

DOI: 10.55090/19964552\_2023\_2\_90\_99

# О РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОСИ СЕРДЦА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ В МЕДИЦИНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

**Ельцов Анатолий Викторович,**

*доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры математики, физики и медицинской информатики*

ФГБОУ ВО Рязанский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова, Рязань, Российская Федерация

 eltsov17@rambler.ru

**Трушин Даниил Алексеевич,**

*студент,*

Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова

 79150014397@yandex.ru

---

## АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены различные методы определения электрической оси сердца: графический и аналитический при изучении физики в медицинском университете. Проиллюстрированы различия при определении угла электрической оси при анализе электрокардиограмм, полученных с помощью стационарного кардиографа и мобильного кардиокомплекса «ECG Dongle». Проведены исследования по поиску оптимальных положений электродов кардиофлешки на поверхности грудной клетки человека, для наилучшего совпадения результатов по определению угла электрической оси сердца. Представлены найденные положения электродов при которых значения угла электрической оси сердца, полученного с помощью стационарного кардиографа и мобильного кардиокомплекса «ECG Dongle» совпадают.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *физика, суммарный вектор, электрическая ось, разность потенциалов, отведения, электрокардиограмма, электроды.*

# ABOUT VARIOUS METHODS OF DETERMINING THE ELECTRICAL AXIS OF THE HEART WHEN STUDYING PHYSICS AT A MEDICAL UNIVERSITY

**Yeltsov A. V.,**

*Ph.D. (Education) Professor, Chair of Mathematics, Physics and Medical Information Technology,*

Ryazan State Medical University named after Academician Ivan Pavlov, Ryazan, Russian Federation

**Trushin D. A.,**

*student,*

Ryazan State Medical University named after Academician I. P. Pavlov, Ryazan, Russian Federation

---

## ABSTRACT

The article discusses various methods for determining the electrical axis of the heart: graphical and analytical when studying physics at a medical university. The differences in determining the angle of the electric axis in the analysis of electrocardiograms obtained using a stationary cardiograph and a mobile cardiocomplex «ECG Dongle» are illustrated. Studies have been conducted to find the optimal positions of the electrodes of the cardioflash on the surface of the human chest, for the best match of the results for determining the angle of the electrical axis of the heart. The positions of the electrodes found at which the values of the angle of the electrical axis of the heart obtained using a stationary cardiograph and a mobile cardiocomplex «ECG Dongle» coincide are presented.

**KEYWORDS:** *physics, total vector, electric axis, potential difference, leads, electrocardiogram, electrodes.*

Впервые студенты медицинского университета знакомятся с электрической осью сердца на первом курсе при изучении физики. Нахождение данной оси позволяет им примерно определить анатомическое расположение сердца в грудной клетке человека. Пространственный подход играет важную роль в формировании медицинских знаний не только при изучении анатомических органов, но и является одним из главных в познавательной деятельности человека [1].

Электрическая ось сердца совпадает с направлением максимального суммарного электрического вектора, возникающего при возбуждении кардиомиоцитов желудочков. В наибольшей степени направление электрической оси сердца определяется массой кардиомиоцитов, участвующих в возбуждении и положением сердца в теле человека. Поэтому выявление расположения оси сердца является важным диагностическим параметром для анализа электрокардиограммы (ЭКГ). Зная положение оси сердца во фронтальной плоскости можно безошибочно определить полярность зубцов R в стандартных и усиленных отведениях.

Существует множество методов определения электрической оси сердца, в данной работе мы остановимся на рассмотрении только двух из них: графическом и аналитическом.

При возбуждении миокарда не все участки одновременно вовлекаются в этот процесс, между возбужденным и невозбужденным участками возникает разность потенциалов, имеющая определенную величину. Можно доказать, что эта разность потенциалов, пропорциональна дипольному моменту разноименных объемных зарядов, имеющихся в определенном месте сердца, поэтому ее можно изобразить в виде вектора  $P$  в направлении от минуса к плюсу по ходу распространения возбуждения. Так как сердце объемный орган, то в нем имеется множество возбуждающихся участков, и в каждый момент времени существует множество таких векторов различных по величине и направлению. Их можно суммировать в один результирующий интегральный электрический вектор сердца (ИЭВС) — суммарный вектор, сердечный диполь.

