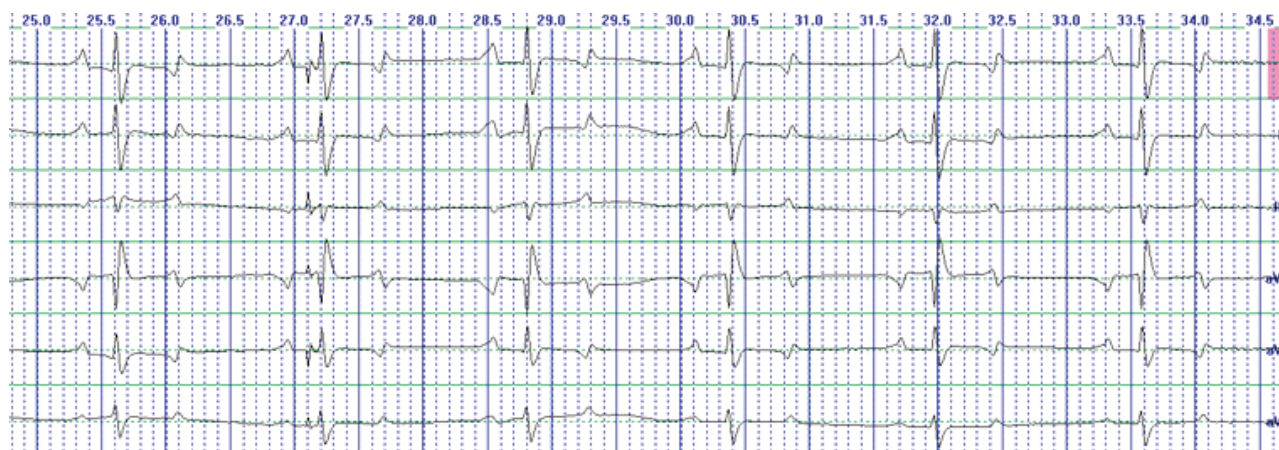


Рис. 1. Электрокардиограмма лошади якутской породы.

Fig. 1. Electrocardiogram of a Yakut horse.

Таблица 5. Амплитуда зубцов ЭКГ лошадей в состоянии относительного покоя, $M \pm m$ Table 5. Amplitude of ECG teeth of horses in a state of relative rest, $M \pm m$

Показатель	Отв.	Амплитуда, мВ				
		P	Q	R	S	T
$M \pm m$	I	$0,216 \pm 0,083$	$0,345 \pm 0,129$	$0,402 \pm 0,163$	$0,473 \pm 0,187$	$0,226 \pm 0,085$
Доверит. -95.000%		0,018	0,039	0,017	0,031	0,024
Доверит. +95.000%		0,414	0,651	0,788	0,915	0,427
Lim_{min}		0,052	0,072	0,081	0,077	0,041
Lim_{max}		0,391	0,597	0,545	0,836	0,384
$M \pm m$	II	$0,171 \pm 0,054$	$0,212 \pm 0,071$	$0,275 \pm 0,104$	$0,424 \pm 0,153$	$0,14 \pm 0,038$
Доверит. -95.000%		0,041	0,044	0,028	0,061	0,047
Доверит. +95.000%		0,3	0,381	0,522	0,788	0,232
Lim_{min}		0,083	0,049	0,074	0,118	0,025
Lim_{max}		0,191	0,385	0,404	0,557	0,233
$M \pm m$	III	$0,13 \pm 0,035$	$0,079 \pm 0,022$	$0,318 \pm 0,108$	$0,111 \pm 0,039$	$0,113 \pm 0,028$
Доверит. -95.000%		0,045	0,025	0,062	0,018	0,046
Доверит. +95.000%		0,214	0,133	0,573	0,202	0,181
Lim_{min}		0,044	0,024	0,042	0,021	0,051
Lim_{max}		0,213	0,134	0,597	0,185	0,171
$M \pm m$	aVR	$0,176 \pm 0,069$	$0,281 \pm 0,099$	$0,265 \pm 0,128$	$0,507 \pm 0,181$	$0,223 \pm 0,086$
Доверит. -95.000%		0,013	0,047	0,038	0,079	0,02
Доверит. +95.000%		0,34	0,515	0,569	0,935	0,427
Lim_{min}		0,049	0,057	0,071	0,189	0,045
Lim_{max}		0,306	0,481	0,266	0,731	0,352
$M \pm m$	aVL	$0,122 \pm 0,056$	$0,201 \pm 0,082$	$0,346 \pm 0,08$	$0,268 \pm 0,021$	$0,141 \pm 0,049$
Доверит. -95.000%		0,011	0,006	0,088	0,018	0,024
Доверит. +95.000%		0,256	0,394	0,603	0,556	0,258
Lim_{min}		0,027	0,058	0,087	0,07	0,05
Lim_{max}		0,202	0,327	0,519	0,439	0,221
$M \pm m$	aVF	$0,091 \pm 0,02$	$0,101 \pm 0,04$	$0,232 \pm 0,08$	$0,243 \pm 0,08$	$0,1227 \pm 0,03$
Доверит. -95.000%		0,036	0,003	0,039	0,038	0,039
Доверит. +95.000%		0,145	0,198	0,424	0,449	0,215
Lim_{min}		0,028	0,022	0,07	0,02	0,045
Lim_{max}		0,157	0,158	0,338	0,354	0,183

