ФІЗІОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНСЬКОЇ РСР, 1968, т. XIV, № 2

Ультразвукова кардіограма здорового собаки

М. М. Тумановський, В. Я. Гармаш, В. М. Грязнов

Кафедра госпітальної терапії і центральна науково-дослідна лабораторія Воронезького медичного інституту

Для вивчення фізіології серця собаки ми користувалися імпульсним ультразвуковим методом. Для цього була застосована ультразвукова кардіографічна приставка. Реєстрація ультразвукової кардіограми здійснювалась на двоканальному електрокардіографі. Синхронно з ультразвуковою кардіограмою реєструвалась електрокардіограма.

Ультразвук в кардіології вперше був застосований Кайделем [10]. Для цього він використав ультразвукове просвічування серця, вивчаючи зміни об'єму серця під час серцевого циклу, але внаслідок великого поглинання ультразвуку повітрям, що знаходиться в легенях, методика не дістала практичного застосування. Дещо пізніше Едлер і Херц [7] запропонували імпульсний ультразвуковий метод для вивчення фізіології серця в нормі і для діагностики пороків серця. Суть методу полягає в тому, що ультразвук при проходженні відбивається від тканин, що мають різний акустичний опір (кров і м'яз серця). Відбиті сигнали вловлюються датчиком з титанату барію, що має п'єзоелектричний ефект, перетворюються на електричні сигнали і записуються у вигляді кривої — ультразвукової кардіограми.

Ця методика дістала дальшого розвитку в працях Ефорта та ін. [8], Тумановського та ін. [6].

Для вивчення фізіології серця собаки застосовують також і ультразвук. Так, наприклад, Іошида та ін. [12] для реєстрації руху клапанів серця собаки використав ефект Доплера і дістав позитивні результати. При оцінці функціональної діяльності серця безсумнівний інтерес становить можливість безперервної реєстрації його лінійних розмірів. Вперше ця задача була поставлена і розв'язана Рашмером та ін. [11] стосовно до лівого шлуночка серця, в Радянському Союзі це питання вивчає Синяков [5]. Ми поставили завдання вивчити фізіологію серця собаки методом ультразвукової кардіографії.

Методика досліджень

За 1 *год* до ультразвукового дослідження собаці вводили 1%-ний розчин солянокислого морфіну з розрахунку 0,5 *мл/кг*. Тварину прив'язували в станку в положенні на спині. В ділянці проекції серця шерсть вибривали. Після такої підготовки починали провадити дослідження. Якщо під час дослідження у собаки відзначалось глибоке дихання, що перешкоджало реєстрації ультразвукової кардіограми, тварині внутрівенно вводили 2 *мл* 5%-ного розчину тіопентал-натрію. Цим домагались поверхового дихання, яке не заважало здійснювати ультразвукове дослідження серця. Ідеальною умовою для запису ультразвукової кардіограми є припинення дихання, яке досягали інтубацією тварини і переведенням її на кероване дихання.

Ультразвуковий датчик встановлювали зліва або справа по парастернальній лінії в другому, третьому або четвертому міжреберному проміжках. Ця позиція дат-

чика не постійна, тому що проекція серця на передню поверхню грудної клітки варіює, отже датчик доводиться переміщувати на кілька сантиметрів у бік зі зміною кута нахилу датчика щодо передньої поверхні грудної клітки. Зв'язок датчика з тілом собаки здійснювався через воду. При поганому контакті датчика з шкірою собаки, внаслідок наявності повітря між ними, одержати ультразвукову криву не вдається. Для реєстрації ультразвукової кардіограми лівого передсердя тварину слід дещо нахилити вправо, а для запису правого передсердя — вліво.

Нами застосовані частоти 1,76 і 0,88 *мгц*. Найкращою частотою була 1,76 *мгц*.

Методика ультразвукової кардіографії проста, нею легко користуватися, і вона може бути широко застосована в експериментальній кардіології.

Результати досліджень та їх обговорення

Механічні явища, пов'язані з діяльністю серця собаки, ми вивчали імпульсним ультразвуковим методом на 69 здорових собаках. Ліве передсердя нам вдалося зареєструвати в 68 дослідах, праве — в 12, легеневу артерію — в 5 випадках, шлуночки в 4 дослідах. Щодо аорти, то зареєструвати її ультразвуковим методом нам не вдалося в жодному разі.

