

# Диагностическая эффективность пространственных показателей компьютерной векторкардиографии для оценки гипертрофии левого желудочка сердца

С.А.Бойцов, С.Л.Гришаев, И.Г.Ласточкин, А.Н.Пинегин\*  
Российская военно-медицинская академия, Санкт-Петербургский государственный университет\*

**Резюме.** В статье изучены возможности пространственных показателей кардиосигнала, полученного при регистрации сигнал-усредненной ЭКГ высокого разрешения для диагностики гипертрофии левого желудочка.

**Ключевые слова:** гипертрофия левого желудочка, векторкардиография, сигнал-усредненная ЭКГ

**Diagnostic effectiveness of spatial indices of computed vectorcardiography for evaluation of left ventricular hypertrophy**

S.A. Boitsov, S.L. Gizhayev, I.G. Lastochkin, A.N. Pinegin

**Summary.** The paper shows how the spatial indices of a cardiac signal obtained from recording high-performance signal-average ECG may be useful in diagnosing left ventricular hypertrophy.

**Key words:** left ventricular hypertrophy, vectorcardiography, signal-averaged ECG

## Введение

Широкая распространенность артериальной гипертензии (АГ) обуславливает тот факт, что данное заболевание является одной из ведущих причин трудопотери, инвалидизации и смертности населения промышленно развитых стран. Благодаря эпидемиологическим работам получило развитие представление о факторах, с которыми ассоциируется наибольшая заболеваемость и смертность при соответствующем заболевании. Наличие гипертрофии левого желудочка (ГЛЖ) сердца является независимым фактором риска всех осложнений АГ и внезапной смерти. По данным Фремингемского исследования, смертность больных с ГЛЖ составляет около 40% в течение 5 лет, уменьшение степени ГЛЖ может существенно улучшить прогноз (Г.Г.Иванов, 1994; D.Lacroix, 1995).

В условиях страховой медицины особое значение приобретает внедрение новых скрининговых методов диагностики, не требующих больших материальных затрат и специальной подготовки персонала, в то же время не уступающих по информативности эхокардиографическому исследованию и позволяющих выявлять на ранних стадиях и проводить динамическое наблюдение за степенью ГЛЖ сердца. Одним из таких доступных неинвазивных методов может стать компьютерная векторкардиография (ВКГ), диагностические возможности которой находятся на стадии изучения (А.Д.Калвеллис, 1997; Л.И.Титомир, 1980).

Электрокардиография (ЭКГ) и ВКГ определяют фактически одно и то же электрофизиологическое явление, основанное на теории диполя. Метод пространственной ВКГ берет начало с 1920 г., когда G.Mann в Нью-Йорке из двух стандартных отведений ЭКГ графически получил кривую, названную им монокардиограммой. В 1936 г. Schellong в Германии, а в 1938 г. Wilson и Jonston в США сумели получить эту фигуру на экране электронно-лучевой трубки. Они отказались от термина монокардиограмма и назвали ее векторкардиограммой. В дальнейшем на протяжении второй половины XX века предпринимались неоднократные попытки усовершенствования ВКГ-метода путем улучшения техники регистрации сигналов, стандартизации системы отведений и точек наложения электродов, разработки критериев для основных диагностических категорий нормы, гипертрофии и инфарктов миокарда (З.З.Дорофеева, 1963; М.И.Кечкер, 1970; В.И.Маколкин, 1973).

Необходимо отметить, что широкого распространения и внедрения в клиническую практику метод не получил, что связано с субъективным недоверием к возможности достаточно точных диагностических заключений, трудоемкостью освоения специальных способов наглядного графического изображения данных, харак-

терных для ВКГ, отсутствием признанной единой системы параметров и критериев для интерпретации полученных данных.

Новым толчком к развитию ВКГ явился разработанный в последнее время метод сигнал-усредненной ЭКГ, базирующийся на современных достижениях вычислительной техники и теории обработки сигналов, позволяющий осуществлять анализ пространственного распространения возбуждения в миокарде по трем ортогональным отведениям (Л.И.Титомир, 1990; P.Okin, 1996).

