

Т. В. Бузика,
 О. В. Власенко*, канд. мед. наук, доц.,
 І. Л. Рокунець*,
 В. В. Чечель*

ЗАСІБ РЕЄСТРАЦІЇ ФОНОКАРДІОГРАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ У ЩУРІВ ЗА УМОВ ВІЛЬНОЇ ПОВЕДІНКИ

Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова,

*Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова

Використання кабельних систем для дослідження фізіологічних показників у хронічному експерименті має свої обмеження [1]. Це пов'язано з порушенням таких умов, як вільна поведінка тварин, неможливість проведення досліджень у лабіринтах, тунелях, закритих камерах, у стані сну, а також моніторингу параметрів організму протягом доби. Розв'язання цих методичних проблем забезпечується використанням бездротових, телеметричних систем передачі даних від об'єкта спостереження до реєструючої апаратури. На цьому шляху технічні засоби пройшли значний шлях еволюції, у них використовують найсучасніші досягнення науки: оптичну систему передачі даних [2], передачу аналогових даних у радіочастотному діапазоні [3; 4], цифрові бездротові технології IrDA, WLAN, Bluetooth [5–7]. Кожен із запропонованих способів має свої переваги і недоліки, а вибір потрібного зумовлений експериментальними завданнями.

Більш просто реалізуються технічні засоби передачі параметрів організму, зміна яких відбувається відносно повільно: фізіологічні процеси в міокарді (електрокардіографія, фонокардіографія) [8; 9], сумарний електричний потенціал мозку (електроенцефалографія й електрокортикографія) [10], електроміографія [11] та ін.

Повний комплект такої апаратури, куди входять не тільки апарати, а й прикладне програмне забезпечення, яке адаптоване до вимог дослідної лабораторії, недосяжний для широкого кола дослідників через високу вартість. У нашій країні медико-біологічні портативні телеметричні системи раніше не розроблялися.

У зв'язку з вищевикладеним, ми поставили перед собою **мету**: створити програмно-апаратний комплекс для телеметричної реєстрації фонокардіограми (ФКГ) у щурів за умов вільної поведінки. Для виконання поставленої мети нами сформульовано такі завдання:

1) розробити технічний алгоритм апаратного комплексу для реєстрації ФКГ, її підсилення, кодування, передачі, прийому, декодування, аналогово-цифрового перетворення та запису сигналу;

2) на основі алгоритму виготовити діючу модель приймально-передаючого комплексу;

3) створити прикладне програмне забезпечення для збереження цифрового сигналу, його відтворення й обробки.

Матеріали та методи дослідження

При створенні оригінального алгоритму ми вибрали аналог [4], найбільш близький за своїми параметрами до нашої розробки. Аналіз технічних рішень аналога встановив, що у ньому

невдало побудований вхідний каскад підсилювача, тому для узгодження роботи мікрофона (EM9745P-44, Ø 4,5 × 3,0 мм, "Horn") з пристроєм реєстрації нами вибрано польовий транзистор з ізольованим затвором. Як відомо, підзатворний діелектрик звичайного польового транзистора має набагато більше шумів на низьких частотах, ніж, наприклад, кремнієвий дифузійно-планарний польовий транзистор на основі р-n переходу із каналом р-типу. У аналога також невдало вибраний спосіб кодування сигналу: аналоговий сигнал перетворюється в цифровий, а потім навпаки. Відомо, що цифрові сигнали більш стабільні при їх обробці. Але при низькому рівні вхідного сигналу спотворення, які вносять цифрові пристрої, повністю нівелюють їхні переваги. З іншого боку, щоб робити такі перетворення, потрібна додаткова енергія (для технологічного розширення частотного діапазону).

