

УДК 621.317.4

Н. В. Голышев, С. В. Моторин, Б. М. Рогачевский, А. В. Шабалин

(Новосибирск)

## МАГНИТОКАРДИОГРАФ В КЛИНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Приведены результаты использования магнитокардиографа в клинической практике. Показано, что комплекс технических решений, направленных на подавление магнитных помех, позволил создать магнитокардиограф, пригодный для получения магнитокардиограмм с качеством, достаточным для проведения диагностики. Приведены результаты клинических исследований по ранней диагностике патологий сердца. Даны рекомендации по применению магнитокардиографии в клинической практике.

**Введение.** Диагностическая значимость магнитокардиографии в оценке сердечных патологий несомненна [1]. Вследствие трудностей подавления помех большинство магнитокардиографов (МК) разрабатывается с ориентацией на использование в магнитоэкранированных комнатах (МЭК). Собственно МК при этом оказывается относительно простым, однако из-за высокой стоимости магнитоэкранированных помещений сильно сужается круг потенциальных потребителей. Как показал зарубежный опыт, магнитокардиографические исследования, как правило, в таком случае доступны только крупным исследовательским центрам федерального значения.

Нами разработан МК, предназначенный для работы без МЭК. Благодаря ряду технических решений [2—8] (электронная балансировка измерительных каналов, автоматизированный ввод МК в рабочий режим, оптимизация параметров входных цепей, введение частотозависимой обратной связи, уменьшение взаимного влияния каналов и гармонических искажений и т. д.) удалось не только отказаться от использования магнитоэкранированных помещений, но и получить хорошие потребительские качества МК при незначительном увеличении стоимости собственно МК.

На рис. 1 приведена типичная магнитокардиограмма (МКГ) здорового человека (снята над точкой, соответствующей стандартному в ЭКГ отведению  $V_4$ ).

Кардиограмма записана с помощью созданного МК в клинических условиях без магнитоэкранированного помещения в реальном масштабе времени. На рис. 2 приведена МКГ пациента, снятая в 36 прекардиальных отведениях (магнитокарта) в таких же условиях.

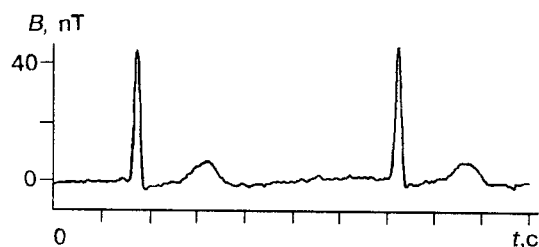


Рис. 1

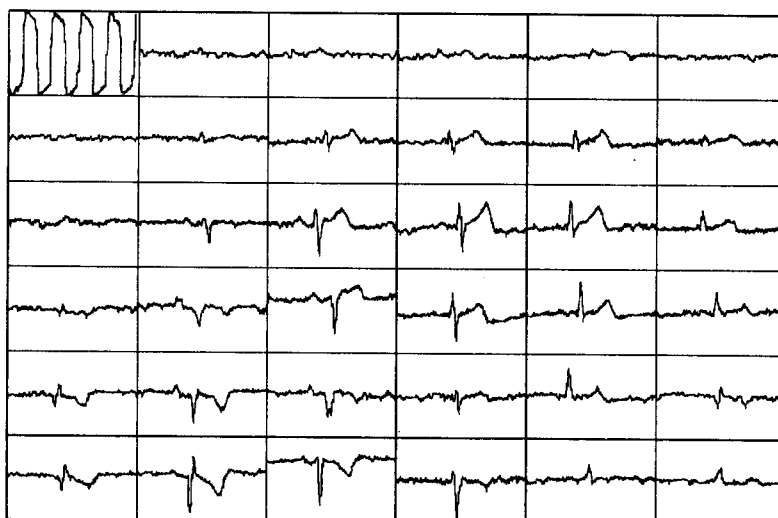


Рис. 2

Как видно из рис. 1 и 2, полученные записи достаточно высокого качества (сравнимого с ЭКГ) и пригодны для проведения диагностики.

