

# Трехмерная векторкардиография в диагностике полной блокады левой ножки пучка Гиса

Ю. Э. Терегулов<sup>1,2,4</sup>, М. С. Максимова<sup>1</sup>, Е. Т. Терегулова<sup>1</sup>, Ф. Р. Чувашаева<sup>1,4</sup>, А. Ю. Терегулов<sup>3,4</sup>, О. И. Милютин<sup>5</sup>, И. И. Милютин<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Казанская государственная медицинская академия — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, г. Казань

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Казань

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Россия, РТ, г. Казань

<sup>4</sup> Государственное автономное учреждение здравоохранения «Республиканская клиническая больница» Министерства здравоохранения Республики Татарстан, г. Казань

<sup>5</sup> Государственной бюджетное учреждение здравоохранения «Детская городская клиническая больница № 13 им. Н. Ф. Филатова» Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва

## РЕЗЮМЕ:

Полная блокада левой ножки пучка Гиса (ПБЛНПГ) является причиной развития тяжелой сердечной недостаточности, которая требует проведение ресинхронизирующей терапии (CRT). Известно, что одна треть пациентов не отвечает на CRT. Поэтому необходимо проводить поиск новых диагностических критериев ПБЛНПГ для отбора пациентов на CRT.

**Цель исследования.** Определение критериев ПБЛНПГ по данным трехмерной векторкардиографии с анализом скорости формирования векторной петли.

**Материал и методы.** В исследование включено 137 пациентов. Основная группа 57 пациентов с ПБЛНПГ, которая установлена на основании ЭКГ критериев D. G. Strauss et al. (2011). Причины ПБЛНПГ и сопутствующие заболевания не учитывались. Контрольная группа включала 80 здоровых лиц. Всем пациентам была проведена синхронная регистрация 12 стандартных отведений ЭКГ и проведена реконструкция трехмерной векторкардиограммы (ВКГ) по системе МакФи-Парунгао.

**Результаты исследования.** Показано, что для ПБЛНПГ по данным трехмерной ВКГ характерны следующие признаки: • перелом пространственной векторной петли за счет изменения направления фронта возбуждения в средней ее части; • снижение индекса планарности (PI) менее 80%; • резкое, в 2 и более раза, снижение скорости трассировки пространственной векторной петли в средней ее части с формированием «клешнеобразной» кривой с двумя пиками R и L.

**Выводы:** трехмерная ВКГ позволяет достоверно определить «истинную» ПБЛНПГ на основании «перелома» пространственной векторной петли со снижением PI менее 80% и значительным снижением скорости трассировки векторной петли в средней ее части с формированием «клешнеобразной» кривой и провести дифференциальную диагностику с «ложной» ПБЛНПГ, при которой изменения на ЭКГ определяются сочетанием гипертрофии левого желудочка и передневерхнего полублока, когда отсутствует «перелом» петли и снижение PI, а скорость трассировки снижается в конечной части петли без формирования «клешнеобразной» кривой.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** блокада левой ножки пучка Гиса, электрокардиография, векторкардиография, собственная плоскость, индекс планарности, ресинхронизирующая терапия

## Three-dimensional vector ECG analysis in the diagnosis of the left bundle branch block

Yu. E. Teregulov<sup>1,2,4</sup>, M. S. Maksimova<sup>1</sup>, E. T. Teregulova<sup>1</sup>, F. R. Chuvashava<sup>1,4</sup>, A. Yu. Teregulov<sup>3,4</sup>, O. I. Milyutina<sup>5</sup>, I. I. Milyutina<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> KSMA-Branch Campus of the FSBEI FPE RMACPE MOH Russia, Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup> FSBEI HE Kazan SMU MOH Russia, Kazan, Russian Federation

<sup>3</sup> Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation

<sup>4</sup> Republican Clinical Hospital Ministry of health Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

<sup>5</sup> State budgetary health care institution "Children's City Clinical Hospital No. 13 named after N. F. Filatov" of the Department of Health of Moscow, Moscow

## SUMMARY:

The complete left bundle branch block (CLBBB) leads to the development of severe heart failure and requires resynchronization therapy (CRT). It is known that one third of patients do not respond to CRT. In this regard, it is necessary to search new diagnostic criteria for patient selection for CRT.

**Aim.** Determination of the criteria for CLBBB using three-dimensional vectorcardiography data with analysis of the rate of vector loop formation.

**Material and research methods.** The study included 137 patients. The main group consisted of 57 patients with CLBBB, which was based on D. G. Strauss et al. (2011) criteria. Causes of CLBBB and comorbidities were not considered. The control group included 80 healthy individuals. All patients underwent synchronous registration of 12 standard ECG leads and reconstruction of a three-dimensional vectorcardiogram (VCG) using the McFee-Parungao system.

**Research results.** The following signs are characteristic for CLBBB according to three-dimensional VCG data: • fracture of the spatial vector loop due to a change in the direction of the excitation front in its middle part; • reduction in planarity index (PI) less than 80%; • a sharp, by a factor of 2 or more, decrease in the speed of tracing a spatial vector loop in its middle part with the formation of a "claw-shaped" curve with two peaks R and L.

**Conclusion.** Three-dimensional VCG allows you to reliably determine the «true» CLBBB, based on the "fracture" of the spatial vector loop with a reduction in PI less than 80% and a significant decrease in the speed of tracing the vector loop in its middle part with the formation of a "claw-shaped" curve and carry out a differential diagnosis with "false" CLBBB, in which changes on the ECG are associated with a combination of left ventricular hypertrophy and left anterior fascicular block, when there is no "fracture" of the loop, a reduction in PI, and the routing speed decreases at the end of the loop without forming a "claw-shaped" curve.

**KEYWORDS:** left bundle branch block, electrocardiography, vectorcardiography, own plane, planarity index, resynchronization therapy.