Запатентований нами раніше «Пристрій для телеметричної передачі імпульсної активності нейронів» [12] ми використовували для реєстрації ФКГ, алгоритм роботи якого подано на рис. 1. Сигнал з мікрофона подається на вхід попереднього підсилювача (див. рис. 1, 1), надходить до сигнального входу частотного модулятора (див. рис. 1, 2), на другий вхід якого подається опорна частота

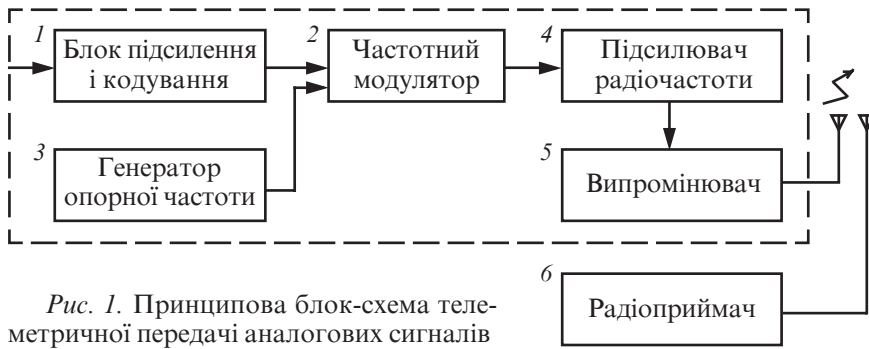


Рис. 1. Принципова блок-схема телеметричної передачі аналогових сигналів

від генератора (див. рис. 1, 3). У частотному модуляторі відбувається девіація цієї частоти за сигнальним законом, виділяється основна гармоніка, яка переходить до підсилювача радіочастоти (див. рис. 1, 4). Після цього сигнал передається на випромінювач (див. рис. 1, 5), транслюється до приймача (див. рис. 1, 6), де виконується виділення і додаткове підсилення корисного сигналу.

Для реалізації даного способу запропоновано мікропотужний і малогабаритний пристрій (рис. 2), який виготовляється з використанням технології гібридних інтегральних мікросхем (ГІС). У нашій розробці запроваджено кілька удосконалень, які суттєво відрізняються від аналога. Корисний сигнал передається за допомогою радіохвиль у частотному ультракороткохвильовому дециметровому діапазоні.

Алгоритм перетворень простий, відсутня надлишковість функціональних пристроїв, а робота вузлів передавача здійснюється у спеціальних допорогових режимах із мікроспоживанням енергії. Усунено джерела апаратного шуму: не використовуються перетворення, які б могли розширити частотний спектр радіоперешкод; не застосовуються активні та пасивні прилади з великим коефіцієнтом низькочастотних шумів. Завдяки ГІС-технології отримано можливість з великою щільністю укомплектувати розробку.

При бездротовій системі передачі даних коефіцієнт попереднього підсилення передавача становив не більше 100. Після підсилення вхідний сигнал ущільнювався у часі та транслювався завдяки частотній модуляції. Несуча частота збережена такою, яка була в одноканальній системі передачі

даних [12]. Переданий сигнал приймається спеціальним приймачем оригінальної конструкції, в якому сигнал відновлюється, декодується, фільтрується та передається на блок аналого-цифрового перетворювача з періодом пропускання 2,5 кГц на канал і частотою дискретизації, вищою в 16 разів від верхньої частоти відновленого сигналу.

П'ять дорослих щурів-самців (250–300 г) лінії Вістар з віварію Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України були використані на етапі перевірки та практичного втілення проекту. Утримання та маніпуляції здійснювалися згідно з рекомендаціями та дозволом комітету біомедичної етики Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова.

Результати дослідження та їх обговорення

Під кетаміновим наркозом (100 мг/кг, внутрішньочеревинно) щуру здійснювали фіксацію спеціального рюкзачка (див. рис. 2) на рівні грудної клітки. Через 3–4 дні після фіксації рюкзачка з розташованим під ним мікрофоном (рис. 3) починали хронічний експеримент. На рюкзачок фіксувався бездротовий мобільний передавач сигналів ФКГ. Тварина по-

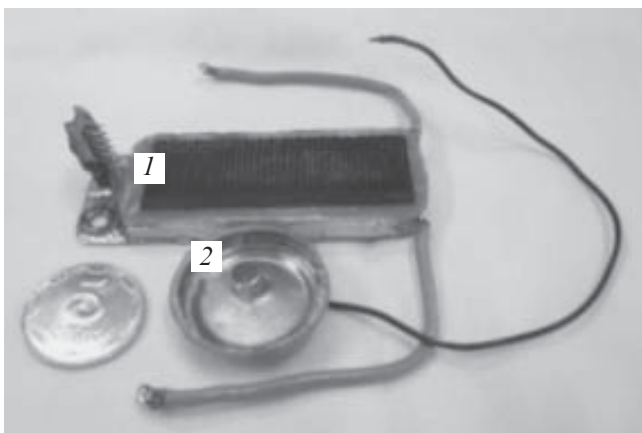


Рис. 2. Зовнішній вигляд стаціонарних елементів пристрою для реєстрації фонокардіограми, які фіксують на піддослідній тварині: 1 — рюкзак; 2 — мікрофон