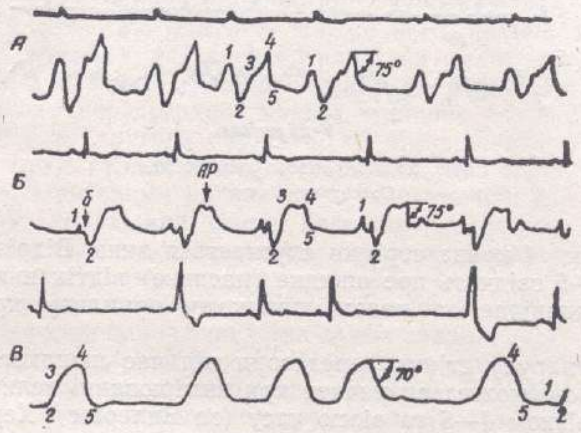

Рис. 1. Варіанти УЗК лівого передсердя собаки.
А — перший, *Б* — другий, *В* — третій варіант.
V=25 *мм/сек*.

Нормальна ультразвукова кардіограма (УЗК) лівого передсердя нагадує венозну криву (рис. 1, *А*). Хвиля *1* відбиває систолу передсердя. Висхідне її коліно зумовлено переходом передсердя з еліпсовидної форми на шаровидну, а низхідне коліно відбиває безпосередньо період активного вигнання крові з передсердя у шлуночок і закінчується на рівні або дещо пізніше зубця *S* електрокардіограми, у точці *2*, що відповідає моменту закриття мітрального клапана і початку систоли шлуночків.

Після точки *2* передсердна крива повільно піднімається вгору, тому що при замкнених мітральних клапанах збільшується обмін крові в лівому передсерді внаслідок її припливу з легеневих вен, в результаті чого передня стінка передсердя наближається до передньої стінки грудної клітки. Інтервал *2—3* передсердної кривої відповідає за часом фазі вигнання крові з легеневого шлуночка в аорту. На початку діастоли шлуночків передсердна крива стрімко піднімається вгору і досягає свого максимуму в точці *4* внаслідок того, що передсердя знову здійснює перехід з еліпсовидної форми на шаровидну під впливом ізометричного розслаблення шлуночків і тривалого припливу крові

з легеневих вен. Відрізок кривої *3—4* відбиває дальше наближення стінки лівого передсердя до грудини і відповідає за часом протодіастолі та фазі ізометричного розслаблення шлуночків, тобто моменту, коли мітральні клапани ще не відкрились, а аортальні вже закрились.

Точка *4* передсердної кривої відбиває момент відкриття мітрального клапана, вона реєструється завжди після закінчення зубця *Т*

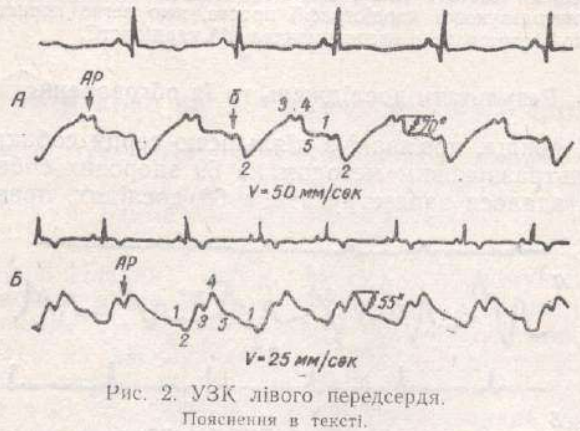

Рис. 2. УЗК лівого передсердя.
Пояснення в тексті.

ЕКГ. Від точки *4* крива стрімко спускається вниз. Відрізок передсердної кривої *4—5* свідчить про швидке (пасивне) відтікання крові в шлуночок та відповідає за часом швидкому припливу крові в лівий шлуночок.

Швидкість руху стінки передсердя під час швидкого (пасивного) відтікання крові можна визначити при вимірюванні величини кута, утвореного відрізком *4—5* та віссю часу (за Едлером і Херцом [7]). Цей кут — кут пасивного відтікання крові — коливається в межах 45—80°, у середньому 64°.

Слід відзначити, що величина кута пасивного відтікання крові залежить від швидкості руху стрічки кардіографа. При швидкості руху стрічки 25 *мм/сек* він завжди більше на 15—20°, ніж при швидкості руху стрічки 50 *мм/сек*.