Полная блокада левой ножки пучка Гиса (ПБЛНПГ) — это нарушение проводимости сердца, которое влечет за собой как электрическую, так и механическую диссинхронию из-за замедленной активации левого желудочка, особенно его боковой стенки. Диссинхрония проявляется систолической и диастолической дисфункцией желудочков сердца с формированием митральной и трикуспидальной регургитации, что приводит к развитию сердечной недостаточности [1; 2].

Согласно эпидемиологическим исследованиям последних лет, встречаемость ПБЛНПГ в общей популяции населения составляет 0,1–0,8%. [3] При этом частота встречаемости ПБЛНПГ увеличивается с возрастом, к 50 годам она достигает 1,2%, а к 80 годам — 17% [4].

У пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) ПБЛНПГ является предиктором повышенной смертности независимо от возраста, пола и основного заболевания [5]. В 27,4% случаев, по данным Фрамингемского исследования, через 3,3 года после возникновения ПБЛНПГ у пациентов развивается клинически выраженная ХСН [6]. Для больных с ХСН при ПБЛНПГ свойственна внезапная смерть: 11,9% этой категории больных умирают в течение года, из них 46,4% — внезапно [7].

Эффективным методом лечения ХСН при ПБЛНПГ является ресинхронизирующая терапия (CRT), основанная на имплантации трехкамерного кардиостимулятора, который позволяет обеспечить синхронное сокращения желудочков сердца.

Широко признанные традиционные критерии ПБЛНПГ были определены в 1941 году на основе модели блокады левой ножки у собак и впоследствии экстраполированы на людей [8]. Эти критерии включают уширение комплекса QRS  $\geq 120$  мс у взрослых  $\geq 18$  лет, и  $\geq 100$  мс у детей и подростков в возрасте от 4 до 17 лет, и  $\geq 90$  мс у детей младше 4 лет. При ПБЛНПГ фронт волны возбуждения от правого желудочка медленно проходит через перегородку к поздно-активированным заднебоковым сегментам левого желудочка и, следовательно, отведениям V1 и V2, формируя в них комплексы QRS rS- или QS-типа. Задержка внутреннего отклонения в отведениях V5 и V6 составляет более 60 мс, в отведениях I, V5 и V6 обычно нет септальных зубцов q из-за аномальной активации перегородки справа налево. Узкий q зубец может присутствовать в отведении aVL, если нет патологии миокарда [9].

В тоже время показано, у трети пациентов, имеющих ПБЛНПГ по общепринятым электрокардиографическим критериям, может не быть «истинной» ПБЛНПГ, но имеется гипертрофия левого желудочка (ГЛЖ) с блокадой передней ветви левой ножки пучка Гиса (БПВЛНПГ) и эти пациенты не отвечают на ресинхронизирующую терапию [10]. Это привело к необходимости разработок новых, более строгих критериев, учитывающих электрофизиологию активации при ПБЛНПГ.

Strauss D. G. et al рассмотрели патофизиологические и клинические доказательства, подтверждающие, почему только пациенты с ПБЛНПГ получают пользу от CRT. В 2011 году они предложили новый набор критериев для определения «строгой» ПБЛНПГ, где подчеркивали важ-

ность зубуренных R зубцов в левосторонних отведениях I, aVL, V5 или V6 как классической характеристики ПБЛНПГ, а также выявили электрофизиологические основы такого формирования комплексов QRS с помощью компьютерного моделирования ПБЛНПГ. Зазубрина должна начинаться после первых 40 мс от начала формирования комплекса QRS, но до половины длительности QRS, а заканчиваться примерно на 2/3 длительности QRS. Для достоверного определения ПБЛНПГ зазубрины должны определяться в двух соседних отведениях [8].

Чтобы избежать гипердиагностики ПБЛНПГ у пациентов с ГЛЖ и БПВЛНПГ, у которых QRS может незначительно превышать 120 мс, они предложили более высокий порог длительности QRS. Группа D. G. Strauss указали в своей работе на то, что порог 0,12 с был установлен на основе изучения ЭКГ собак, и предполагает, что нижний предел для ПБЛНПГ у людей должен быть скорее  $\geq 0,14$  с у мужчин и  $\geq 0,13$  с у женщин. Более высокий предел длительности QRS для мужчин был предложен из-за большего размера сердца, которое требует большего времени для деполяризации, как в норме, так и при патологии. При нормальной проводимости средняя продолжительность QRS составляет  $92,7 \pm 9,3$  мс для мужчин и  $87,1 \pm 8,7$  мс для женщин [11].

Отсутствие зубцов Q в левых отведениях обычно рассматривалось как еще один типичный критерий для классической ПБЛНПГ. Однако, Strauss D. G. et al. считают, что наличие зубцов Q в отведениях I, V5 и V6 не должно исключать у пациентов диагноз ПБЛНПГ, потому что к появлению этих зубцов может привести передний инфаркт, несмотря на присутствие блокады [8].

Сравнение общепринятых ЭКГ критериев диагностики ПБЛНПГ и критериев Strauss D. G. et al. представлены в таблице 1.

По данным Galeotti L. et al. (2013) строгие критерии ПБЛНПГ по Strauss D. G. повышают специфичность ее диагностики при наличии гипертрофии или дилатации левого желудочка (ЛЖ), что имеет важное значение для отбора пациентов на CRT [13]. Согласно результатам исследования M. Jastrzębski et al. определение ПБЛНПГ по Strauss D. G. лучше идентифицирует пациентов с «истинной» ПБЛНПГ, то есть, пациентов с большей диссинхронией ЛЖ и, следовательно, получающих больше пользы от ресинхронизирующей терапии [12].

Perez-Riera et al. (2019) предположили, что по ВКГ надежнее и проще диагностируется ПБЛНПГ, поскольку замедление проводимости в средней и конечной части петли QRS патогномично истинной ПБЛНПГ [14].