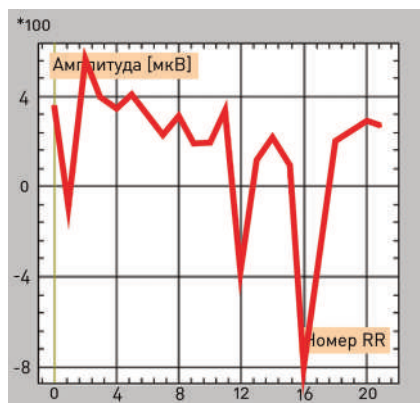


Рис. 2. Динамика зубца Р электрокардиограммы на всем кардиоцикле
Fig. 2. Dynamics of the P wave of the electrocardiogram throughout the cardiac cycle

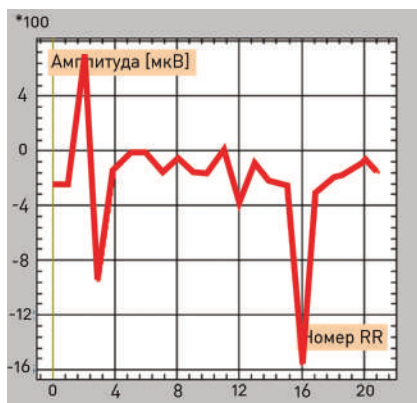


Рис. 3. Динамика зубца Q электрокардиограммы на всем кардиоцикле
Fig. 3. Dynamics of the Q wave of the electrocardiogram throughout the cardiac cycle

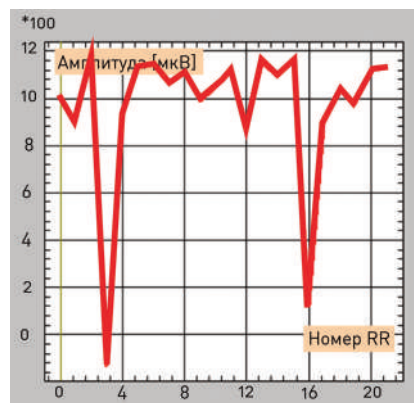


Рис. 4. Динамика зубца R электрокардиограммы на всем кардиоцикле
Fig. 4. Dynamics of the R wave of the electrocardiogram throughout the cardiac cycle

отведении зубец Р имел амплитуду от 0,044 до 0,213 мВ (в среднем значение составило $0,13 \pm 0,035$ мВ). В отведении aVR амплитуда в данном отведении изменялась от 0,049 до 0,306 мВ (в среднем значение составило $0,176 \pm 0,069$ мВ). В aVL отведении данный зубец изменялся от 0,027 до 0,202 мВ (среднее значение — $0,122 \pm 0,056$ мВ). В aVF отведении зубец Р изменялся от 0,028 до 0,157 мВ (в среднем значение составило $0,091 \pm 0,02$ мВ). Динамика изменения зубца Р электрокардиограммы на всем кардиоцикле представлена на рисунке 2.