**Технические параметры магнитокардиографа:** число каналов 1—10; ВЧ-сквид (конструкции Циммермана, точечный) или ПТ-сквид (туннельный переход, технология Nb/Ti или Nb/Al); динамический диапазон > 120 дБ; граница шума  $1/f$  менее 0,1 и 1—2 Гц для ВЧ- и ПТ-сквидов соответственно; скорость изменения входного сигнала > 20000 Ф<sub>0</sub>/с; диаметр криогенного зонда 59 мм; порог чувствительности магнитокардиографа по магнитной индукции 40 и 15 фТ/Гц<sup>1/2</sup> для ВЧ- и ПТ-сквидов соответственно; объем криостата 7 л; время работы системы без дозаправки гелия > 60 ч; время настройки системы 10 мин; предусмотрены режимы контроля работы всех узлов, имеются сервисные подпрограммы: архив пациентов, построение магнитокарт, построение изомагнитных карт; время обследования одного пациента на МК 10—15 мин.

Основная цель статьи — подтвердить диагностическую значимость МКГ в сопоставлении с традиционными методами диагностики патологий сердца ЭКГ и эхоКГ.

**Основные задачи исследований.** Изучить характер изменения МКГ-кривой в разных точках прекардиальных отведений у здоровых людей.

Оценить диагностическую значимость метода МКГ в сравнении с ЭКГ и эхоКГ в выявлении: а) гипертрофии левого предсердия, правого предсердия, правого желудочка, левого желудочка при различных заболеваниях сердечно-сосудистой системы; б) гипертрофического и постинфарктного ремоделирования миокарда левого желудочка; в) реполяризационных нарушений миокарда; г) постинфарктных изменений миокарда.

С этой целью на первом этапе было обследовано 37 здоровых мужчин в возрасте от 16 до 58 лет (группа сравнения). Группа была обследована дважды с целью проверки повторяемости результатов и выявления «образа» здорового пациента.

Группы больных с различными патологиями сердечно-сосудистой системы были разделены по следующим основным направлениям:

- 1) постинфарктный кардиосклероз — 41 пациент [9, 10];
- 2) стабильная стенокардия напряжения — 44;
- 3) артериальная гипертония — 27;
- 4) различные формы кардиомиопатии — 16 [11];
- 5) пороки сердца — 12;
- 6) наследственные заболевания сердца — 15 [12];

- 7) бронхиальная астма — 5;
- 8) алкогольное поражение сердца — 20;
- 9) прочие (миокардиты, различные виды нарушений ритма и т. д.) — 7.

Всего в этом цикле работ было обследовано 224 человека (многие повторно). Ниже приводятся результаты исследований по направлениям 1—6.

**Методы исследования.** Параллельно с записью МКГ проводилось обследование другими известными методами диагностики — ЭКГ и эхоКГ. Полученные результаты в дальнейшем были подтверждены инвазивными методами исследований.

Кардиосигналы регистрировались в соответствии с известными методиками: МКГ — в 36 множественных прекардиальных отведениях [13—15]; ЭКГ — в тех же 36 точках, что и МКГ, и в 12 общепринятых прекардиальных отведениях. При этом вертикальные линии проходили через точки регистрации стандартных грудных отведений  $V_{R3}$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$  и середину между  $V_4$  и  $V_5$  стандартных отведений (0, 1, 2, 3, 4 и 4'). Горизонтальные линии проходили через край грудины от 1-го до 6-го межреберного промежутка (A, B, C, D, E, F). Прекардиальное МКГ-картирование осуществлялось в месте пересечения этих линий. На ЭКГ в 12 отведениях оценивали гипертрофию камер сердца, характер изменения начальной и конечной части желудочкового комплекса.