Таблица 1  
ЭКГ критерии ПБЛНПГ [12]

ЭКГ критерии ПБЛНПГ	Общепринятые	Strauss
QRS $\geq 120$ мс	+	
QRS $\geq 130$ мс (для женщин)		+
QRS $\geq 140$ мс (для мужчин)		
Пик R $> 60$ мс в V5/V6	+	
rS или QS в V1/V2 (с пиковым временем R)	+	+
Зазубрина в середине QRS или плато в $\geq 2$ отведениях: I, aVL, V1, V2, V5, V6		+
Нет q-зубца в I, V5, V6	+	

*Предложены следующие критерии ПБЛНПГ по данным ВКГ в ортогональной системе координат:*

- длительность цикла QRS  $\geq 130$  мс (женщины) или  $\geq 140$  мс (мужчины);

**Фронтальная плоскость:**

- вектор начальных 10 мс направлен влево и вниз (реже влево и вверх);
- петля QRS вращается против часовой стрелки или образует восьмерку;
- задержка формирования петли QRS в средне-конечной части;
- направление максимального вектора обычно от  $+30^\circ$  до  $-30^\circ$ ;
- петля Т противоположна QRS и вращается против часовой стрелки.

**Горизонтальная плоскость:**

- узкая, длинная петля QRS, обычно в форме восьмерки;
- форма петли QRS удлинённая; основная часть петли QRS расположена сзади и слева в диапазоне от  $-90^\circ$  до  $-40^\circ$ , запись петли идет по часовой стрелке;
- максимальный вектор QRS расположен в левом заднем квадранте (между  $-40^\circ$  и  $-80^\circ$ );
- основные части петли QRS вращаются по часовой стрелке;
- вращение против часовой стрелки может указывать на БЛНПГ, осложнённую боковым инфарктом миокарда или тяжелой ГЛЖ;
- задержка формирования петли QRS в средне-конечной части;
- максимальный вектор QRS увеличен более чем на 2 мВ по сравнению с нормой;
- вектор ST-сегмент и Т направленные вправо и вперед в противоположном направлении относительно петли QRS;
- петля Т направлена вправо и вперед при записи против часовой стрелки;
- вращение Т-петли по часовой стрелке в этой плоскости указывает на осложнение БЛНПГ инфарктом или ГЛЖ.

**Сагиттальная плоскость:**

- вектор начальных 10 мс направлен вперед и вниз (или назад);
- петля QRS вращается по часовой стрелке в правой сагиттальной плоскости (RSP) или против часовой стрелки в левой сагиттальной плоскости (LSP), но редко поворачивается в восьмерку;
- задержка формирования петли QRS в средне-конечной части;
- направление максимального вектора от  $+150^\circ$  до  $-75^\circ$ ;
- Т-образная петля противоположна петле QRS, а вращение — по часовой (RSP) или против часовой стрелки (LSP).

В случае «ложной» ПБЛНПГ, т.е. при ГЛЖ в сочетании с БПВЛНПГ, петля QRS в трех плоскостях не имеет средне-конечной задержки формирования за счет нарушения проводимости, что является отличительной чертой истинной ПБЛНПГ. Авторы оценивали скорость формирования векторной петли по косвенным признакам — учащение появления временных меток на ВКГ. Такой подход крайне неточен и может дать только предположение о наличии ПБЛНПГ. К тому же, авторы использовали ортогональную систему координат и, в этом случае, могли наблюдаться

ложные результаты изменения скорости формирования петли, так как она зависит от длины проекции на ту или иную плоскость.

Трёхмерная ВКГ, представляющая пространственную петлю, лишена этих недостатков. Трёхмерный анализ позволяет представить движение суммарного вектора в трёхмерном пространстве с определением его координат и амплитуды, показать собственную плоскость векторной петли — плоскость, имеющую максимальную площадь и рассчитать её характеристики, построить графики изменения амплитуды вектора и скорости формирования пространственной векторной петли.

Считают, что ассоциация методов ЭКГ и ВКГ может дать гораздо больше информации об электрических явлениях сердца, тем самым увеличивая их использование и позволяя дифференцировать потенциально опасные случаи от доброкачественных [15].

В тоже время, мы не нашли работ, посвященных использованию трёхмерного анализа ВКГ при ПБЛНПГ.

В связи с этим, мы предприняли исследование, целью которого было определение критериев полной блокады левой ножки пучка Гиса по данным трёхмерной векторкардиографии с анализом скорости формирования векторной петли.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Обследовано 57 пациентов с ПБЛНПГ (основная группа) в возрасте от 46 до 91 лет, средний возраст составил  $69,2 \pm 10,6$  (M $\pm$  $\sigma$ ) лет. Из них 40 женщин и 17 мужчин.

ПБЛНПГ установлена на основании критериев D. G. Strauss et al. [7]. Причины ПБЛНПГ и сопутствующие заболевания не учитывались.

Группу сравнения составили 80 здоровых пациентов с нормальными данными ЭКГ, в возрасте от 18 до 40, средний возраст  $31,5 \pm 6,3$  (M $\pm$  $\sigma$ ) лет, из них 54 женщины и 26 мужчин.

Всем пациентам проведена синхронная регистрация 12 стандартных отведений ЭКГ в ИС «Единый кардиолог Республики Татарстан» и проведена реконструкция трёхмерной ВКГ по системе МакФи-Парунгао с анализом скорости формирования векторной петли, используя программное обеспечение EasyECG Rest ATES Medica (Россия).

*Проведен анализ следующих параметров по данным трёхмерной ВКГ:*

- амплитуда максимального вектора QRS (QRS<sub>max</sub>);
- площадь поверхности трёхмерной петли QRS (Sn);
- площадь проекции на собственную плоскость петли QRS (Sc);

*собственная плоскость рассчитывается математически, как плоскость, имеющую максимальную площадь векторной петли из всех ее проекций; [16]*

- индекс планарности (PI) — отражает степень отклонения пространственной петли ВКГ от основной плоскости (Sc) и определяется по следующей формуле в процентах:

$$PI = \frac{Sc}{Sn} \times 100\%.$$

если PI составляет 100%, то векторная петля плоская, снижение показывает степень отклонения от плоскостности [17]. Графическое пояснение представлено на рис. 1.