Зубец Q соответствует возбуждению межжелудочковой перегородки, амплитуда в I отведении изменялась от 0,072 до 0,597 мВ (в среднем значение составило $0,345 \pm 0,129$ мВ). Во II-ом отведении амплитуда изменялась от 0,049 до 0,385 мВ (в среднем — $0,212 \pm 0,071$ мВ). Во III-ом отведении амплитуда зубца Q изменялась от 0,024 до 0,134 мВ (в среднем значение составило $0,079 \pm 0,022$

мВ). В отведении aVR амплитуда изменялась от 0,057 до 0,481 мВ (в среднем — $0,281 \pm 0,099$ мВ). В aVL отведении амплитуда изменялась от 0,058 до 0,327 мВ (в среднем значение составило $0,201 \pm 0,082$ мВ). В aVF отведении амплитуда изменялась от 0,022 до 0,158 мВ (в среднем — $0,101 \pm 0,04$ мВ). Динамика изменения зубца Q электрокардиограммы на всем кардиоцикле представлена на рисунке 3.

Зубец R — соответствует деполяризации желудочков, он всегда направлен вверх и является самым высоким зубцом желудочкового комплекса, во всех отведениях — положительный. В первом отведении амплитуда изменялся от 0,081 до 0,545 мВ (в среднем значение составило $0,402 \pm 0,163$ мВ). Во II-ом отведении амплитуда изменялась от 0,074 до 0,404 мВ (в среднем — $0,275 \pm 0,104$ мВ). Во III-ом отведении амплитуда изменялась от 0,042 до 0,597 мВ (в среднем значение составило $0,318 \pm 0,108$ мВ). В отведе-

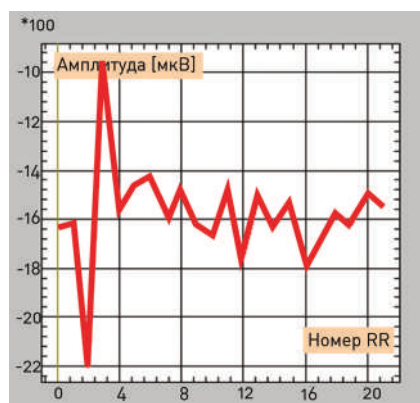


Рис. 5. Динамика зубца S электрокардиограммы на всем кардиоцикле
Fig. 5. Dynamics of the S wave of the electrocardiogram throughout the cardiac cycle

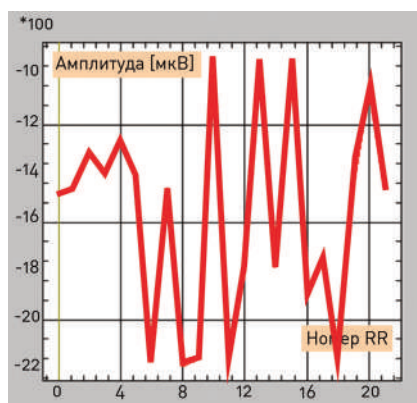


Рис. 6. Динамика зубца Т электрокардиограммы на всем кардиоцикле
Fig. 6. Dynamics of the T wave of the electrocardiogram throughout the cardiac cycle

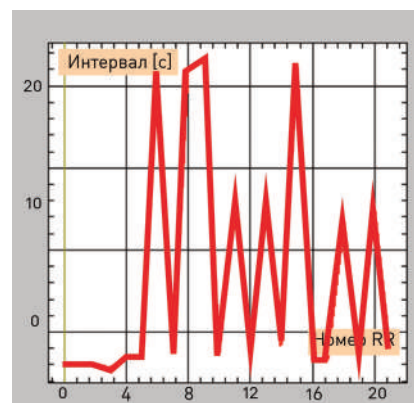


Рис. 7. Динамика интервала R-R электрокардиограммы на всем кардиоцикле
Fig. 7. Dynamics of the R-R interval of the electrocardiogram throughout the cardiac cycle