В. Эйтховен, рассматривая сердце как источник биотоков в объемном проводнике, предложил концепцию равностороннего треугольника, углы которого образуют три конечности: правая рука, левая рука и левая нога. Каждая сторона треугольника образует соответствующую ось отведения, на которую проецируется ИЭВС в каждый момент времени. Если напряжение измерять попарно между тремя точками А, В и С, расположенными в вершинах равностороннего треугольника таким образом, что диполь, создающий поле, будет находиться в центре этого треугольника, то эти напряжения будут относиться друг к другу, как величины проекций вектора дипольного момента на соответствующие стороны треугольника

$$U_{AB} : U_{BS} : U_{CA} = P_{AB} : P_{BC} : P_{CA}$$

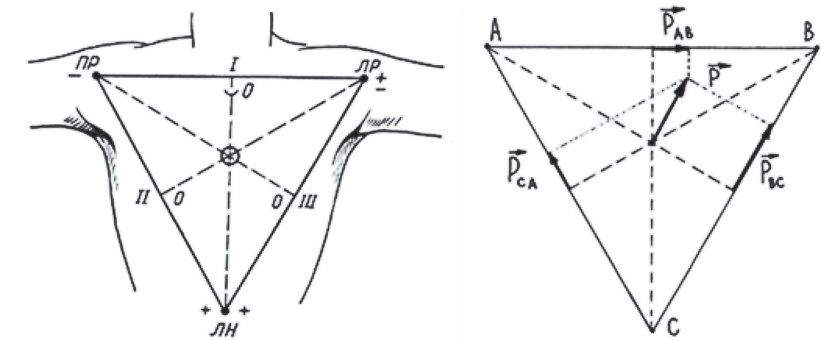


Рис. 1. Треугольник Эйнтовена и проекции ИЭВС на соответствующие стороны.

Электрокардиограмма (ЭКГ) представляет собой динамику изменения во времени проекции ИЭВС на оси отведения. Следовательно, если суммарный вектор-сердечный диполь является функцией времени, то и его проекция на соответствующую ось отведения также зависит от времени. Развертка во времени каждой из мгновенных проекций суммарного вектора на соответствующую ось (отведение) есть электрокардиограмма в соответствующем отведении (рис. 2) [2].

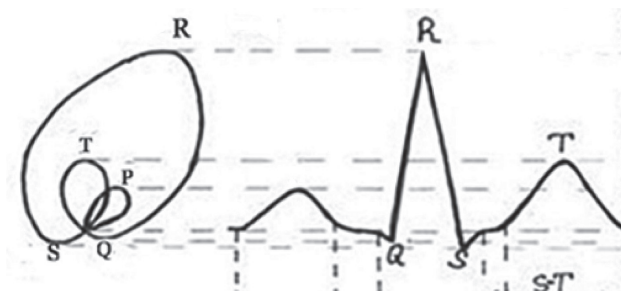
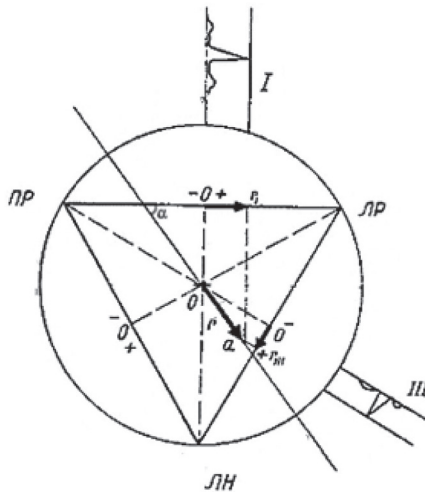


Рис. 2. Векторные петли сердечного возбуждения, которые описывает конец ИЭВС за время одного сердечного цикла и их развертка во времени.

Разность потенциалов достигает максимума в тот момент времени, когда возбуждением охвачена примерно половина клеток миокарда. Из-за большей мышечной массы левого желудочка суммарный вектор в данный момент направлен вниз к верхушке сердца и влево, на ЭКГ это отражается

большим положительным зубцом  $R$ . Зубец  $R$  отражает собой сокращение самого большого количества кардиомиоцитов, а направление интегрального вектора сердца в данный момент обуславливает положение электрической оси сердца (ЭОС).