Відрізок від точки *5* до висхідного коліна хвилі *I* відбиває як приплив крові з легеневих вен, так і її відтікання в лівий шлуночок, він відповідає за часом фазі повільного припливу крові в шлуночок. Його тривалість залежить від частоти пульсу. Описаний варіант УЗК нам вдалося зареєструвати у чотирьох собак (так званий перший варіант передсердної кривої).

Найчастіше трапляється другий варіант УЗК лівого передсердя, який по суті не відрізняється від першого, але в ньому найбільш чітко відбивається як шлуночковий, так і судинний компоненти. На висхідному коліні передсердної кривої у верхній її третині (рис. 1, *Б* і рис. 2, *Б*) чітко визначається одна або дві хвилі, зумовлені ротаційними змінами положення серця, що виникають в результаті закінчення фази вигнання крові з шлуночків і закриття аортальних та пульмональних клапанів (АР). Характерно те, що ці хвилі реєструються завжди на рівні низхідного коліна зубця *Т* ЕКГ. Одна хвиля зареєстрована у 26 тварин, а дві — у 38. Наявність цих хвиль дозволяє більш точно визначити тривалість протодіастоли і фази ізометричного розслаблення шлуночків. Відзначені також зміни хвилі *I*, але її величина за амплітудою менша. Висхідне коліно її також відбиває перехід перед-

сердя з еліпсовидної форми у шаровидну (фаза підготовки до активного вигнання в середньому триває 0,03 *сек*), а низхідне коліно — активне вигнання крові у шлуночок (0,05 *сек*). Низхідне коліно пресистолічної хвилі закінчується на рівні зубця *Q* ЕКГ. В ряді випадків висхідне коліно хвилі *I* було відсутнє (рис. 2, *А*), тобто активне вигнання крові починається без фази підготовки.

Відрізок *б — 2* передсердної кривої — це шлуночковий компонент. Коліно *б* зумовлено протосистолою, що відбиває скорочення міжшлуночкової перегородки, реєструється завжди на рівні зубця *R* ЕКГ і триває в середньому 0,04 *сек*. Низхідне коліно *б—2* зумовлено фазою ізометричного напруження шлуночків з обертальними і коливальними рухами, які тривають у середньому 0,05 *сек*.

І нарешті, у 19 собак була зареєстрована однохвильова передсердна крива, на якій хвиля *I* відсутня (рис. 1, *В*). Ми гадаємо, що однохвильова передсердна крива відбиває рух вушка лівого передсердя. Хвиля *I* відсутня тому, що у вушку майже нема активного скорочення. Це доведено методом електрокімографії на людях Зарецьким [3], а також нами при вивченні фізіології серця здорової людини.

Перший варіант передсердної кривої відбиває істинний рух стінки передсердя. Щодо другого варіанта, то він відбиває не лише пасивні і активні рухи стінки лівого передсердя, пов'язані з пасивним відтіканням крові і активним вигнанням її в шлуночок, але й рухи, пов'язані із зміною положення серця внаслідок закриття і відкриття пульмональних, аортальних, мітральних клапанів, обертальних і коливальних рухів серця в цілому.

Характерно те, що всі описані варіанти передсердних кривих часто вдається реєструвати одночасно у тих самих тварин.

І, нарешті, слід відзначити, що збільшення кута пасивного відтікання крові залежить від місця реєстрації УЗК. Кут відтікання найбільший в ділянці вушка лівого передсердя, потім він поступово зменшується до основи шлуночків. У трьох тварин кут пасивного відтікання становив 35°. Ми гадаємо, що УЗК лівого передсердя реєструється в таких випадках у ділянці, близькій до лівого шлуночка. Дана крива в деяких випадках може дати невірне уявлення про величину кута відтікання, що особливо важливо знати при створенні моделі експериментального мітрального стенозу, тому що в таких випадках не виключена можливість помилок.

УЗК правого передсердя має таку ж форму і такі ж часові відношення фаз серцевого циклу, що й УЗК лівого передсердя.

В ряді випадків висхідне коліно хвилі *I* відсутнє (рис. 2, *А*), тобто активне вигнання крові починається без фази підготовки. Це свідчить про те, що фаза пасивного відтікання крові з передсердя у шлуночок супроводжується підготовкою передсердя до активного вигнання.

