

*Виктор Чибисов,  
Юрий Рейдерман,  
г. Днепродзержинск*

## **ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ РАБОТЫ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА (НА ПРИМЕРЕ НАГРУЗОК ХОРТИНГИСТОВ)**

**Введение.** В работах некоторых авторов (Людовик Комадел, 1968; Томас Ф. Робинсон, 1986) показано, что фаза диастолы левого желудочка сердца может быть активной или пассивной. При активной диастоле сердечной мышцы при каждом сокращении запасается энергия, за счет которой после сокращения в полость сердца активно засасывается кровь. Активность диастолы, таким образом, может быть оценена по энергетике процесса работы сердца в качестве засасывающего насоса.

Отметим, что сравнение показателей энергетики работы левого желудочка в покое и после нагрузки можно было бы использовать для выдачи заключения о текущем состоянии сердечно-сосудистой системы человека.

Робинсон и соавторы показали, какой вид будет иметь диаграмма энергетического процесса и как можно ее использовать на практике. Но они не дали рекомендаций как ее построить.

**Связь исследования с научными и практическими задачами.** Выполнение работы связано с необходимостью научного исследования процессов биомеханики работы сердца как гидравлического насоса и диагностики функционального состояния спортсменов высокой квалификации (например, хортингистов).

### **Примечание.**

Хортинг – национальный вид спорта Украины основан на культурных, оздоровительных и боевых традициях украинского народа. Он способствует привлечению подрастающего поколения к общечеловеческим ценностям, формированию внутренней культуры личности, ее высоких волевых качеств, навыков здорового образа жизни, гармоничному физическому развитию детей.

Слово „хортинг“ происходит от названия известного и славного острова Хортица, где была расположена Запорожская Сечь, которая сыграла прогрессивную роль в истории украинского народа. Хортинг включает в себя оздоровительные, общефизические, технические и тактические элементы, а также воспитательные и философские аспекты украинского национального вида спорта как влиятельной воспитательной системы физического и морально-этического направления, реального инструмента воспитания сильного украинца, достойного гражданина – патриота Украинского государства.

Идея возникновения хортинга, как комплексной системы самосовершенствования личности, основанной на физическом, морально-этическом и духовном воспитании, связана с возрождением древних народных традиций, которые передавались из рода в род, от поколения к поколению.

Официальное признание хортинга видом спорта произошло согласно приказу Министерства Украины по делам семьи, молодежи и спорта ко Дню Независимости Украины (приказ № 3000 от 21 августа 2009 г.).

Учредителями Украинской федерации хортинга (УФХ) являются: Э. Еременко, И. Косинский, Д. Лесной, С. Лохманов, А. Нетребко, А. Плотников, В. Севрюков.

Разработка правил соревнований по хортингу, а также его квалификационная система были направлены на исключительно естественное изобретение техники самозащиты и спортивных приемов единоборства, инициатором которого выступил выдающийся спортсмен Э. Еременко.

Современный украинский хортинг – это универсальная система и смешанное единоборство, воплотивший в себе наиболее эффективные и действенные приемы спортивных и прикладных единоборств и боевых искусств. Воспитательная и философская основа хортинга – здоровый спортивный дух человека и славные традиции воинственных предков казаков Запорожской Сечи.

Основная цель хортинга – охват оздоровительным движением всех слоёв населения Украины от маленьких детей до людей пожилого возраста, популяризация и повышение роли физической культуры и спорта, патриотическое воспитание, привлечение детей и юношества к здоровому образу жизни, отвлечения их от вредных привычек, воспитание личности в духе добропорядочности, патриотизма и любви к своей Родине. Бесспорно, фундаментом этого вида боевого искусства являются многовековые традиции, которые передавались из рода в род, от поколения к поколению, от сарматов через воинов Киевской Руси запорожским казакам.