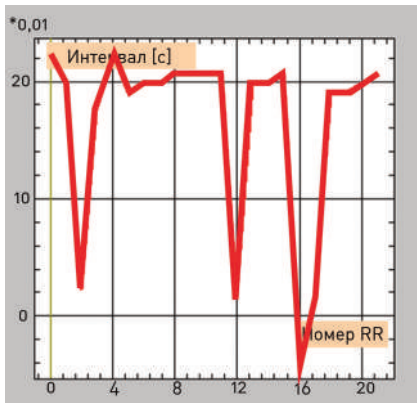


Рис. 8. Динамика интервала P–Q электрокардиограммы на всем кардиоцикле
Fig. 8. Dynamics of the P–Q interval of the electrocardiogram throughout the cardiac cycle

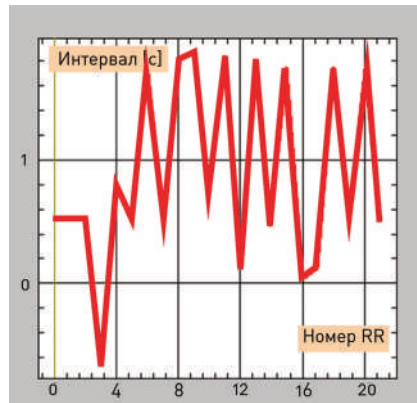


Рис. 9. Динамика интервала Q–T электрокардиограммы на всем кардиоцикле
Fig. 9. Dynamics of the Q–T interval of the electrocardiogram throughout the cardiac cycle

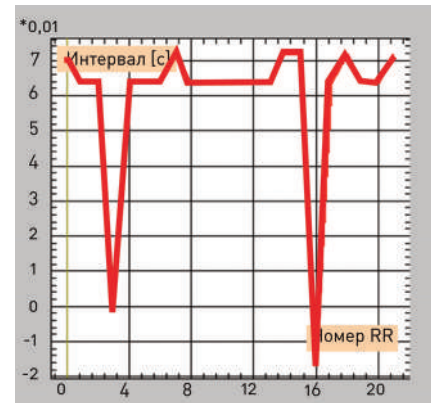


Рис. 10. Динамика интервала QRS электрокардиограммы на всем кардиоцикле
Fig. 10. Dynamics of the QRS interval of the electrocardiogram throughout the cardiac cycle

нии aVR амплитуда изменялась от 0,071 до 0,266 мВ (в среднем — $0,265 \pm 0,128$ мВ). В aVL отведении амплитуда изменялась от 0,087 до 0,519 мВ (в среднем значение составило $0,346 \pm 0,08$ мВ). В aVF отведении амплитуда изменялась от 0,07 до 0,338 мВ (в среднем — $0,232 \pm 0,08$ мВ). Динамика изменения зубца R электрокардиограммы на всем кардиоцикле представлена на рисунке 4.

Зубец S отражает период, когда оба желудочка охвачены возбуждением. Амплитуда в I отведении изменялась от 0,077 до 0,836 мВ (в среднем значение составило $0,473 \pm 0,187$ мВ). Во II-ом отведении амплитуда изменялась от 0,118 до 0,557 мВ (в среднем — $0,424 \pm 0,153$ мВ). Во III-ом отведении амплитуда изменялась от 0,021 до 0,185 мВ (в среднем значение составило $0,111 \pm 0,039$ мВ). В отведении aVR амплитуда изменялась от 0,189 до 0,731 мВ (в среднем — $0,507 \pm 0,181$ мВ). В aVL отведении амплитуда изменялась от 0,07 до 0,439 мВ (в среднем значение составило $0,268 \pm 0,021$ мВ). В aVF отведении амплитуда изменялась от 0,02 до 0,354 мВ (в среднем — $0,243 \pm 0,08$ мВ). Динамика изменения зубца S электрокардиограммы на всем кардиоцикле представлена на рисунке 5.