## Материалы и методы исследования

Обследованы 61 человек (40 мужчин и 21 женщина в возрасте от 19 до 72 лет, средний возраст  $46 \pm 3,2$  года), которые в соответствии с задачами исследования были разделены на 2 группы.

В первую группу вошли 34 человека в возрасте от 19 до 55 лет (средний возраст  $37 \pm 4,3$  года), здоровых в отношении сердечно-сосудистой системы и не имеющих ГЛЖ. В состав второй группы вошли 27 человек в возрасте от 28 до 72 лет (средний возраст  $51 \pm 4,8$  года), с наличием АГ I–III степени (ВОЗ, 1999), у которых имелась ГЛЖ (по данным эхокардиографии). Длительность АГ составила  $14,6 \pm 2,12$  года. Критерием отнесения ко второй группе был индекс массы миокарда ЛЖ (ММЛЖ)  $134 \text{ г/м}^2$  для мужчин и  $110 \text{ г/м}^2$  для женщин. ММЛЖ рассчитывали на основании данных эхокардиографии по формуле R.Devereux, 1994. В исследование не включали лиц с очаговыми поражениями миокарда, WPW-синдромом, блокадами ножек пучка Гиса, АВ-блокадами, мерцательной аритмией.

ЭКГ высокого разрешения (ВР) регистрировали с помощью аппаратуры фирмы "Geolink-Electronics" (Швеция). Эти сигналы снимали в корригированной системе отведений Франка, полоса частот усилительного тракта составляла 0,5–300 Гц. Усреднение 250–300 кардиоциклов проводили в режиме усреднения по комплексу QRS. Использовали двуправленный цифровой низкочастотный фильтр Баттерворта 4-го порядка. Частота дискретизации ЭКС составляла 1,5 кГц. Уровень шума не превышал 0,5 мкВ. Обработку сигналов с ортогональных отведений ЭКГ проводили с помощью оригинального пакета компьютерных программ для векторной электрокардиографии "Cardio Analyser", разработанного сотрудниками Санкт-Петербургского государственного университета и Военно-медицинской академии. Амплитудные показатели комплекса QRS интегрировали по полной продолжительности комплекса QRS в диапазоне 100 мс. Рассчитывали и анализировали следующие параметры векторкардиограммы:

$A_x, A_y, A_z$  – площади (интегралы) от исходных компонент X, Y, Z ортогональной ЭКГ (в мВ × мс).

$D_{\max}$  – максимальная длина вектора в пределах выделения (в мкВ).

$P$  – полярный вектор петли (площадь проекции ее на плоскость в  $\text{мкВ}^2 \times \text{мс}$ ).

$S$  – истинная площадь петли (площадь, ометаемая вектором в пределах данного выделения в  $\text{мкВ}^2 \times \text{мс}$ ).

$P/S$  – соотношение истинной и проекционной площадей – показатель степени плоскости петли (индекс Сатмари).

Для анализа данных ЭКГ использовали количественные показатели, наиболее часто применяемые для идентификации ГЛЖ – индекс Соколова–Лайона и Корнельский индекс. Ультразвуковое исследование сердца осуществляли на аппарате Sigina-Iris 880 фирмы "Contron" в М- и D-режимах. Определяли следующие показатели: конечно-систолический размер ЛЖ (КСРЛЖ), конечно-диастолический размер ЛЖ (КДРЛЖ), толщина межжелудочковой перегородки (ТМЖП) и толщина задней стенки ЛЖ (ТЗСЛЖ).

Статистическую обработку результатов проводили с помощью разведочного, корреляционного, регрессионного и дисперсионного методов анализа с помощью пакета прикладных статистических программ "Statistica for Windows".

### Результаты исследования

Анализируемые характеристики компьютерных векторкардиограмм можно подразделить на две группы. К первой относятся величины, определяемые по трем отведениям X, Y, Z скалярной электрокардиограммы, ко второй – данные математической обработки собственно ВКГ-петель, как плоских, так и пространственных.