Хортинг в Украине является важной составляющей общегосударственной системы физической культуры и спорта, патриотического и духовного воспитания молодежи, возрождения и развития украинских боевых традиций, укрепления здоровья, развития физических, морально-волевых и интеллектуальных способностей человека путем привлечения его к участию в спортивных соревнованиях, оздоровительных лагерях, учебно-тренировочных семинарах и других мероприятиях физкультурно-оздоровительного направления.

В „Декларации национального вида спорта Украины“ перечислены и описаны основные направления хортинга.

Мы, спортсмены и тренеры, руководители и работники Всемирной федерации хортинга, национальных, региональных, районных, местных федераций и отделений, отдельных клубов и спортивных секций хортинга во всем мире, осознавая свою ответственность за настоящее и будущее развитие хортинга и своей страны, заявляем:

1. „Патриотизм“. Хортинг на страже мира и во имя мира!
2. „Хортинг для здоровья людей!“ Здоровый образ жизни – залог морально-нравственного здоровья общества и личности.
3. „Профессионализм и порядочность!“ – жизненный девиз работающего коллектива организации хортинга!
4. „Хортинг – на добрые дела!“ Пусть наши дети, наша надежда и наше вдохновение, научатся делать добро, любить и верить в справедливость, передадут следующим поколениям этот единый путь мира и благотворительности.
5. „Семья – центр жизни человека“. Нравственность и чистота отношений – единственный путь для создания крепкой семьи, сыновья почтительность к матери и отцу, людям, которые подарили ребенку мир – источник начала высокой нравственности и истинного воспитания.
6. „Хортинг – путь к самосовершенствованию“. „Сила и Честь!“ – девиз хортинга!
7. „Хортинг без границ!“ Украинец, прими в свое сердце хортинг. Хортинг – спорт твоей Родины! [1, с. 6–7, 13–14].

Франклин и Старлинг [4, с. 48] обосновали необходимость построения диаграммы работы левого желудочка в течение цикла.

**Цель статьи:** описать практические исследования построения диаграммы работы левого желудочка в течении цикла.

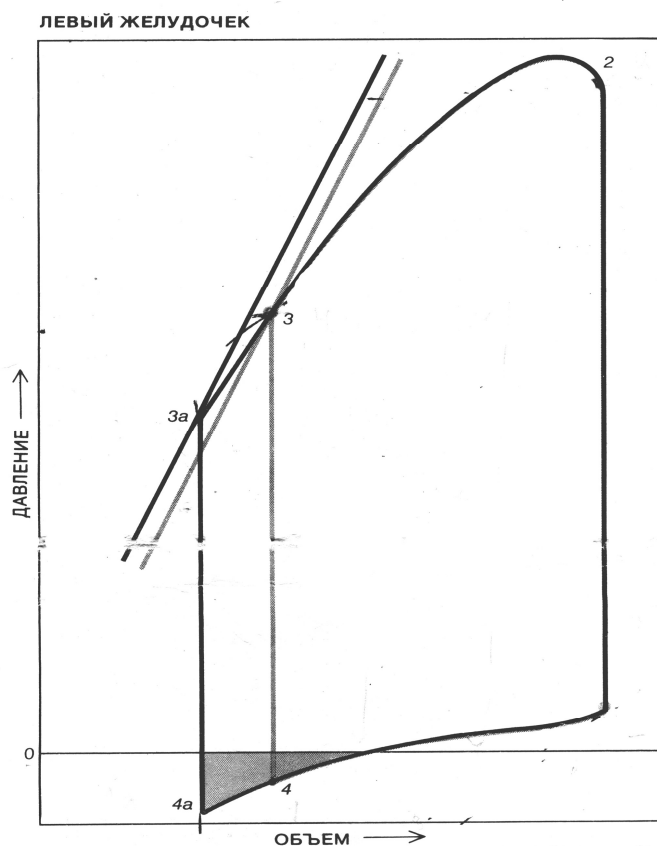
**Материалы и методы исследований.**

Методами эхокардиографии были получены данные о размерах полости левого желудочка и толщины его миокарда.