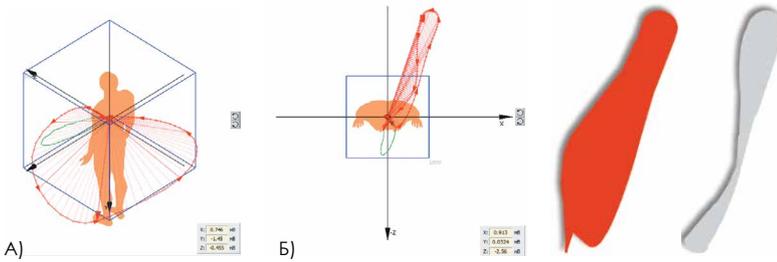


Рисунок 1. Графическое пояснение к некоторым ВКГ параметрам. А) пример изображения собственной плоскости; Б) расчет индекса планарности: представлено изображение петли QRS в горизонтальной проекции; красная фигура представляет собой площадь поверхности трехмерной петли (Sc), серая — проекция на собственную плоскость петли (Sc).

Оценивалась форма петли QRS с помощью индекса округлости (RI), который измерялся как отношение площади собственной плоскости петли QRS (Sc) к квадрату максимального вектора QRS ( $QRS_{max}$ ), проходящего через начало петли QRS [17].

$$RI = \frac{Sc}{QRS_{max}^2}$$

Построены графики изменения амплитуды пространственного вектора и скорости формирования (трассировки) пространственной векторной петли в XYZ.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью компьютерных программ Statistica 8.0 и Biostat. Средние значения представлены в виде  $M \pm \sigma$ . Оценка нормальности распределения количественных признаков проводилась по критериям Колмогорова-Смирнова. Вероятность межгрупповых различий определяли по критерию Стьюдента. Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В программе EasyECG Rest ATES Medica были реконструированы ВКГ обследуемых пациентов по системе Макфи-Парунгао и рассчитаны продолжительность QRS, электрическая ось сердца (ЭОС) в градусах, амплитуда максимального вектора, площадь трехмерной петли, индекс планарности и индекс округлости. Данные представлены в таблице 2.

Проведен анализ векторных петель в ортогональной системе координат. Оценивали направление формирования векторных петель во фронтальной (FP), горизонтальной (HP) и правой сагиттальной плоскостях (RSP) и наличие перекрестов. Данные представлены в таблице 3.

Показано, что у здоровых лиц во фронтальной плоскости формирование векторной петли было по направлению как по часовой, так и против часовой стрелки. В то же время, у всех здоровых пациентов в горизонтальной плоскости — против часовой стрелки, а в правой сагиттальной — по часовой стрелке. Перекресты во всех плоскостях отсутствовали (рис. 2).

При анализе трехмерной ВКГ показано, что для здоровых характерна плоская пространственная петля QRS, то есть, площадь поверхности трехмерной петли QRS практически полностью совпадает с собственной плоскостью, которая отражает направление фронта возбуждения миокарда. Индекс планарности у этих пациентов близок к 100%.

График скорости формирования (трассировки) пространственной векторной петли у всех здоровых лиц имел один пик L с расщеплением на вершине, который связан с изменением направления трассировки на вершине петли. Пик скорости совпадает с пиком амплитуды максимального пространственного вектора и определяется возбуждением преимущественно левого желудочка сердца (рис 2).

При ПБЛНПГ преобладали пациенты с формированием векторной петли во фронтальной плоскости против часовой стрелки (73,7%), по часовой составили — 1,7%, а перекресты наблюдались в 24,6% случаев.

В горизонтальной плоскости встречались ВКГ как против часовой (26,3%), так и по часовой стрелке (40,1%), перекресты наблюдались более чем у трети больных (31,6%).

В правой сагиттальной плоскости направление векторной петли было по часовой стрелке (87,7%), против не встречалось, в 12,3% случаев наблюдались перекресты. Таким образом, можно полагать, что наиболее информативной плоскостью для диагностики ПБЛНПГ является правая сагиттальная плоскость, для которой характерно направление формирования векторной петли по часовой стрелке, реже перекрест в виде восьмерки. Однако, направление по часовой стрелке характерно и для здоровых пациентов, но при отсутствии перекрестов. Полученные нами данные соответствуют ранее опубликованной работе Perez-Riera et al. (2019) [14].

Анализ трехмерной ВКГ показал, что при ПБЛНПГ у всех пациентов имеется значительное снижение индекса планарности. Это связано с резким отклонением фронта возбуждения от собственной плоскости при ПБЛНПГ, так как в этих случаях возбуждение миокарда ЛЖ происходит помимо проводящей системы сердца. Это приводит к резкой деформации векторной петли — к ее перегибу за счет резкой смены направления фронта возбуждения в средней и конечной ее части. Наличие перегиба ВКГ отражается также во всех ортогональных плоскостях (рис. 3).

Перегиб пространственной векторной петли совпадает во времени с зазубриной на QRS в левых грудных отведе-

Таблица 2  
Параметры ЭКГ и трехмерной ВКГ

Показатели	Здоровые (n=80) M±σ	ПБЛНПГ (n=57) M±σ	p
QRS (мс)	93,6±5,2 80–100	148±14,2 130–198	<0,001
ЭОС в градусах	51,3±29,2 от -12 до +91	7,3±25,9 от -28 до +80	<0,001
QRSmax (мкВ)	1728±407 898–2826	2676±821 1329–5753	<0,001
Sc (мВ²)	1,98±0,98 0,67–6,4	2,35±1,4 0,91–7,6	<0,001
Sn (мВ²)	2,09±101 0,71–6,7	7,14±8,0 1,9–58,5	<0,001
PI (%)	95,3±2,5 90–100	43,5±17,2 9–75	<0,001
RI	0,66±0,19 0,32–1,14	0,35±0,12 0,15–0,87	<0,001

Примечание: p — вероятность различия параметров, определенных методом Стьюдента.