Для определения электрической оси сердца графическим методом необходимо построить равносторонний треугольник Эйнтохена. Провести высоты к сторонам треугольника, соответствующим I и III отведениям, которые будут являться медианами и биссектрисами. От центральных точек соответствующих сторон необходимо отложить высоту значения зубца  $R$  в миллиметрах, соблюдая полярность. Далее через точки, соответствующие концам отложенных отрезков, проводятся линии параллельные проведенным высотам и находится их точка пересечения. Линия, соединяющая центр треугольника с найденной точкой, будет образовывать электрическую ось сердца. Угол  $\alpha$  образованный этой осью со стороной треугольника, соответствующей I отведению, определяет положение данной оси.



**Рис. 3.** Графический метод построения электрической оси сердца по известным амплитудам зубца  $R$  в первом и третьем отведении.

По значению угла  $\alpha$  определяют три положения оси сердца: горизонтальная —  $\alpha$  от  $0^\circ$  до  $+30^\circ$ , нормальная  $\alpha$  от  $+30^\circ$  до  $+70^\circ$ , вертикальная  $\alpha$  от  $+70^\circ$  до  $+90^\circ$ .

Для определения ЭОС аналитическим методом можно вычислить угол  $\alpha$  по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( -\frac{2U_3}{U_1} + 1 \right),$$

где  $U_3$  и  $U_1$  — разности потенциалов соответствующие зубцу R в III и I отведениях. Разность потенциалов высчитывается по формуле  $U = h/S$ ,  $h$  — высота зубца в мм,  $S$  — выбранная чувствительность прибора.

Сегодня все большую популярность для мониторинга работы сердца приобретает кардиофлешка ECG Dongle, произведенная компанией Nordavind. Этот аксессуар подключается к телу пациента с помощью четырех специальных электродов, причем пациент может сделать это самостоятельно при появлении симптомов нарушения нормальной сердечной деятельности (рис.4). Подключение ECG Dongle к мобильному устройству пациента осуществляется при помощи имеющегося в комплекте кабеля и специальных переходников. Для получения информации о работе сердца достаточно скачать соответствующее приложение на смартфон или планшет. Питание кардиофлешки обеспечивается аккумулятором мобильного устройства, считывает 6 отведений (3 стандартных и 3 усиленных). Мобильное приложение «ECG Dongle» совместимо с устройствами на платформах Android и iOS. Оно позволяет не только сохранять данные в различных форматах (PDF, MIT-BIH и EDF), но и отправлять полученную электрокардиограмму наблюдающему пациента кардиологу для получения профессионального анализа. Интеграция с интернет-сервисом «КардиоОблако» дает возможность также отправить полученные данные независимым экспертам, которые сформируют мнение о состоянии исследуемой сердечно-сосудистой системы и предоставят пациенту соответствующие рекомендации для коррекции образа жизни, посещения специалиста и проведения дополнительных диагностических мероприятий [3].

При анализе электрокардиограмм, полученных с помощью кардиофлешки (рис. 4), также можно определить положение оси сердца. Проведенные нами исследования показали, что положение ЭОС, полученной с помощью данного кардиокомплекса, не всегда совпадало с положением оси, полученной на основе данных специализированного стационарного кардиографа.

Была выдвинута гипотеза, что искажение результатов происходит за счет того, что углы между расположенными на грудной клетке электрода-



Рис. 4. Кардиокомплекс «ECG Dongle».

ми кардиофлешки не соответствуют углам равностороннего треугольника Эйнтховена.

Для проверки выдвинутой нами гипотезы был проведен анализ электрокардиограмм, полученных при помощи стационарного кардиографа и современного кардиокомплекса «ECG Dongle».

При снятии стандартных отведений ЭКГ с помощью кардиографа электроды располагаются на теле человека следующим образом: красный — правая рука, желтый — левая рука, зеленый — левая нога, черный — правая нога (рис. 5).