Интегральные характеристики первой группы – это векторы, компонентами которых являются интегралы по времени синхронных скалярных составляющих ортогональной электрокардиограммы, т.е. площади скалярных ортогональных ЭКГ на заданном временном интервале  $[t_1, t_2]$ .

$$A[t_1, t_2]X = \times$$

$$A[t_1, t_2]Y = \times$$

$$A[t_1, t_2]Z = \times$$

Вектор  $A[t_1, t_2]$  с такими компонентами, размерность которых выражается произведением единицы потенциала на единицу времени, указывает суммарную интенсивность действия биоэлектрических сил, с учетом их абсолютной величины и продолжительности за интервал интегрирования  $[t_1, t_2]$ .

Для анализа петли векторкардиограммы применяют скалярные и интегральные величины. К наиболее часто используемым скалярным характеристикам относятся моментные вектора, которые описывают геометрические свойства ВКГ-петли в целом. Из таких моментных векторов наиболее важным является максимальный моментный вектор  $D_{\max}$  пространственной ВКГ-петли, характеризующей ее общие размеры и ориентацию. К характеристикам ВКГ-петли интегрального типа относятся величины, определяемые по площадям собственно ВКГ-петель. Исходя из утверждения, что пространственная ВКГ-петля является замкнутой, ее проекции на координатные плоскости XOY, YOZ, ZOX можно рассчитывать по формулам:

$$P_{XY} = 1/2 \oint_{XY} (Xdy - Ydx),$$

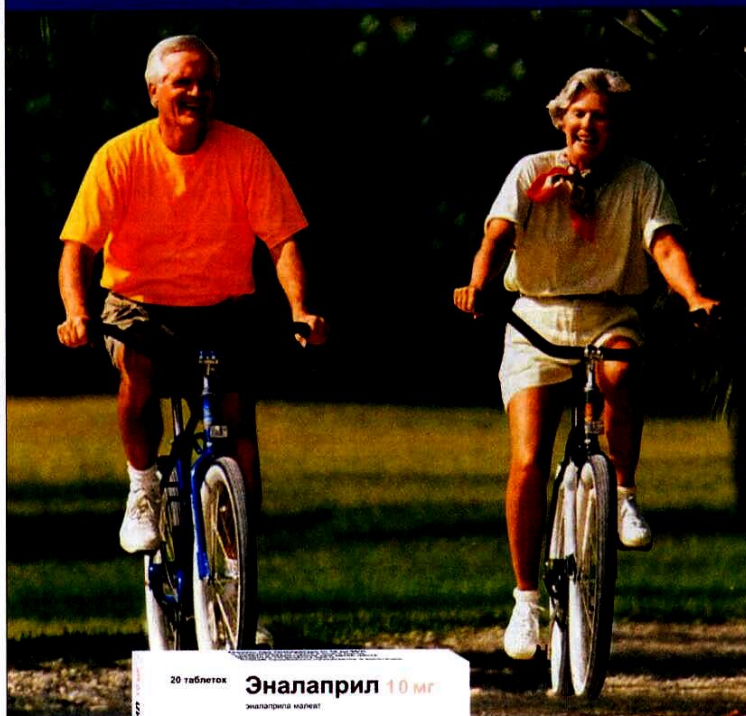
$$P_{YZ} = 1/2 \oint_{YZ} (Ydz - Zdy),$$

$$P_{ZX} = 1/2 \oint_{ZX} (Zdx - Xdz),$$

где символами XY, YZ, ZX обозначены замкнутые контуры плоских ВКГ-петель, на соответствующих координатных плоскостях.

Здесь подразумевается, что при вычислении криволинейных интегралов обход пространственной ВКГ-петли

## ЭНАЛАПРИЛ+ИНДАПАМИД СОВРЕМЕННЫЙ СТАНДАРТ ЛЕЧЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ



- ▶ **Стойкий эффект при длительном применении**
- ▶ **Отсутствие резких перепадов давления в течение суток**
- ▶ **Высокая безопасность применения у больных с сахарным диабетом и почечной недостаточностью**