Зубец T отражает процесс реполяризации желудочков, в первом отведении амплитуда изменялась от 0,041 до 0,384 мВ (в среднем значение со-

ставляло $0,226 \pm 0,085$ мВ) и имела максимальную амплитуду. Во II-ом отведении данный зубец изменялся от 0,025 до 0,223 мВ (в среднем значение составило $0,140 \pm 0,038$ мВ). В III-ом отведении зубец T всегда положительный, амплитуда изменялась от 0,051 до 0,171 мВ (в среднем — $0,113 \pm 0,028$ мВ). В отведении aVR амплитуда изменялась от 0,045 до 0,352 мВ (в среднем значение составило $0,223 \pm 0,086$ мВ). В aVL отведении амплитуда изменялась от 0,05 до 0,221 мВ (в среднем — $0,141 \pm 0,049$ мВ). В aVF отведении амплитуда изменялась от 0,045 до 0,183 мВ (в среднем значение составило $0,127 \pm 0,03$ мВ). Динамика изменения зубца T электрокардиограммы на всем кардиоцикле представлена на рисунке 6.

По электрокардиограмме определены длительности прохождения возбуждения по сердцу (табл. 6). Длительность интервала R–R у лошадей в среднем равна $1,558 \pm 0,131$ мс и изменялась от 1,156 мс до 1,876 мс. Динамика изменения интервала R–R электрокардиограммы на всем кардиоцикле представлена на рисунке 7.

Интервал P–Q (атриовентрикулярная проводимость) отражает период от начала возбуждения предсердий до начала возбуждения желудочков, изменялась от 0,096 мс до 0,152 мс (в среднем составил $0,131 \pm 0,022$ мс). Динамика изменения интервала P–Q электрокардиограммы на всем кардиоцикле представлена на рисунке 8.

Таблица 6. Длительность интервалов ЭКГ лошадей, ($M \pm m$)

Table 6. Duration of ECG intervals in horses, ($M \pm m$)

Параметры	Среднее значение	Доверит. -95.000%	Доверит. +95.000%	Lim _{min}	Lim _{max}
R–R, мс	$1,558 \pm 0,131$	0,244	0,751	1,156	1,876
P–Q, мс	$0,131 \pm 0,022$	0,041	0,127	0,096	0,152
QRS, мс	$0,043 \pm 0,01$	0,019	0,058	0,022	0,064
Q–T, мс	$0,463 \pm 0,093$	0,175	0,539	0,296	0,64

Интервал Q–T (электрическая систола желудочков), характеризующий электрическую систолу желудочков, изменялся от 0,296 мс до 0,640 мс (в среднем — $0,463 \pm 0,093$ мс). Динамика изменения интервала Q–T электрокардиограммы на всем кардиоцикле представлена на рисунке 9.

Комплекс QRS, отражающий процесс деполяризации желудочков, изменялся от 0,022 мс до 0,064 мс (в среднем составил $0,043 \pm 0,01$ мс) (рис. 10).

Заключение. Таким образом, при анализе функционального состояния организма методом математического анализа ВСР получены и проанализированы первичные и вторичные числовые характеристики вариационных пульсограмм. На основании этих данных установлены породные особенности лошадей якутской породы Республики Саха (Якутия).

На основании проведенных исследований при анализе ЭКГ лошадей установлены первичные показатели вариационной пульсометрии: мода (Mo) — $1,57 \pm 0,13$ сек, амплитуда моды (АМо) — $43,63 \pm 3,19$ %, вариационный размах (ΔX) — $1,04 \pm 0,21$ сек.

Вторичные показатели: индекс напряжения регуляторных систем организма (ИН) — $22,38 \pm 3,01$ у.е., RMMSSD — $308,65 \pm 20,61$ мс, рNN50 — $41,88 \pm 3,62$ %, индекс вегетативного равновесия (ИВР) — $35,75 \pm 9,39$ у.е., вегетативный показатель ритма (ВПР) — $0,88 \pm 0,22$ у.е., показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР) — $23,51 \pm 2,16$ у.е.