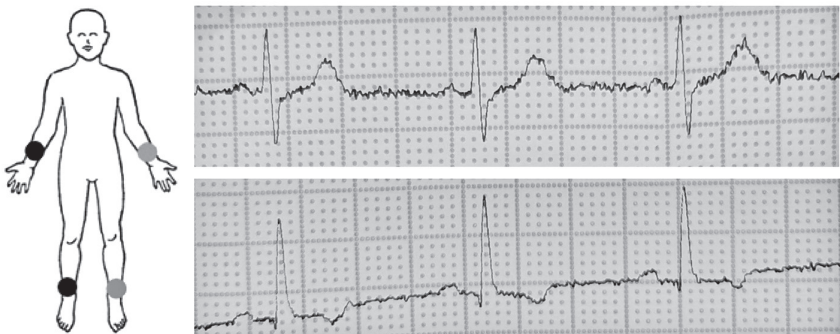
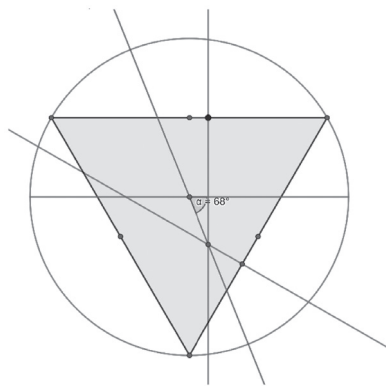


Рис. 5. Положение электродов и ЭКГ в I и III отведении на стационарном кардиографе

Амплитуда зубца  $R$  по полученным ЭКГ в I и III отведении составила соответственно 6 и 10 мм, при выбранной чувствительности прибора  $S = 10$  мм/мВ.

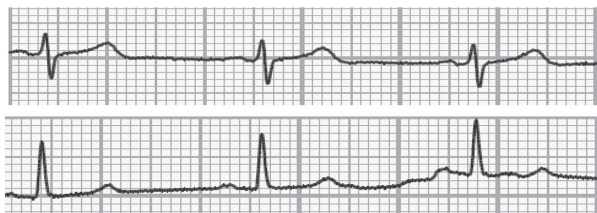
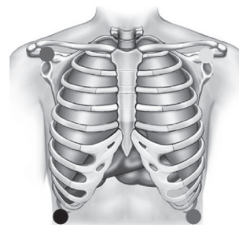
По имеющимся данным был определен угол оси сердца  $\alpha \approx 68^\circ$ , сначала аналитическим методом (рис. 6), а затем графическим методом:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{2U_3}{U_1} + 1 \right) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{2 \times 1}{0,6} + 1 \right) = 2,501 \quad \angle \alpha \approx 68^\circ$$



◀ **Рис. 6.** Графический метод определения оси сердца (электрокардиограф).

При снятии ЭКГ с помощью кардиофлешки электроды на грудной клетке, согласно рекомендациям крепятся следующим образом: красный — под акромиальным концом правой ключицы, желтый — под акромиальным концом левой ключицы, зеленый — в левом подреберье, черный — в правом подреберье (рис. 7).



**Рис. 7.** Положение электродов и ЭКГ в I и III отведении для кардиофлешки.

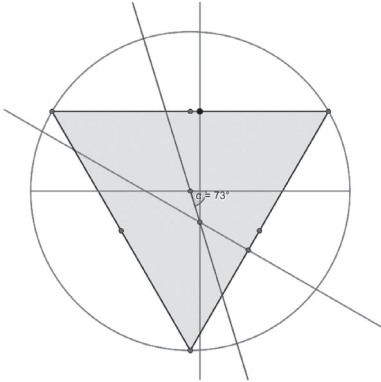
По полученным кардиограммам величина зубца  $R$  в I и III отведении составила:  $R_I = 3$ ,  $R_{III} = 7$ . (при выбранной чувствительности  $S = 5$  мм/мВ)

Аналитический метод дал следующие результаты по определению угла  $\alpha$ .