Рис. 3. Вигляд лабораторної тварини з встановленими стаціонарними елементами для реєстрації фонокардіограми у лабораторного щура за умов вільної поведінки

мішалася в експериментальний плексигласовий ящик (рис. 4), оснащений фотоелектронною системою фіксації параметрів рухів. Реєстрація ФКГ проходила під час навчання їждобувним рухам в експериментальній камері. Сигнали датчиків у послідовних інтервалах оцифровували та записували на магнітний носій інформації персонального комп'ютера. Згідно з даними Chen et al. (2008), які впроваджують телеметричну систему на базі Bluetooth, проблема міжканального розділення сигналів при багатоканальній трансляції є складним технологічним завданням. Отримані записи ФКГ (рис. 5) характеризуються високою якістю, із достатнім співвідношенням сигнал/шум. Отримані записи свідчать про те, що вибрана нами ширина ро-

бочого частотного діапазону достатня для отримання корисних амплітудно-частотних характеристик ФКГ-сигналів.

Вибраний частотний діапазон (405 мГц) передачі даних не захищений від перешкод при роботі передавача на відкритому просторі. Випробувавши декілька підходів, ми встановили, що проблема розв'язується двома способами:

1) розміщення передавача з лабораторною твариною в електромагнітно екранованій камері;

2) створення антени приймача з розподіленими у просторі елементами антенної решітки, що збільшує активну зону експериментальної камери.

Для оптимізації роботи передавача мобільного блока та приймача слід указати на правильність розташування антени приймача. При використан-

ні звичайної стрижневої антени приймача виникає ситуація, коли лабораторна тварина з мобільним передавачем займає певну позицію, при якій виникає порушення трансляції сигналу навіть на невеликій відстані між антенами. Ця проблема була розв'язана за допомогою використання антени передавача без явно вираженої діаграми направленості та розподілених у просторі елементів антенної решітки приймача, що забезпечило дальність перешкодостійкого зв'язку на відстані до 1,5 м.

Досить серйозною проблемою сучасних телеметричних систем є енергоспоживання мобільного блока передавача, який знаходиться на тілі лабораторної тварини. В аналогічних розробках [4; 7] даний показник дорівнює 1,6–23 мВт на канал. Це досить високе значення, яке суттєво обмежує тривалість проведення хронічного експерименту та потребує частой заміни елементів живлення або підзарядки акумулятора. У розробленому нами пристрої енергоспоживання становить лише 1,5 мВт на канал, що при використанні сучасного елемента живлення (Li-іонний акумулятор ємністю 850 мА) суттєво подовжує тривалість автономної роботи мобільного блока передавача, а значить, і загальну тривалість хронічного експерименту. Причому слід зауважити, що час автономної роботи передавача не менше 20 год може бути суттєво подовжений шляхом використання більш сучасного акумулятора більшої ємності. У нашому випадку подібний підхід обмежений лише масою та розмірами самого елемента живлення, адже маса передавача з акумулятором дорівнює 42 г, що становить 14 % від середньої маси лабораторної тварини, при 10 % маси передавача в анало-