Показатели Каплана — индекс дыхательный модуляции (ИДМ) — $9,51 \pm 2,56$ %, индекс симпато-адреналового тонуса (ИСАТ) — $62,01 \pm 3,83$ %, индекс медленноволновой (функциональной) аритмии (ИМА) — $19,01 \pm 3,42$.

Индекс показателя сердечного стресса (ПСС) — $15,77 \pm 2,31$ %, индекс показателя сердечной аритмии (ПСА) — $5,18 \pm 0,61$ %.

В результате проведенных исследований анализа классической ЭКГ: зубец Р колеблется от 0,083 до 0,191 мВ (в среднем значение составило $0,171 \pm 0,054$ мВ); зубец Q изменяется от 0,049 до 0,385 мВ (в среднем значение составило $0,212 \pm 0,071$ мВ); зубец R изменяется от 0,074 до 0,404 мВ (в среднем значение составило $0,275 \pm 0,104$ мВ); зубец S изменяется от 0,118 до 0,557 мВ (в среднем значение составило $0,424 \pm 0,153$ мВ); зубец Т изменяется от 0,025 до 0,233 мВ (в среднем значение составило $0,140 \pm 0,038$ мВ); длительность интервала R–R у лошадей в среднем равна $1,558 \pm 0,131$ мс и изменяется от 1,156 до 1,876 мс; интервал P–Q (атриовентрикулярная проводимость) изменяется от 0,096 до 0,152 мс (в среднем составил $0,131 \pm 0,022$ мс); интервал Q–T (электрическая систола желудочков) изменяется от 0,296 до 0,640 мс (в среднем составил $0,463 \pm 0,093$ мс); комплекс QRS изменяется от 0,022 до 0,064 мс (в среднем составил $0,043 \pm 0,01$ мс).

Электрокардиографические исследования биоэлектрической активности сердца у лошадей разных возрастных групп проведены в естественных для них условиях существования. Такое исследование животных может быть интересным не только для физиологии сельскохозяйственных животных, но и для сравнительной и экологической физиологии.

В связи с этим оценку этих зубцов и интервалов и показателей вариационной пульсометрии необходимо включить в базовый набор комплекса методик диагностики заболеваний сердца у лошадей.

Литература

1. Карклин А. И. Применение метода электрокардиографии для диагностики жеребости у лошадей / А. И. Карклин, М. В. Коробчук // Международный вестник ветеринарии. — 2024. — № 2. — С. 321–326.
2. Орлова Н. Е. Динамика параметров ЭКГ у конкурных лошадей под действием физической нагрузки / Н. Е. Орлова, М. Е. Пономарева, С. А. Позов // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. — 2020. — № 12. — С. 57–64.
3. Орлова Н. Е. Зависимость изменения параметров ЭКГ под действием физической нагрузки от состояния сердечно-сосудистой системы у лошадей / Н. Е. Орлова, М. Е. Пономарева, С. А. Позов // Вестник АПК Ставрополя. — 2021. — № 1 (41). — С. 38–41.
4. Орлова Н. Е. Изменение параметров ЭКГ и сердечных показателей у скаковых лошадей с возрастом / Н. Е. Орлова, М. Е. Пономарева, С. А. Позов // Вестник КрасГАУ. — 2021. — № 10 (175). — С. 144–149.
5. Пенькова А. А. Влияние физической нагрузки на работу сердца у лошадей рысистых пород / А. А. Пенькова, Д. А. Антонец, А. А. Корничук, А. А. Швердук // В сборнике: студенческая наука — взгляд в будущее. Материалы XVI всероссийской студенческой научной конференции. — Красноярск, 2021. — С. 191–194.
6. Степура Е. Е. Актуальность исследования variability сердечного ритма в спортивном коневодстве / Е. Е. Степура // В сборнике: современные способы повышения продуктивных качеств