Диагностические ЭКГ-критерии гипертрофии (далее для морфологического анализа ЭКГ и МКГ используем общепринятые в электрокардиографии сокращения [16]): левого предсердия (ГЛП), продолжительность  $P_{II} \geq 0,12$  с; правого предсердия (ГПП), амплитуда  $P_{II} \geq -0,25$  мВ; правого желудочка (ГПЖ),  $R/S_{V1} \geq 1$ ,  $R/S_{V6} \leq 1$ ; левого желудочка (ГЛЖ), индекс Соколова — Лайона:  $R_{V5,6} \geq 2,6$  мВ,  $R_{V5,6} + S_{V2} \geq 3,5$  мВ.

В качестве критерия атриовентрикулярной проводимости использовали длительность интервала PQ и продолжительность электрической систолы желудочков  $QT_c$  (корректированный интервал), при этом считали  $QT_c$  удлинённым при его длительности более 0,44 с.

Для МКГ гипертрофию камер сердца диагностировали по МКГ-критериям, описанным в [1]. Оценивались следующие МКГ-признаки: ГЛП — амплитуда положительной фазы двухфазного зубца  $P \geq 1,39 \cdot 10^{-12}$  Т в отведениях от B до D — 2, 3 и E — 3; ГПП — амплитуда отрицательной фазы зубца  $P \geq 3,2 \cdot 10^{-12}$  Т в отведениях C, D — 2, 3; ГЛЖ —  $R_{F3} + S_{B2} \geq 4,0 \cdot 10^{-12}$  Т; ГПЖ определяли, если  $R_{B3} \geq 15 \cdot 10^{-12}$  Т или  $S_{F3} \geq 4,0 \cdot 10^{-12}$  Т, при блокаде правой ножки пучка Гиса диагностировали ГПЖ в случае, если соотношение  $(R_{B2} + S_{F3}) / (R_{F3} + S_{B2}) \geq 1$ .

ЭхоКГ-признаки гипертрофии камер сердца: ГЛП — увеличение левого предсердия более 4,0 см; ГЛЖ — толщина межжелудочковой перегородки и задней стенки более 1,1 см, передней стенки правого желудочка более 0,4 см. Признаками дилатации левого желудочка считали его конечный диастолический размер (КДР) свыше 5,6 см, правого желудочка — переднезадний размер свыше 2,6 см.

Диагностическую значимость сравниваемых методов оценивали расчетом следующих стандартизованных показателей [17]:

$$\text{чувствительность} = \frac{A(+)}{A(+)+B(-)} 100\%; \quad \text{специфичность} = \frac{A(-)}{A(-)+B(+)} 100\%;$$

$$\begin{array}{l} \text{прогностическая} \\ \text{значимость} \\ \text{отрицательных} \\ \text{тестов (-)} \end{array} = \frac{A(-)}{A(-)+B(-)} 100\%; \quad \begin{array}{l} \text{прогностическая} \\ \text{значимость} \\ \text{положительных} \\ \text{тестов (+)} \end{array} = \frac{A(+)}{A(+)+B(+)} 100\%.$$

Здесь  $A(+)$  — число совпадений диагноза по эталону и сравниваемому методу;  $A(-)$  — число отрицательных результатов, полученных и в эталоне, и в сравниваемом методе;  $B(+)$  — число положительных значений диагноза по сравниваемому методу, определенных в эталонном методе как отрицательные;

$B(-)$  — число отрицательных значений диагноза по сравниваемому методу, определенных в эталонном методе как положительные.

**Результаты исследований.** При оценке значимости сравниваемых методов в диагностике различного рода гипертрофий в качестве эталона был принят метод эхоКГ.

*Гипертрофия левого желудочка, стенокардия, артериальная гипертония.* При оценке диагностической значимости метода МКГ оказалось, что он имеет преимущество перед ЭКГ при выявлении ГЛЖ по такому показателю, как чувствительность, у всех обследованных пациентов (87 и 47 % соответственно). В то же время специфичность МКГ была выше, чем при использовании ЭКГ, только в группе пациентов со стенокардией напряжения (96 и 90 % соответственно).

Прогностическая значимость по результатам отрицательных тестов у МКГ-метода была выше у всех обследованных, по результатам положительных тестов была больше, чем для ЭКГ у больных стенокардиями, артериальными гипертониями и наследственными болезнями. В других группах прогностическая значимость по отрицательным тестам для МКГ и ЭКГ приблизительно равна.