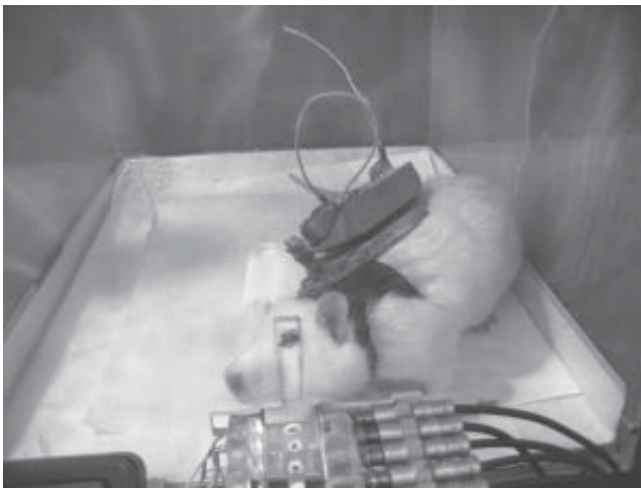


Рис. 4. Приклад використання телеметричної системи для реєстрації фонокардіограми у лабораторного щура за умов вільної поведінки

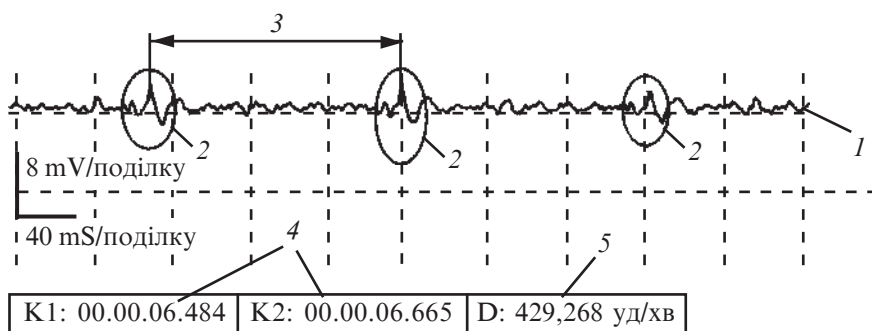


Рис. 5. Фонокардіограма лабораторного щура за умов вільної поведінки: 1 — фонокардіограма, 2 — серцеві тони, 3 — тривалість серцевого циклу, 4 — часові координати курсорів, 5 — частота серцевих скорочень, визначена програмно

га [7]. Тому планується використання легших батарей з метою зменшення загальної маси.

Висновки

1. Створена нами телеметрична система передачі аналогового сигналу у радіочастотному діапазоні є ефективною для хронічного експерименту з реєстрацією ФКГ у лабораторних тварин.

2. Недоліками запропонованої телеметричної системи можна вважати чутливість до сторонніх перешкод у дециметровому хвильовому діапазоні, хоча стійкість є досить високою.

3. Запас технічних характеристик запропонованої системи та підключення різноманітних датчиків дозволяє використати її для високоякісної реєстрації багатьох інших процесів (наприклад, електроенцефалограми, нейронограми, електрокардіограми, електроокулограми, тонограми, пневмограми і т. д.) у багатоканальному режимі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волошин М. Я. Электрофизиологические методы исследования головного мозга в эксперименте / М. Я. Волошин. — К. : Наукова думка, 1987. — 192 с.

2. Tsuchida Y. An Optical Telemetry System for Underwater Recording of Electromyogram and Neuronal Activity from Non-Tethered Crayfish / Y. Tsuchida, N. Hama, M. Takahata // Journal of Neuroscience Methods. — 2004. — Vol. 137, N 1. — P. 103–109.

3. Telemetry System for Reliable Recording of Action Potentials from Freely Moving Rats / E. S. Hawley, E. L. Hargreaves, Kubie [et al.] // Hippocampus. — 2002. — Vol. 12, N 4. — P. 505–513.

4. Wireless Multichannel Biopotential Recording Using an Integrated FM Telemetry Circuit / P. Mohseni, K. Najafi, S. Eliades, X. Wang // IEEE Transactions on Neural systems and Rehabilitation Engineering. — 2005. — Vol. 13, N 3. — P. 263–271.

5. A Self-Calibrating Telemetry System for Measurement of Ventricular Pressure-Volume Relations in Conscious, Freely Moving Rats / K. Uemura, T. Kawada, M. Sugimachi [et al.] // American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology. — 2004. — Vol. 287, N 6. — P. 2906–2913.

6. Obeid I. A multichannel telemetry system for single unit neural recordings / I. Obeid, M. A. Nicoletis, P. D. Wolf // J. Neurosci. Meth. — 2004. — Vol. 133. — P. 33–38.