- сельскохозяйственных животных, птиц и рыб. Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию зоотехнического факультета ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова. — Саратов, 2020. — С. 131–134.
7. Степура Е. Е. Актуальность исследования вариационных пульсограмм в конном спорте / Е. Е. Степура, Д. А. Дармограев // В сборнике: современные цифровые технологии в агропромышленном комплексе. Сб. материалов межд. научной конференции. в трех томах. 2020. С. 202–205.
 8. Степура Е. Е. Оценка функционального состояния жвачных и лошадей методом дисперсионного картирования / Е. Е. Степура // В сборнике: связь науки и производства - главное направление деятельности молодых ученых. Материалы совместной международной научно-практической онлайн-конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 300-летию РАН. Орёл, 2024. — С. 87–91.
 9. Тютерева А. А. Электрокардиографическая диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы у лошадей / А. А. Тютерева, И. Р. Гатиятуллин // В сборнике: Дулатовские чтения 2020. Материалы XII международной научно-практической конференции «трансформация опыта менеджмента агробизнеса европейского союза в Казахстан и страны центральной Азии». 2020. — С. 107–111.
 10. Ходырева Л. С. Интеллектуальная система мониторинга за состоянием здоровья лошади / Л. С. Ходырева // В книге: интеллектуальное приборостроение и технические средства обеспечения безопасности. Сборник научных трудов I национальной научно-практической конференции. — Москва, 2023. — С. 60–63.
 11. Яковлев С. С. Особенности ЭКГ лошадей в зависимости от возраста и вида конного спорта / С. С. Яковлев // В книге: вызовы и инновационные решения в аграрной науке. Материалы XXVI международной научно-производственной конференции. 2022. — С. 89–90.

Stepura E.¹, Fedorov V.¹

Electrophysiological indications of variational pulsometry of horses of the Republic of Sakha (Yakutia)

¹ Arctic State Agrotechnological University

Abstract

Objective: to analyze variation pulse patterns using mathematical analysis of electrocardiograms.

Materials and Methods. Electrocardiogram (ECG) and heart rate variability (HRV) parameters were studied in horses. The CONAN-4.5 software was used to analyze and record ECGs in the study animals. Clinical examination methods were based on B.V. Usha's clinical examination methods for animals and included inspection, palpation, percussion, and auscultation of the cardiac region.

Results. Based on the conducted studies, the following primary parameters of variation pulse pattern analysis were established during ECG analysis of horses: mode — $1,57 \pm 0,13$ sec, mode amplitude — $43,63 \pm 3,19$ %, variation range — $1,04 \pm 0,21$ sec. Secondary indicators: index of regulatory systems tension of the body — $22,38 \pm 3,01$ c.u., RMMSSD — 308.65 ± 20.61 ms, pNN50 — 41.88 ± 3.62 %, index of vegetative balance — 35.75 ± 9.39 c.u., vegetative rhythm indicator — $0,88 \pm 0,22$ c.u., indicator of adequacy of regulatory processes — $23,51 \pm 2,16$ c.u. Kaplan indicators – respiratory modulation index (RMI) — $9,51 \pm 2,56$ %, index of sympathoadrenal tone — $62,01 \pm 3,83$ %, index of slow-wave arrhythmia — $19,01 \pm 3,42$ %. The cardiac stress index was $15,77 \pm 2,31$ %, the cardiac arrhythmia index was $5,18 \pm 0,61$ %. As a result of the conducted studies of the classical ECG analysis, the following average values were obtained: P wave — $0,171 \pm 0,054$ mV; Q wave — $0,212 \pm 0,071$ mV; R wave — $0,275 \pm 0,104$ mV; S wave — $0,424 \pm 0,153$ mV; T wave — $0,140 \pm 0,038$ mV. The duration of the R–R interval in horses is on average $1,558 \pm 0,131$ ms and varies from 1,156 to 1,876 ms; the P–Q interval varies from 0,096 to 0,152 ms; The Q–T interval varies from 0,296 to 0,640 ms; the QRS complex varies from 0,022 to 0,064 ms.

Keywords: horses; electrocardiogram; stress index; variation pulsometry; heart rate variability; initial vegetative tone.