**Hemofarm**  
Хемофарм концерн А.Д.

осуществляется в направлении движения конца вектора. Если при этом обход плоской петли направлен против часовой стрелки (при наблюдении с положительной стороны перпендикулярной к ней оси координат), то площади плоской петли можно приписать положительный знак, если же обход направлен по часовой стрелке – то отрицательный знак. Такие алгебраические значения площадей проекций ВКГ-петли можно рассматривать как компоненты некоторого вектора  $P$  по соответствующим осям координат, причем сам этот вектор будет равен по абсолютной величине площади проекции пространственной ВКГ-петли на такую плоскость, которая обеспечивает максимальное значение этой площади (иногда ее называют собственной плоскостью ВКГ-петли или просто плоскостью ВКГ-петли), и направлен так, что при наблюдении с его конца вращение вектора сердца происходит против часовой стрелки. Указанный интегральный вектор, получивший название полярного вектора, особенно удобен для описания пространственной ВКГ-петли, когда она мало отклоняется от одной плоскости (такова характерная форма петли QRS у здоровых людей). Полярный вектор можно рассчитать как интеграл векторной скорости изменения площади  $V_S(t)$  на протяжении всей замкнутой ВКГ-петли.

Поскольку реальная ВКГ-петля не лежит в одной плоскости, для оценки степени отклонения ее формы от плоской или ее изогнутости применяются различные количественные характеристики. Наиболее часто используется отношение площади проекции петли на соответствующую плоскость (модуля полярного вектора) к истинной площади  $S$  пространственной петли – индекс Сатмари. Это отношение отражает степень несовпадения пространственной ВКГ-петли с собственной плоскостью. При этом истинная площадь петли вычисляется как интеграл от модуля векторной скорости изменения площади ( $V_S$ ):

$$S_{QRS} = \int_{QRS} |V_S| dt.$$

Изучалась сила корреляционных связей пространственных показателей компьютерной векторкардиографии ( $A_x, A_y, A_z, D_{max}, P, S, P/S$ ) с показателями эхокардиографии, характеризующими степень ГЛЖ, в том числе с рассчитанной по стандартной методике ММЛЖ.

Проведенный корреляционный анализ выявил следующие значимые связи:

- сильная прямая корреляционная связь между интегральным вектором  $A_x$  и ТЗСЛЖ;
- умеренные прямые корреляционные связи между  $A_x$  и ТМЖП,  $A_x$  и ММЛЖ,  $A_x$  и ИММ; между интегральным вектором  $A_y$  и ТЗСЛЖ,  $A_y$  и ММЛЖ; между моментным вектором  $D_{max}$  и ТЗСЛЖ,  $D_{max}$  и ТМЖП,  $D_{max}$  и ММЛЖ,  $D_{max}$  и ИММ;
- умеренные обратные корреляционные связи между индексом Сатмари ( $P/S$ ) и КДРЛЖ,  $P/S$  и ТЗСЛЖ,  $P/S$  и ТМЖП,  $P/S$  и ММЛЖ,  $P/S$  и ИММ.

Была проведена статистическая проверка гипотез о различиях средних значений показателей векторкардиограммы ( $A_x, A_y, A_z, D_{max}, P, S, P/S$ ) между группами 1 и 2. Единственные значимые различия средних величин в двух группах были у индекса Сатмари ( $P/S$ ), при этом отмечено уменьшение его величины в группе больных с ГЛЖ ( $96,8 \pm 0,2$ ) по сравнению с группой здоровых лиц ( $91,9 \pm 0,5$ ), уровень значимости  $p < 0,05$ . Таким образом, индекс Сатмари оказался наиболее информативным показателем для диагностики ГЛЖ среди анализируемых векторных характеристик кардиосигнала.

Используя критерии, которые при анализе корреляционной матрицы обнаружили уровень значимости связей с показателем ММЛЖ  $< 0,05$ , была создана регрессионная модель для прогностической оценки ММЛЖ. В создание регрессионной модели были включены  $A_x, A_y, D_{max}, P/S$ , возраст пациента.

Полученная регрессионная модель для оценки ММЛЖ имеет следующий вид:

$$\text{ММЛЖ} = 495,0477 - 0,00006 \times A_x + 0,0015 \times A_y + 0,446 \times D_{max} - 3,9734 \times P/S + 1,8173 \times \text{Возраст}.$$

Из уравнения следует, что в наибольшей степени прогнозируемая величина ММЛЖ будет зависеть от таких параметров, как  $P/S$  (обратная зависимость) и возраст (прямая зависимость). Для оценки информативной способности и значимости модели был проведен ее дисперсионный анализ. По  $F$ -критерию модель оценена как значимая (уровень значимости  $p < 0,001$ ). Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,876 > 0,7$ , а коэффициент детерминации  $R^2 = 0,768 > 0,5$ . Поэтому модель является достаточно информативной и может быть использована для прогноза.