Достовірність одержаних даних перевірена з допомогою варіаційної статистики, дані якої наведені в таблиці.

Нормальну ультразвукову кардіограму лівого шлуночка нам вдалося зареєструвати в чотирьох випадках (рис. 3). Вона складається з висхідного і низхідного колін. Низхідне коліно зумовлене систолою шлуночків, а висхідне — їх діастолою. Систолічне зниження на відміну від пресистолічного зниження передсердної кривої починається завжди після початку зубця *R* через 0,03—0,05 *сек*. Стрімке зниження низхідного коліна (інтервал *1—2*) зумовлене швидким вигнанням крові з лівого шлуночка в аорту, воно триває в середньому 0,06 *сек*, а більш пологе зниження (інтервал *2—3*) зумовлене повільним вигнанням крові. Воно триває 0,08 *сек*. Після систолічного зниження на УЗК

лівого шлуночка відзначається невелике підвищення кривої. Це протодіастола. Дана фаза серцевого циклу зумовлена обертальними і коливальними рухами серця внаслідок зміни його положення, що настає через закриття аортальних клапанів і початку розслаблення м'язів міжпередсердної і міжшлуночкової перетинок. У дальшому ультразвукова крива від точки *4* знову починає поступово знижуватися і досягає свого максимуму у точці *5*, яка відбиває момент відкриття мітрального клапана. Інтервал *4—5* шлуночкової кривої триває в середньому 0,06 *сек* і відбиває фазу ізометричного розслаблення шлуночків, зумовлену обертальними і коливальними рухами серця внаслідок зміни його положення через розслаблення м'яза серця в цілому. Точка *5* завжди реєструється після закінчення зубця *T* ЕКГ.

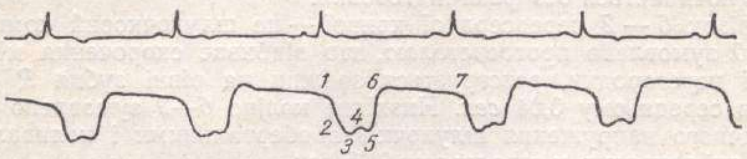

Рис. 3. УЗК лівого шлуночка.
V=50 *мм/сек.*

Результати статистичної обробки фаз серцевого циклу по УЗК передсердя здорових тварин

Показники статистичної обробки	Фази серцевого циклу					
	Приплив крові	Протодіастола і фаза ізометричного розслаблення	Інтервал *T—4*	Кут пасивного відтікання крові	Фаза швидкого відтікання крові (*4—5*)	Фаза повільного відтікання крові (*5—1*)
Кількість спостережень (*n*)	68	68	68	68	66	62
Середнє арифметичне і середня помилка ($M \pm m$)	0,17 0,0004	0,09 0,004	0,07 0,002	64 1,3	0,09 0,003	0,43 0,05
Квадратичне відхилення ($\pm\sigma$)	0,03	0,024	0,014	9,1	0,02	0,36
Достовірність середнього арифметичного (*t*) . . .	425,0	22,5	35,0	49,2	30,0	8,6

Показники статистичної обробки	Фази серцевого циклу				
	Фаза підготовки	Активна систола передсердя	Протосистола	Фаза ізометричного напруження	Інтервал *Q—2*
Кількість спостережень (*n*)	31	56	47	51	68
Середнє арифметичне і середня помилка ($M \pm m$)	0,03 0,001	0,05 0,0001	0,04 0,001	0,05 0,001	0,08 0,002
Квадратичне відхилення ($\pm\sigma$)	0,007	0,001	0,007	0,008	0,014
Достовірність середнього арифметичного (*t*) . . .	30,0	500,0	50,0	50,0	40,0

Після відкриття мітрального клапана шлуночкова крива стрімко піднімається вгору (інтервал *5—6*). Стрімке підвищення зумовлене швидким припливом крові в шлуночок, він у середньому триває 0,08 *сек.* У дальшому ультразвукова крива набуває майже горизонтальної форми. Це фаза повільного припливу. Дана фаза закінчується на рівні зубця *Q* ЕКГ. Її тривалість коливається від 0,28 до 0,4 *сек* і залежить від частоти пульсу.

УЗК легеневої артерії нам вдалося зареєструвати у п'яти тварин.