Таблица 3  
Направление движения векторных петель в ортогональной системе координат

Группы пациентов	FP			HP			RSP		
	по часовой %	против часовой %	перекресты %	по часовой %	против часовой %	перекресты %	по часовой %	против часовой %	перекресты %
Здоровые n=80	72,5	27,5	0	100	0	0	100	0	0
ПБЛНПГ n=57	1,7	73,7	24,6	26,3	40,1	31,6	87,7	0	12,3

ниях стандартной ЭКГ. Таким образом, можно утверждать, что зазубрина на QRS в левых грудных отведениях является отражением изменения направления фронта деполяризации при ПБЛНПГ.

Наличие деформации трехмерной петли при ПБЛНПГ подтверждается снижением индекса округлости в сравнении с ВКГ здоровых пациентов.

Характерно для ПБЛНПГ увеличение амплитуды максимального вектора в сравнении со здоровыми лицами.

Проведен анализ графика скорости трассировки пространственной векторной петли (таблица 4).

У всех пациентов с ПБЛНПГ наблюдаются характерные изменения — резкое снижение скорости в средней ее части с формированием клешнеобразной кривой с двумя пиками (R и L) и расщеплением между ними, формируя глубокую инцизуру S в средней части кривой (рис. 3). Первый пик (R) отражает скорость возбуждения правого желудочка по неизменной правой ножке п. Гиса, второй пик (L) отражает скорость возбуждения ЛЖ, которое распространяется по миокарду ЛЖ без участия левой ножки п. Гиса. Чаше пик L ниже R, но в некоторых случаях амплитуда L соответствует R, или даже его превышает (отношение R/L составило от 0,78 до 3,05, среднее значение  $1,71 \pm 0,47 (M \pm \sigma)$ ). Это говорит о том, что при ПБЛНПГ в конечной части QRS комплекса не всегда наблюдается замедление трассировки векторной петли, как это утверждает Perez-Riera et al. (2019) [14].

Инцизура S возникает за счет снижения скорости возбуждения левого желудочка, по времени совпадает с зазубриной на восходящей части QRS в левых отведениях ЭКГ и переломом векторной пространственной петли.

Необходимо также отметить, что в целом, в сравнении со здоровыми лицами при ПБЛНПГ определяется снижение скорости формирования векторной пространственной петли во всех ее отделах. Так средняя максимальная скорость у здоровых лиц составила  $5,4 \pm 1,4 \text{ мВ/с } (M \pm \sigma)$ , а у пациентов с ПБЛНПГ —  $4,16 \pm 1,4 \text{ мВ/с } (M \pm \sigma)$ , ( $p < 0,001$ ).

Таким образом, по данным трехмерной ВКГ для ПБЛНПГ характерны следующие признаки:

- перелом пространственной векторной петли за счет изменения направления фронта возбуждения в средней ее части;
- снижение индекса планарности менее 80%;

- резкое, в 2 и более раза снижение скорости трассировки пространственной векторной петли в средней ее части с формированием клешнеобразной кривой с двумя пиками R и L.

Для иллюстрации использования трехмерной ВКГ в дифференциальной диагностике «истинной» и «ложной» ПБЛНПГ приводим клинические примеры.

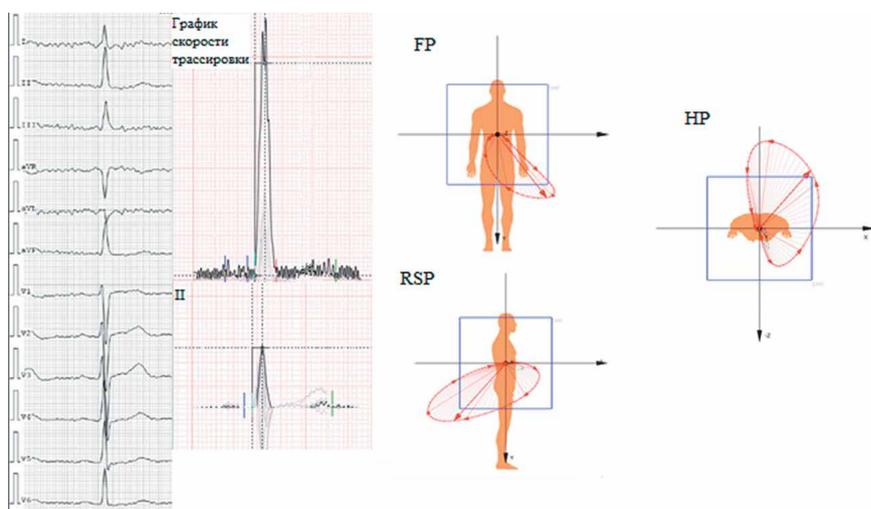
*Клинический случай № 1.* Пациент Ц., 66 лет, мужчина. Диагноз: Гипертоническая болезнь II стадии, 2 степень АГ, Гиперлипидемия. Риск ССО 3 (высокий). Стабильная стенокардия напряжения II ФК. Нарушение проводимости: ПБЛНПГ. ХСНнФВ II А ст. II ФК. Ожирение I степени.

На рисунке 3 представлена ЭКГ в стандартных отведениях с признаками ПБЛНПГ по критериям D. G. Strauss et al. (2011) — широкий комплекс QRS (144 мс), наличие зазубрины в средней части QRS в левых отведениях. График скорости трассировки пространственной векторной петли имеет клешнеобразную форму с двумя пиками R и L, где преобладает пик R, так как отражает скорость возбуждения по неизменной правой ножке пучка Гиса. В средней части кривой скорости определяется резкое ее снижение (инцизура S), по времени совпадающий с зазубриной на QRS в I, V5, V6 отведениях и с переломом векторной петли, который выделен зеленой линией в трех ортогональных отведениях. Значительно снижен индекс планарности до 44%.