*Гипертрофия левого предсердия.* В диагностике ГЛП чувствительность и прогностическая значимость по отрицательным тестам метода МКГ превосходят метод ЭКГ у больных с артериальной гипертонией (43—7 и 72—65 % соответственно) и постинфарктным кардиосклерозом (33—7 и 62—46 %). Для больных с пороками сердца метод МКГ по чувствительности несколько уступает ЭКГ (50 и 60 % соответственно).

*Гипертрофия правого желудочка.* Превосходство метода МКГ перед ЭКГ было четко прослежено при диагностике ГПЖ у больных с пороками сердца при оценке чувствительности — 83 и 40 % и прогностической значимости по отрицательным тестам — 86 и 70 % соответственно. Особенно ценно использование метода МКГ, когда по ЭКГ локализуется блокада правой ножки предсердно-желудочкового пучка.

Следует отметить, что при расчете упомянутых выше стандартизованных диагностических показателей метод эхоКГ не всегда подходит в качестве эталонного. Так, например, у больного с коарктацией аорты и стенозом аортального клапана, которому было проведено зондирование полостей сердца, мы сравнили полученные данные с показателями ЭКГ, МКГ, эхоКГ. При инвазивном исследовании у него была выявлена умеренная легочная гипертония (давление в ПЖ равнялось 44 мм рт. ст.). На ЭКГ, МКГ и эхоКГ признаков ГПЖ обнаружено не было. Одновременно имелась сопутствующая выраженная ГЛЖ (с повышенным артериальным давлением в полости ЛЖ до 160 мм рт. ст.). Этот факт, по-видимому, и нивелировал проявление имеющихся признаков ГПЖ при использовании неинвазивных исследований.

Следует особо подчеркнуть, что возможность с помощью МКГ выявлять гипертрофию отдельных камер сердца, таких как левое предсердие и желудочки, при ряде заболеваний сердечно-сосудистой системы, в частности постинфарктном кардиосклерозе и артериальных гипертониях, позволяет диагностировать на ранних стадиях постинфарктное и гипертрофическое ремоделирование миокарда. Эти данные, как правило, существенно дополняют и корректируют результаты эхоКГ-исследований, что, в свою очередь, создает условия для своевременного активного медикаментозного вмешательства в эффективную коррекцию этих состояний.

Проведенные исследования подтвердили также ранние сообщения о большей информативности МКГ, чем ЭКГ, в выявлении реполяризационных нарушений — одной из причин внезапной коронарной смерти [18, 19].

Известно, что характер процесса реполяризации миокарда в клинических условиях можно наблюдать только с помощью ЭКГ. Никакой информации об этом процессе метод эхоКГ не несет. Оказалось, что у обследованных нами больных с постинфарктным кардиосклерозом преимущество МКГ в констатации реполяризационных нарушений было прослежено четко у перенесших крупноочаговый задний инфаркт миокарда (ИМ) и мелкоочаговый ИМ (не-

зависимо от локализации). Средний процент «встречаемости» отрицательных зубцов *T* в упомянутых подгруппах на ЭКГ в 12 общепринятых отведениях и на МКГ составил 2 и 11 % и 2 и 16 % соответственно. Подобные соотношения наблюдались также у больных, перенесших передний и передний крупноочаговый ИМ — 4 и 13 % для ЭКГ и МКГ соответственно.

И наконец, метод МКГ оказался информативным в выявлении постинфарктных изменений в миокарде у больных с крупноочаговым постинфарктным кардиосклерозом, особенно задним. Так, самая высокая «выявляемость» патологических комплексов *QRS* обнаружилась на МКГ, снятой в 36 точках, — 20 %, затем на ЭКГ в 36 прекардиальных отведениях — 9 % и менее всего на ЭКГ, снятой в 12 стандартных отведениях, — 2 %.