Датчик був розташований у другому міжреберному проміжку біля лівого краю грудини. Нормальна УЗК легеневої артерії нагадує за своєю формою сфігмограму (рис. 4). Вона складається з висхідного і низхідного колін. Висхідне коліно має стрімке підвищення, а низхідне — пологе зниження. Низхідне коліно завжди більш довге, ніж висхідне. Висхідне коліно (інтервал *1—2*) зумовлене вигнанням крові з правого шлуночка в легеневу артерію. В середньому його тривалість 0,06 *сек*. Верхівка висхідного коліна (інтервал *2—3*) зумовлена повільним вигнанням крові з правого шлуночка в легеневу артерію (0,1 *сек*). Характер ультразвукової кривої у фазу повільного вигнання залежить від взаємовідношення між припливом крові з правого шлуночка в легеневу артерію і відтіканням з неї в периферичні судини. На початку приплив крові переважає над її відтіканням, тому крива повільно піднімається вгору, потім приплив і відтікання крові урівноважуються. Коли відтікання починає превалювати над припливом крові, крива починає повільно знижуватися. У цей час і відбувається закриття пульмональних клапанів. У точці *3* закінчується фаза вигнання крові. Низхідне коліно (інтервал *3—4*) до западини відбиває протодіастолу. Потім ультразвукова крива дещо піднімається вгору. Повторне підвищення кривої зумовлене фазою ізометричного розслаблення шлуночків, яка триває 0,07 *сек* і закінчується відкриттям мітрального клапана. Точка *5* відбиває момент відкриття мітрального клапана. Вона завжди реєструється через 0,11 *сек* після закінчення зубця *T* ЕКГ.

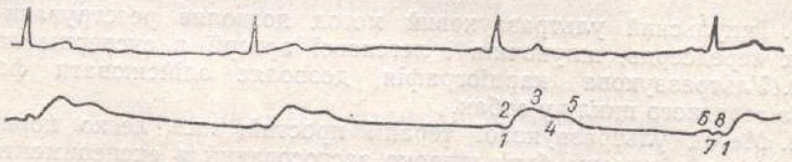

Рис. 4. УЗК легеневої артерії.
V=50 *мм/сек*.

Інтервал 5—6 УЗК легеневої артерії відбиває відтікання крові з легеневої артерії в периферичні судини, і його тривалість залежить від частоти пульсу. В ряді комплексів після зубця *P* ЕКГ на УЗК реєструється хвиля *6*, зумовлена систолою передсердя. Низхідне її коліно (*6—7*) відповідає за часом активному вигнанню крові з правого передсердя в шлуночок і триває 0,04 *сек*. Інтервал *7—8* відбиває протосистолу, яка триває 0,03 *сек*. Інтервал *8—1* відповідає фазі ізометричного напруження правого шлуночка і триває 0,04 *сек*.

УЗК лівого передсердя і легеневої артерії (рис. 1, 2, 4) дещо нагадують одна одну, тому потрібне чітке їх диференціювання. Основною відміною є те, що найвища точка на передсердній кривій (точка *4*) завжди знаходиться після зубця *T* ЕКГ (через 0,07 *сек*), тоді як на легеневій артерії вона (точка *3*) завжди знаходиться на рівні низхідного коліна зубця *T* ЕКГ. Крім того на передсердній кривій чітко визначається пресистолічна хвиля (хвиля *1*), тоді як на легеневій артерії в більшості випадків вона відсутня.

Тому при аналізі УЗК завжди необхідно брати до уваги не лише форму кривої, а й, що особливо важливо, часові співвідношення фаз серцевого циклу за ЕКГ.

Отже УЗК дає можливість одержати важливу додаткову інформацію про механічну роботу серця. Недоліком УЗК є те, що цей ме-

тод в основному реєструє передсердя. Щодо інших відділів серця, то ультразвукове дослідження їх ускладнене через те, що вони здебільшого прикриті легеневою тканиною.

Висновки

1. Імпульсний ультразвуковий метод дозволяє реєструвати рухи стінок передсердь, шлуночків і легеневої артерії в експерименті.
2. Ультразвукова кардіографія дозволяє здійснювати фазовий аналіз серцевого циклу у собак.
3. Метод ультразвукової терапії простий, ним легко користуватися, і тому він може бути широко застосований в експериментальній кардіології.