*Клинический случай № 2.* Пациент Н., 57 г., мужчина.

Диагноз: ДКМП. Гипертоническая болезнь II стадии, 2 степень АГ. Нарушение проводимости: БПВЛНПГ, умеренная легочная гипертензия, ХСН ПА, ФК II.

Рисунок 2. ЭКГ и ВКГ здоровой пациентки Г., 32 г. QRS=84 мс,  $QRS_{max} = 1980 \text{ мкВ}$ ,  $Sc = 3,1 \text{ мВ}^2$ ,  $Rl = 0,78$ ,  $Pl = 98\%$ .



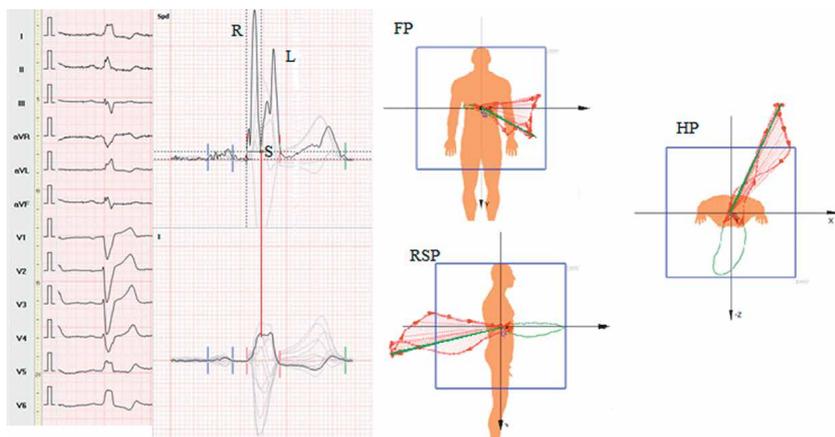


Рисунок 3. ЭКГ и ВКГ пациента с ПБЛНПГ. QRS = 144 мс, QRS<sub>max</sub> = 1889 мкВ, Sc = 1,6 мВ<sup>2</sup>, R/L = 1,36, R/S = 32,7, RI = 0,44, PI = 44%, R > L

На рисунке 4 показаны данные ЭКГ и ВКГ пациента с ГЛЖ и БПВЛНПГ.

Основные параметры ЭКГ: QRS = 132 мс, ЭОС = -47°, корнельский индекс 2,9 мВ, корнельское произведение 382,8 мВ·хмс.

Трехмерная ВКГ: QRS<sub>max</sub> = 2481 мкВ, Sc = 3,5 мВ<sup>2</sup>, RI = 0,57, PI = 97%.

Пациенту проведена эхокардиоскопия: конечный диастолический размер ЛЖ (КДР) — 8,2 см; конечный систолический размер ЛЖ (КСР) — 6,8 см; толщина задней стенки ЛЖ (ТЗСЛЖ) — 0,9 см; толщина межжелудочковой перегородки (ТМЖП) — 1,0 см; индекс массы миокарда ЛЖ (ИММЛЖ) 233 г/кв.м; фракция изгнания (ФИ) — 33%.

На основании общепринятых критериев ПБЛНПГ (широкий комплекс QRS = 132 мс, пик R = 63 мс в V5/V6, смещение переходной зоны влево, отсутствие зубцов q в левых отведениях) можно предполагать наличие ПБЛНПГ. В тоже время, по данным трехмерной ВКГ имеются признаки ГЛЖ (QRS<sub>max</sub> = 2481 мкВ, Sc = 3,5 мВ<sup>2</sup>), которые подтверждаются данными ЭХОКС (ИММЛЖ = 233 г/кв.м). Установлена БПВЛНПГ в соответствии с критериями трехмерной ВКГ, опубликованными нами ранее наличие двух экстремумов векторной петли во фронтальной плоскости (показаны зелеными стрелками), второй направлен вверх, вправо и назад, нормальное значение индекса планарности (97%), замедление формирования пространственной векторной петли в конечной ее части [18]. За счет блокирования проведения по передневерхней ветви левой ножки п. Гиса имеется запаздывание возбуждения выходного отдела левого желудочка.

В связи с этим, патогномичным признаком БПВЛНПГ является появление второго экстремума векторной петли во фронтальной плоскости, который формируется в конце комплекса QRS и направлен вверх, вправо и назад. Также, при БПВЛНПГ скорость распространения возбуждения миокарда выходного отдела ЛЖ снижена, что отражается в значительном снижении (в 2–3 раза) скорости формирования пространственной петли QRS в конечной ее части. Таким образом, можно полагать, что в данном случае мы имеем «ложную» ПБЛНПГ, при которой изменения на ЭКГ связаны сочетанием ГЛЖ и БПВЛНПГ.

Представленный нами клинический пример демонстрирует сложность диагностики ПБЛНПГ при наличии выраженной гипертрофии ЛЖ или его дилатации, так как расширение QRS может быть связано с ГЛЖ, а левограмма и смещение переходной зоны влево связаны с передневерхним полублоком, как и показано на данном примере. Трехмерная ВКГ убедительно показала различие ПБЛНПГ и сочетания ГЛЖ с БПВЛНПГ, так как при ПБЛНПГ наблюдается перелом фронта возбуждения, что снижает индекс планарности и формирует зазубрину на восходящей части QRS в левых грудных отведениях стандартной ЭКГ. Скорость распространения пространственной петли демонстрирует характерную клешнеобразную форму кривой с инцизурой, совпадающей с зазубриной на QRS, т.е. в средней ее части. При ГЛЖ с БПВЛНПГ перелома фронта возбуждения не происходит, соответственно, индекс планарности не снижается (более 90%), скорость трассировки пространственной петли снижается только в конечной ее части, без формирования клешнеобразной кривой.