Степень влияния факторов на параметр ММЛЖ оценивали по величине коэффициента  $K$  (%), рассчитываемого с использованием стандартизованных коэффициентов регрессии ( $BETA$ ):

$K = 100R^2 (BETA) / (BETA)$ . Величина  $K$  для фактора  $A_x$  была 3,26%,  $A_y$  – 7,23%,  $D_{max}$  – 5,57%,  $P/S$  – 25,44%, возраст – 35,2%. Таким образом, наибольшее влияние на прогностическую величину ММЛЖ имеет индекс Сатмари и возраст пациента, наименьшее –  $A_x, A_y, D_{max}$ . Учитывая высокое влияние на параметр ММЛЖ фактора возраста, без которого модель становится малоинформативной, необходимо проведение дополнительных исследований с целью корректировки модели для различных возрастных групп. Исследуя предложенную модель на ранних стадиях заболевания и в процессе динамического наблюдения, планируется оценить в дальнейшем возможность ее использования для прогноза.

Для сравнительной оценки возможностей ВКГ и стандартной электрокардиографии в диагностике ГЛЖ из параметров стандартной ЭКГ были выбраны наиболее часто используемые для этих целей индекс Соколова-Лайона и Корнельский индекс.

Сравнительный анализ средних величин индекса Соколова-Лайона и Корнельского индекса в группах 1 и 2 не показал достоверных различий этих показателей между группами. Таким образом, можно утверждать, что пространственные показатели ВКГ обнаружили более высокую информативность в диагностике ГЛЖ по сравнению со стандартными ЭКГ-критериями.

## Выводы

1. Существуют значимые корреляционные связи между отдельными параметрами векторкардиограммы и параметрами эхокардиографии, характеризующими размеры миокарда ЛЖ сердца, в том числе сильная прямая корреляционная связь между  $A_x$  и ТЗСЛЖ.

2. Получена корреляционная модель для прогностической оценки ММЛЖ, которая является значимой и информативной.

3. Выявлен единственный показатель векторкардиограммы – индекс Сатмари, различия которого у здоровых лиц и больных с ГЛЖ сердца являются значимыми, при этом, если ГЛЖ прогрессирует, то величина этого показателя уменьшается.

4. Компьютерная ВКГ является более информативным методом для диагностики ГЛЖ по сравнению со стандартными количественными ЭКГ-критериями.

## Литература

1. Дорофеева З.З. Принципы векторкардиографии. М.: Медгиз, 1963.
2. Иванов Г.Т., Сметнев А.С., Сандриков В.А. и др. Электрокардиография высокого разрешения: некоторые итоги 4-летних исследований. Кардиология. 1994; 5–6: 22–5.
3. Калвелис А.Д., Зикмане Т.О. Информативность ортогональной ЭКГ в диагностике гипертрофии левого желудочка сердца. Кардиология. 1977; 17 (2): 56–68.
4. Кечкер М.И. Векторкардиография. Справочник по функциональной диагностике. М.: Медицина, 1970: 56–68.
5. Макалкин В.И. Электрокардиография и векторкардиография в диагностике пороков сердца. М.: Медицина, 1973.
6. Титомир Л.И. Электрический генератор сердца. М.: Наука, 1980.
7. Титомир Л.И., Руттхайт-Недечко И. Анализ ортогональной электрокардиограммы. М.: Наука, 1990.
8. Lacroix D., Nader M.A., Savoye C. Determination of the left ventricular mass in systemic hypertension: comparison of standard and signal averaged electrocardiography. Br Heart J 1995 Sep; 74 (3): 277–81.
9. Okin PM, Roman MJ, Devereux RB et al. Electrocardiographic diagnosis of left ventricular hypertrophy by the time-voltage integral of the QRS Complex. J Am Coll Cardiol 1994 Jan; 23 (1): 133–40.
10. Okin PM, Roman MJ, Devereux RB et al. Time-voltage area of the QRS for identification of left ventricular hypertrophy. Hypertension 1996 Feb; 27 (2): 251–8.