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{2U_3}{U_1} + 1 \right) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{2 \times 1,4}{0,6} + 1 \right) = 3,272 \quad \angle \alpha \approx 73^\circ$$



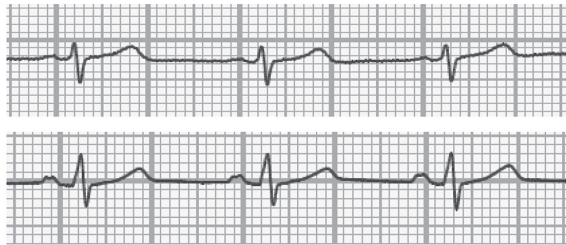
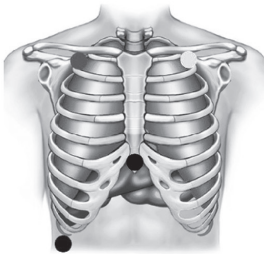
Графический метод подтвердил полученное значение, расхождение со стационарным кардиографом составило 5 градусов (рис. 8).



◀ **Рис. 8.** Графический метод определения оси сердца (кардиофлешка)

Мы задались целью найти оптимальные места прикрепления электродов кардиофлешки чтобы углы ЭОС полученные, с помощью комплекса «ECG Dongle» и стационарного кардиографа совпадали. Перемещая электроды по поверхности грудной клетки, эта задача была решена. Наилучшее совпадение углов электрической оси сердца обнаружилось при следующем расположении электродов: красный — под ключицей на среднеключичной линии справа, желтый — под ключицей на среднеключичной линии слева, зеленый — на мечевидном отростке, черный — в правом подреберье (рис. 9).

на среднеключичной линии справа, желтый — под ключицей на среднеключичной линии слева, зеленый — на мечевидном отростке, черный — в правом подреберье (рис. 9).

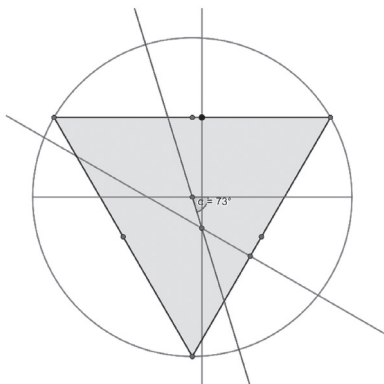


**Рис. 9.** Наилучшее положение электродов и ЭКГ в I и III отведении для кардиофлешки.

Определив по ЭКГ  $R_I = 2$ ,  $R_{III} = 3,5$  (при выбранной чувствительности  $S = 5$  мм/мВ) аналитический метод

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{2U_3}{U_1} + 1 \right) = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{2 \times 0,7}{0,4} + 1 \right) = 2,598 \quad \angle \alpha \approx 69^\circ$$

и графический метод позволили получить угол электрической оси сердца, такой же как и при анализе ЭКГ, полученной с помощью стационарного кардиографа (рис.10.)



◀ **Рис. 10.** Графический метод определения оси сердца (кардиофлешка с найденными положениями электродов)

**ВЫВОД:** Выдвинутая нами гипотеза подтверждена, так как в данном случае красный, желтый и зеленый электроды образуют вершины равностороннего треугольника. ■

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физиология человека с основами патофизиологии: в 2 т. Т. 2 / под ред. Р.Ф. Шмидта, Ф. Ланга, М. Хекманна; пер. с нем. под ред. М. А. Каменской и др. 2-е изд., испр., электрон. М.: Лаборатория знаний, 2021. — 497 с.
2. Ельцов А. В. Пространственный подход при изучении интегрального электрического вектора сердца в медицинском университете / Ельцов А. В., Галкина Д. Р. // Школа Будущего 2022. № 2. С. 156-171.
3. Ельцов А. В. Об изучении в медицинском университете современных технологий мониторинга работы сердца для сохранения здоровья. / Ельцов А. В., Степанов В. А., Муравьева Н. В. // ОБЖ: Основы безопасности жизни № 1. 2021. С 46-50.
4. Авачева Т. Г., Ельцов А. В., Кривушин А. А. Физика. Лабораторный практикум по дисциплине «Физика. Математика» для обучающихся по специальности «Лечебное дело» Ч. 1. / ФГБУ РязГМУ им. акад. И. П. Павлова. Рязань, 2019. — 176 с.
5. Ельцов А. В. Интегративный подход как теоретическая основа осуществления школьного физического эксперимента. Издательство РГУ имени С. А. Есенина, Рязань, 2007. — 248 с.
6. Ельцова Л. Ф. Концепты пространства в медицинской терминологии. Автореф. дисс... канд. филол. наук. Рязань, 2000. 29 с.