7. Wireless Telemetry System for Single-Unit Recording in Rats Navigation / H.-Y. Chen, J.-S. Wu, C.-P. Li, J.-J. Chen // Journal of the Chinese Institute of Engineers. — 2008. — Vol. 31, N 3. — P. 449–458.

8. A multichannel implantable telemetry system for flow, pressure, and ECG measurements / T. B. Fryer, H. Sandler, W. Freund [et al.] // J. Appl. Physiol. — 1975. — Vol. 39, N 2. — P. 318–326.

9. Filshie J. H. Radiotelemetry of avian electrocardiogram / J. H. Filshie, I. J. H. Duncan, J. S. B. Clark // Med. Biol. Eng. Comput. — 1980. — Vol. 18. — P. 633–637.

10. Wang X. On cortical coding of vocal communication sounds in primates / X. Wang // Proc. Natl. Acad. Sci. — 2000. — Vol. 97. — P. 11843–11849.

11. A low-power portable telemetry system for eight-channel EMG measurements / M. Steyaert, S. Gogaert, T. Van Nuland, W. Sansen // Proc. Annu. Int. IEEE-EMBS Conf. — 1991. — Vol. 13. — P. 1711–1712.

12. Пат. 15653 UA, МПК А61В 5/04. Пристрій для телеметричної передачі імпульсної активності нейронів / Мороз В. М., Чечель В. В., Власенко О. В., Рокунець І. Л., Йолтухівський М. В. (UA); заявник та патентовласник Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова (UA). — № u2005 12762; заявл. 29.12.2005; Опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7. — С. 12.

УДК 591.112.1:599.323.45:621.398

Т. В. Бузика, О. В. Власенко, І. Л. Рокунець, В. В. Чечель
ЗАСІБ РЕЄСТРАЦІЇ ФОНОКАРДІОГРАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ У ЩУРІВ ЗА УМОВ ВІЛЬНОЇ ПОВЕДІНКИ

Метою роботи було створення програмно-апаратного комплексу для телеметричної реєстрації фонокардіограми (ФКГ) у щурів за умов вільної поведінки. Запропоновано новий принцип кодування аналогового сигналу за рахунок часового ущільнення з шумостійким алгоритмом. Забезпечено широкий період передачі даних і низьку енергоємність з високим співвідношенням сигнал/шум. Бездротова система складається із портативного мобільного передавача, стаціонарного приймача, АЦП, комп'ютера та програмного забезпечення. Канал телеметричної передачі даних характеризується такими параметрами: несуча частота 405 МГц, енергоспоживання 12 мВт, частота дискретизації 30 кГц, маса передавача 42 г, час роботи в автономному режимі 20 год, радіус дії 1,5 м.

Під час хронічного експерименту на дорослих білих щурах здійснено реєстрацію ФКГ за умов вільної поведінки. Запропонований принцип і створена на його базі діюча модель підтвердили ефективність оригінальної телеметричної системи.

Ключові слова: телеметрична система, фонокардіограма, щур.

UDC 591.112.1:599.323.45:621.398

Т. В. Бузика, О. В. Власенко, І. Л. Рокунець, В. В. Чечель
THE MODE OF REGISTRATION OF PHONOCARDIOGRAM WITH HELP OF TELEMETRIC SYSTEM OF TRANSMISSION FOR RATS UNDER CONDITIONS OF FREE BEHAVIOR

The purpose of our work was creation of program-apparate complex for telemetric registration of phonocardiogram for rats under conditions of free behavior. A new principle of analog signal encoding due to the temporal compression with a noise resistant algorithm is offered. The wide bar of data communication and the power intensity with the high signal-to-noise ratio are provided.

The wireless system consists of the portable mobile transmitter, stationary receiver, analog-to-digital converter, computer. A telemetric data channel is characterized by the following parameters: carrier frequency 405 MHz, energy consumption 12 mW, discretization frequency 30 kHz, transmitter mass 42 g, working time in autonomous behaviour 20 hrs, range 1.5 m.

Under conditions of chronic experiment on adult white rats registration of phonocardiogram is carried out under conditions of free behavior. The offered principle and operating model created on its base confirmed efficiency of the original telemetric system.

Key words: telemetry system, phonocardiogram, rats.