### Выводы

Трехмерная ВКГ позволяет достоверно определить «истинную» ПБЛНПГ на основании «перелома» пространственной векторной петли со снижением PI менее 80% и значительным снижением скорости трассировки векторной петли в средней ее части с формированием «клешнеобразной» кривой и провести дифференциальную диагностику с «ложной» ПБЛНПГ, при которой изменения на ЭКГ определяются сочетанием гипертрофии левого

Таблица 4  
Скорость формирования пространственной векторной петли

Группы пациентов	Кол-во пиков	Пик R M±σ		Инцизура S M±σ		Пик L M±σ		R/L M±σ	R/S M±σ
		Максимальная скорость, мВ/с	Время от начала QRS, мс	Максимальная скорость, мВ/с	Время от начала QRS, мс	Максимальная скорость, мВ/с	Время от начала QRS, мс		
Здоровые n = 80	1					5,4±1,4	31,1±5,4		
ПБЛНПГ n = 57	2	4,16±1,4	38,1±8,3	0,57±0,4	66,6±11,1	2,48±0,7	103,2±18,8	1,71±0,47 0,78–3,05	10,6±8,9 2,8–53,4

желудочка и передневерхнего полу- блока, когда отсутствует «перелом» петли и снижение PI, а скорость трас- сировки снижается в конечной части петли без формирования «клешне- образной» кривой.

**Список литературы / References:**

1. Кузнецов В. А. Сердечная ресинхронизирующая терапия: избранные вопросы. Москва 2007; 128 С.
2. Vardas P., Auricchio A., Blanc J., Daubert J. et al. Guidelines for cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy. The Task Force for Cardiac Pacing and Cardiac Resynchronization Therapy of the European Society of Cardiology. Developed in Collaboration with the European Heart Rhythm Association // Eur Heart J. 2007. Sep;28(18):2256–95. doi: 10.1093/eurheartj/ehm305.
3. Francia P., Balla C., Paneni F., Volpe M. Left Bundle-Branch Block — Pathophysiology, Prognosis, and Clinical. Clin. Cardiol. 2007 Mar;30(3):110–5. doi: 10.1002/cic.20034.
4. Zannad F., Huvelle E., Dickstein K., van Veldhuisen D. J., Stellbrink C., Køber L., Cazeau S., Ritter P., Maggioni A. P., Ferrari R., Lechat P. Left bundle branch block as a risk factor for progression to heart failure. Eur J Heart Fail. 2007 Jan;9(1):7–14. doi: 10.1016/j.ejheart.2006.04.011.
5. Imanishi R., Seto S., Ichimaru S., Nakashima E., Yano K., Akahoshi M. Prognostic significance of incident complete left bundle branch block observed over a 40-year period. Am J Cardiol. 2006 Sep 1;98(5):644–8. doi: 10.1016/j.amjcard.2006.03.044.
6. Schneider J., Thomas J., Kreger B. et al. Newly acquired left bundle branch block: the Framingham study. Ann Intern Med 1979; 90:303–10.
7. Khan K., Good K., Cleland J. et al. Prevalence of ECG abnormalities in an international survey of patients with suspected or confirmed heart failure at death or discharge // Eur J Heart Failure 2007; Vol. 9:491–501.
8. Strauss D. G., Selvester R. H., Wagner G. S. Defining left bundle branch block in the era of cardiac resynchronization therapy. Am J Cardiol 2011; 107:927–934
9. Breithardt G., Breithardt O. A. Left bundle branch block, an old-new entity. J Cardiovasc Transl Res. 2012; 5(2):107–116.
10. Strauss D. G. Differentiation between left bundle branch block and left ventricular hypertrophy: Implications for cardiac resynchronization therapy. Journal of Electrocardiology. 2012 Nov-Dec;45(6):635–9. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2012.09.001.
11. Strauss D. G., Selvester R. H. The QRS complex—a biomarker that “images” the heart: QRS scores to quantify myocardial scar in the presence of normal and abnormal ventricular conduction. Journal of Electrocardiology. 2009 Jan-Feb;42(1):85–96. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2008.07.011.