References

1. Karklin A. I. Application of the electrocardiography method for diagnosing pregnancy in horses / A. I. Karklin, M. V. Korobchuk // International Veterinary Bulletin. — 2024. — № 2. — P. 321–326.
2. Orlova N. E. Dynamics of ECG parameters in show jumping horses under physical activity / N. E. Orlova, M. E. Ponomareva, S. A. Pozov // Veterinary science, animal science and biotechnology. — 2020. — № 12. — P. 57–64.
3. Orlova N. E. Dependence of changes in ECG parameters under physical activity on the state of the cardiovascular system in horses / N. E. Orlova, M. E. Ponomareva, S. A. Pozov // Bulletin of the APK of Stavropol. — 2021. — № 1 (41). — P. 38–41.
4. Orlova N. E. Changes in ECG parameters and cardiac parameters in racehorses with age / N. E. Orlova, M. E. Ponomareva, S. A. Pozov // Bulletin of KrasSAU. — 2021. — № 10 (175). — P. 144–149.
5. Penkova A. A. The effect of physical activity on cardiac function in trotter horses / A. A. Penkova, D. A. Antonevich, A. A. Kornichuyk, A. A. Sheverduk // In the collection: student science — a look into the future. Proceedings of the XVI All-Russian student science conference. — Krasnoyarsk, 2021. — P. 191–194.
6. Stepura E. E. Relevance of the study of heart rate variability in sport horse breeding / E. E. Stepura // In the collection: modern methods of improving the productive qualities of farm animals, birds and fish. Proceedings of the national scientific and practical conference with international participation dedicated to the 90th anniversary of the zootechnical faculty of the FSBE Institution of Higher Education Saratov State Agricultural University named after N. I. Vavilov. — Saratov, 2020. — P. 131–134.
7. Stepura E. E. Relevance of the Study of Variational Pulse Grams in Equestrian Sports / E. E. Stepura, D. A. Darmograev // In the collection: Modern digital technologies in the agro-industrial complex. Collection of materials of the international scientific conference. in three volumes. 2020. — P. 202–205.
8. Stepura E. E. Assessment of the functional state of ruminants and horses using the dispersion mapping method / E. E. Stepura // In the collection: The connection between science and production is the main area of activity of young scientists. Materials of the joint international scientific and practical online conference of young scientists and specialists dedicated to the 300th anniversary of the RAS. — Orel. — 2024. — P. 87–91.
9. Tyutereva A. A. Electrocardiographic diagnostics of cardiovascular diseases in horses / A. A. Tyutereva, I. R. Gatiyatullin // In the collection: Dulatov Readings 2020. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference "Transformation of the European Union Agribusiness Management Experience in Kazakhstan and Central Asian Countries". 2020. — P. 107–111.
10. Khodyreva L. S. Intelligent system for monitoring the health of a horse / L. S. Khodyreva // In the book: Intelligent instrumentation and technical means of ensuring safety. Collection of scientific papers of the 1st National Scientific and Practical Conference. — Moscow, 2023. — P. 60–63.
11. Yakovlev S. S. Features of the ECG of horses depending on age and type of equestrian sport / S.S. Yakovlev // In the book: Challenges and Innovative Solutions in Agricultural Science. Proceedings of the XXVI International Scientific and Production Conference. 2022. — P. 89–90.

Сведения об авторах:

Степура Евгений Евгеньевич — кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии сельскохозяйственных животных и экологии, факультета ветеринарной медицины, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Арктический государственный агротехнологический университет"; 677007, Республика Саха (Якутия), г.Якутск, шоссе Сергеляхское, 3 км., д. 3; e-mail: chimik89@mail.ru.

Федоров Валерий Иннокентьевич — доктор биологических наук, ректор Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Арктический государственный агротехнологический университет"; 677007, Республика Саха (Якутия), г.Якутск, шоссе Сергеляхское, 3 км., д. 3

Authors:

Stepura Evgeny Evgenievich — PhD (Biol. Sci.), Associate Professor, Department of Farm Animal Physiology and Ecology, Faculty of Veterinary Medicine, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Arctic State Agrotechnological University"; 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoe highway, 3 km., no. 3; e-mail: chimik89@mail.ru.

Fedorov Valery Innokentievich — Dr Habil. (Biol. Sci.), Rector, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Arctic State Agrotechnological University"; 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoe highway, 3 km., no. 3.