**Заключение.** Приведенные результаты исследований демонстрируют в ряде случаев преимущество МКГ перед традиционными методами при клиническом обследовании больных кардиологического профиля. Интегрируя в себе ряд достоинств ЭКГ и эхоКГ, МКГ обладает уникальной чувствительностью к ряду заболеваний в их проявлении на ранней стадии. Таким образом, МКГ может эффективно использоваться для выявления заболеваний на ранней стадии и скрининга населения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mori H., Nakaya J. Present status of clinical magnetocardiography // C. V. World Report. 1988. 16, N 2. P. 78.
2. Golyshev N., Motorin S., Rogachevsky B. Superconducting magnetocardiograph // Europ. Conf. on Appl. Superconductivity. Göttingen, Germany, 1993. P. 1413.
3. А. с. 1443597 СССР. Способ измерения градиента индукции магнитного поля /Н. В. Гольшев, Я. С. Гринберг, С. В. Моторин, Б. М. Рогачевский. Заявл. 10.03.87.
4. Гольшев Н. В., Моторин С. В., Рогачевский Б. М. Автоматический ввод в режим сквид-приборов // Автотметрия. 1993. № 1. С. 18.
5. Гольшев Н. В., Рогачевский Б. М. Оценка шумового магнитного потока реальных высокочастотных сквидов // Изв. вузов. Приборостроение. 1987. № 5. С. 56.
6. Гольшев Н. В. Сверхпроводниковые магнитокардиографы // Автотметрия. 1995. № 1. С. 62.
7. Гольшев Н. В., Моторин С. В. Сравнительный анализ введения обратной связи в сверхпроводниковом тесламетре // Высокотемпературная сверхпроводимость: Межотрасл. науч.-техн. сб. М.: ВНИИ, 1990. Вып. 1. С. 57.
8. Golyshev N., Greenberg J., Motorin S., Rogachevsky B. Harmonic distortions in DC SQUID // Europ. Conf. on Appl. Superconductivity. Göttingen, Germany, 1993. P. 1319.
9. Никитин Ю. П., Шабалин А. В., Кытманов А. В. и др. Магнитокардиография в комплексном обследовании больных ишемической болезнью сердца // Кардиология. 1995. № 4. С. 63.
10. Shabalin A. V., Tselmin S. G., Kytmanov F. V. et al. Magnetocardiography in detection of ventricular repolarisation abnormalities inpatients with coronary heart disease // Atherosclerosis. 1994. 109, N 1, 2.
11. Никитин Ю. П., Шабалин А. В., Ермакова Э. Н. и др. Диагностические возможности МКГ в комплексном обследовании больных кардиомиопатиями // Терап. архив. 1996. № 1.
12. Cohen D., Lepeschkin E., Hosaka H. et al. Abnormal patterns and physiological variations in magnetocardiograms // J. Electrocardiol. 1976. 9, N 4. P. 398.
13. Mori H., Nakaya J., Nomura M. Clinical value of Mapping // Biomagnetism: 7th Int. Conf. N. Y., 1989. P. 403.
14. Гольшев Н. В., Моторин С. В., Рогачевский Б. М. Сверхпроводниковые магнитокардиографические системы // Мед. техника. 1995. № 3. С. 14.
15. Гольшев Н. В., Моторин С. В., Рогачевский Б. М., Шабалин А. В. Магнитокардиографические исследования в клинической диагностике сердечных патологий // Мед. техника. 1995. № 4. С. 3.
16. Мурашко В. В., Струтынский А. В. Электрокардиография. М.: Медицина, 1991.
17. Роуз Дж., Блэкбэрн. Эпидемиологические методы изучения сердечно-сосудистых заболеваний: Пер. с англ. М.: Медицина, 1984.
18. Fouchard J., Toniza K., Cabanes L. Insuffisance cardiaque a fonction ventriculaire gauche systolique normale // Sem. Hop. 1991. 67, N 1/2. P. 40.
19. Frohlich E. D. Pathophysiology of essential hypertension // Hypertension — the Next Decade. Verapamil in Focus /Ed. A. Fleckenstein, J. H. Laragh. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1987. P. 15.

*Поступила в редакцию 14 ноября 1995 г.*