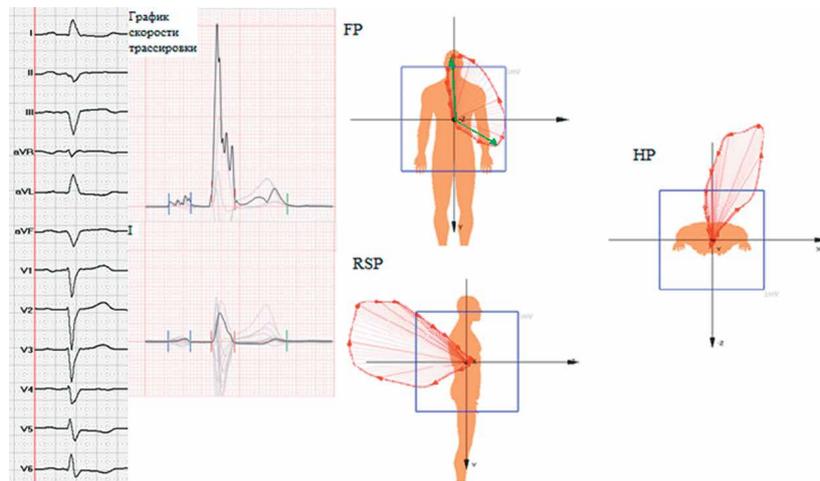


Рисунок 4.ЭКГ и ВКГ пациента с ГЛЖ и БПВЛНПГ

12. Jastrzębski M., Kukla P., Kisiel R., Fijorek K., Moskal P. and Czarnecka D. Comparison of four LBBB definitions for predicting mortality in patients receiving cardiac resynchronization therapy. Ann Noninvasive Electrocardiol. 2018 Sep;23(5):e12563. doi: 10.1111/anec.12563.
13. Galeotti L., van Dam P. M., Loring Z., Chan D., & Strauss D. G. (2013). Evaluating strict and conventional left bundle branch block criteria using electrocardiographic simulations. Europace, 2013 Dec;15(12):1816–21. doi: 10.1093/europace/eut132.
14. Pérez-Riera A. R., Barbosa-Barros R., de Rezende Barbosa M. P. C., Damínello-Raimundo R., de Abreu L. C., Nikus K. Left bundle branch block: Epidemiology, etiology, anatomic features, electrovectorcardiography, and classification proposal Ann Noninvasive Electrocardiol. 2019 Mar;24(2):e12572. doi: 10.1111/anec.12572.
15. Pastore C. A., Samesima N., Pereira Filho H. G., Tobias N. M. M. O., Madaloso B. A., Facin M. E. Applicability of the Electro-Vectorcardiogram in Current Clinical Practice. Arq Bras Cardiol. 2019 Jun 27;113(1):87–99. doi: 10.5935/abc.20190095.
16. Титомир Л. И., Руткай-Недецкий И. Анализ ортогональной электрокардиограммы. М.: Наука, 1990. 198 с.
17. Sedaghat G., Ghafoori E., Waks J. W., Kabir M. M., Shvilkin A., Josephson M. E., Tereshchenko L. G. Quantitative Assessment of Vectorcardiographic Loop Morphology. J Electrocardiol. 2016 Mar-Apr;49(2):154–63. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2015.12.014.
18. Терегулов Ю. Э., Ацель Е. А., Ганиева С. Ф., Терегулова Е. Т., Максимова М. С., Терегулов А. Ю., Камалетдинова З. А. Трехмерный векторный анализ ЭКГ в диагностике блокады передневерхней ветви левой ножки пучка Гиса. Медицинский алфавит. Современная функциональная диагностика. 2023; (15): 28–34. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-15-28-34

**Сведения об авторах**

**Терегулов Юрий Эмильевич**, д.м.н., доцент, заведующий кафедрой функциональной диагностики<sup>1,2,4</sup>  
**Максимова Мария Сергеевна**, к.м.н., доцент кафедры функциональной диагностики<sup>1</sup>  
**Терегулова Елена Теодоровна**, к.м.н., доцент кафедры функциональной диагностики<sup>1,4</sup>  
**Чувашаева Фарида Рамизовна**, ассистент кафедры функциональной диагностики<sup>1,4</sup>  
**Терегулов Андрей Юрьевич**, к.м.н., доцент кафедры хирургических болезней постдипломного образования института фундаментальной медицины и биологии КФУ<sup>3</sup>  
**Милиутина Ольга Игоревна**, врач-радиолог<sup>5</sup>  
**Милиутина Ирина Игоревна**, лаборант кафедры функциональной диагностики<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Казанская государственная медицинская академия — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, г. Казань  
<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Казань  
<sup>3</sup> ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Россия, РТ, г. Казань  
<sup>4</sup> Государственное автономное учреждение здравоохранения «Республиканская клиническая больница» Министерства здравоохранения Республики Татарстан, г. Казань  
<sup>5</sup> Государственной бюджетное учреждение здравоохранения «Детская городская клиническая больница №13 им. Н. Ф. Филатова» Департамента здравоохранения г. Москвы, г. Москва

**Автор для переписки:**  
 Терегулов Юрий Эмильевич, e-mail: tereg2@mail.ru

**About authors**

**Teregulov Yu. E.**, Head of the Department of Functional Diagnostics, Assistant Professor of the Department of hospital therapy, MD<sup>1,2,4</sup>  
**Maksimova M. S.**, Assistant Professor of the Department of Functional Diagnostics, PhD<sup>1</sup>  
**Teregulova E. T.**, Assistant Professor of the Department of Functional Diagnostics, PhD<sup>1</sup>  
**Chuvashayeva F. R.**, Assistant Lecturer of the Department of Functional Diagnostics<sup>1,4</sup>  
**Teregulov A. Yu.**, Assistant Professor, Department of Surgical Diseases of Postgraduate Education<sup>3,4</sup>  
**Milyutina O. I.**, radiologist<sup>5</sup>  
**Milyutina I. I.**, laboratory assistant Department of Functional Diagnostics<sup>1</sup>

<sup>1</sup> KSMa-Branch Campus of the FSBEI FPE RMACPE MOH Russia, Kazan, Russian Federation  
<sup>2</sup> FSBEI HE Kazan SMU MOH Russia, Kazan, Russian Federation  
<sup>3</sup> Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation  
<sup>4</sup> Republican Clinical Hospital Ministry of health Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation  
<sup>5</sup> State budgetary health care institution “Children’s City Clinical Hospital No.13 named after N. F. Filatov” of the Department of Health of Moscow, Moscow

**Corresponding author:**  
 Teregulov Yu. E., E-mail: tereg2@mail.ru

Статья поступила / Received 23.10.2023  
 Получена после рецензирования / Revised 28.10.2023  
 Принята в печать / Accepted 20.11.2023

**Для цитирования:** Терегулов Ю. Э., Максимова М. С., Терегулова Е. Т., Чувашаева Ф. Р., Терегулов А. Ю., Милиутина О. И., Милиутина И. И. Трехмерная векторкардиография в диагностике полной блокады левой ножки пучка Гиса. Медицинский алфавит. 2023; (32):27–34. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-27-34

**For citation:** Teregulov Yu. E., Maksimova M. S., Teregulova E. T., Chuvashayeva F. R., Teregulov A. Yu., Milyutina O. I., Milyutina I. I. Three-dimensional vector ECG analysis in the diagnosis of the left bundle branch block. Medical alphabet. 2023; (32):27–34. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-27-34