Література

1. Гармаш В. Я.— В кн.: Электроника и химия в кардиологии, Воронеж, 1965, 30.
2. Гармаш В. Я.— Клин. медицина, 1966, 3, 49.
3. Зарецкий В. В.— Электрокимография. М., 1963.
4. Тумановский М. Н., Гармаш В. Я., Шестаков Н. М.— В кн.: Электроника и химия в кардиологии, Воронеж, 1964, 61.
5. Синяков В. С.— Бюлл. экспер. биол. и мед., 1962, 5, 132.
6. Тумановский М. Н., Гармаш В. Я.— Сов. медицина, 1965, 5, 29.
7. Edler I., Hertz C. H.— Kungl. Fysiogr. Sällskapets (Lund.), 1954, 24, 5, 1.
8. Effert S.— Arch. Kreislaufforsch., 1959, 30, 213.
9. Effert S., Domanig E., Erkens H.— Cardiologia, 1959, 34, 2, 73.
10. Keidel W. D.— Unterschall in Med., 1950, 2, 38.
11. Ruschmer R. F., Franklin D. L., Ellis R. M.— Circulat. Res., 1956, 4, 684.
12. Yochida T., Mori M., Nimura Ja. a. oth.— Amer. Heart. J., 1961, 61, 1, 61.

Надійшла до редакції
20.XII 1966 р.

Ультразвуковая кардиограмма здоровой собаки

М. Н. Тумановский, В. Я. Гармаш, В. Н. Грязнов

Кафедра госпитальной терапии и центральная научно-исследовательская лаборатория Воронежского медицинского института

Резюме

На 85 непородистых собаках с помощью импульсного ультразвукового метода проведено изучение механической работы сердца, при этом удалось зарегистрировать: левое предсердие у 68, правое предсердие — у 12, желудочки — у четырех, легочную артерию — у пяти животных.

По своей форме ультразвуковая кардиограмма напоминает венозную кривую. Наивысшие точки предсердной кривой отражают моменты открытия митрального клапана и начала активного изгнания крови из предсердия в желудочек. Самые нижние точки кривой после открытия митрального клапана обусловлены окончанием пассивного оттока крови из предсердия в желудочек и окончанием активного изгнания крови из предсердия в желудочек.

Ультразвуковая кардиограмма левого предсердия позволяет проводить анализ фаз сердечного цикла. Фаза притока крови в предсердие (соответствует механической систоле желудочка) продолжается 0,17 *сек*, протодиастола с фазой изометрического расслабления — 0,09 *сек*, фаза быстрого оттока (соответствует фазе быстрого притока крови в желудочек) — 0,09 *сек*, фаза медленного оттока (соответствует фазе медленного притока крови в желудочек) — 0,43 *сек*, систола предсердия — 0,05 *сек*, протосистола — 0,04 *сек* и фаза изометрического напряжения — 0,05 *сек*. Открытие митрального клапана наступает, в среднем, через 0,07 *сек* после окончания зубца *T* ЭКГ, а закрытие митрального клапана — через 0,08 *сек* после начала зубца *Q* ЭКГ.

Ультразвуковая кардиограмма желудочка состоит из восходящего и нисходящего колен. Первое обусловлено протодиастолой с фазой изометрического расслаб-

ления, фазами быстрого и медленного притока крови в желудочек, второе — фазой изометрического напряжения желудочка и изгнания крови из него.

Ультразвуковая кардиограмма легочной артерии напоминает по форме сфигмограмму. Восходящее колено ее обусловлено изгнанием крови из желудочков, а нисходящее — протодиастолой с фазой изометрического расслабления и оттоком крови в периферические сосуды.

Метод ультразвуковой кардиографии позволяет расширять наши представления о механической работе сердца.

Ultrasonic Cardiogram of a Sound Dog

M. N. Tumanovsky, V. Ya. Garmash, V. N. Gryaznov

Department of hospital therapeutics and Central research laboratory, the Voronezh Medical Institute

Summary

The results are presented of examining 69 sound dogs by the method of ultrasonic cardiography, the electrocardiograms (ECG) being recorded synchronously with the ultrasonic cardiograms (USC). 1.76 and 0.88 MHz frequencies were used.

The authors present the technique of recording and description of USC of the left atricle of sound animals and distinguish their three variants. Besides, an USC characteristic is given of the left ventricle and lung artery. These USC were recorded not in all the cases.

On the basis of the data obtained the authors conclude that the ultrasonic cardiography enables one to carry out the phase analysis of a cardiac cycle in experiment.