В соответствии с целью исследования было проведено эхокардиографическое обследование спортсменов высшей квалификации различных специализаций на разных этапах тренировочного процесса.

**Результаты исследований.** Анализируя диаграмму работы сердца (рис. 1), приведенную в работе [4], считаем, что, так как объем массы миокарда постоянен, на перестройку его структуры на участках изометрического расслабления 3-4 и сжатия 1-2 затрачивается одинаковое количество энергии. Диаграмма работы за цикл представлена замкнутой ломаной, то есть можно сделать вывод, что изменения энергии одинаковы на участках изгнания крови (2-3) и наполнения ею миокарда (4-1). Изменения могут быть определены величинами энергии деформации миокарда по зависимостям классической теории упругости, приведенным в [5, с. 373], через приращения кольцевых,

меридиональных и нормальных напряжений в теле миокарда, прямопропорциональных изменению внутреннего давления в полости левого желудочка в рассматриваемую фазу сердечного цикла (соответственно изгнания или наполнения).



**Рис. 1** Диаграмма цикла работы левого желудочка.

Используемые в этих зависимостях значения модуля упругости ( $E$ ) миокарда, зависящие от давления ( $P$ ) в полости, принимаем равными среднему значению для соответствующего участка.

Участки 1, 2, 3, 4 соответствуют моменту, когда обследуемый индивидуум отдохнул после нагрузки, а участки 1, 2, 3а, 4а – соответствуют моменту, когда обследуемый только что закончил работу. Точка 4 (4а) – момент начала наполнения кровью левого желудочка, точка 1 – момент окончания наполнения и момент начала изометрического сжатия миокарда левого желудочка. Точка 2 – момент окончания изометрического сжатия, он совпадает с моментом начала изгнания крови из левого желудочка. Точка 3 (3а) – момент окончания изгнания крови из левого желудочка. Он же соответствует моменту начала изохорического расслабления миокарда.

На участке изгнания при определении среднего значения модуля упругости  $E_{ср.изгн}$  воспользуемся зависимостями, выведенными Анликером [6], для случая известных объёмов и им соответствующих давлений в полости левого желудочка.

Принимая, что левый желудочек может быть представлен толстостенной сферой:  

$$K = \frac{3}{4} \cdot \frac{KDR \cdot (KDO + OOM)}{(KDR - KCR) \cdot OMM},$$

где

KDR – конечный диастолический размер левого желудочка,

KCR – конечный систолический размер,

KDO – конечный диастолический объём левого желудочка,

KCO – конечный систолический объём,

OMM – объём массы миокарда.

Согласно Teichholz [3, с. 63]:

$$KDO = 7 \cdot \frac{KDR^3}{2,4 + KDR};$$

$$KCO = 7 \cdot \frac{KCR^3}{2,4 + KCR};$$

$$\begin{aligned}KDO_{(H)} &= 7 \cdot (KDR + 2 \cdot TMD)^3 / (2,4 + (KDR + 2 \cdot TMD)); \\ OMM &= KDO_{(H)} - KDO; \\ K &= E / (P_d - P_c).\end{aligned}$$

Величина  $K$  зависит только от геометрических размеров левого желудочка до и после нагрузки.

Из циклограммы работы левого желудочка следует, что начало фазы наполнения и конец фазы изгнания, конец фазы наполнения и начало фазы изгнания проходят при одинаковых соответственно  $KCO$  и  $KDO$ .

Отсюда можно сделать вывод, что  $K$  одинаково для фаз наполнения и изгнания.  $K$  – безразмерно.

Величина  $K = E/\Delta P$ , где  $E$  – величина модуля упругости  $E = K\Delta P$ , а поскольку для фазы наполнения  $\Delta P_{нап.} = (P_k + P_n)/2$ , то для фазы изгнания:

$$\begin{aligned}\Delta P_{изгн.} &= (P_c + P_d) / 2; \\ \Delta P_{изгн.} &\gg \Delta P_{нап.}, \\ \Delta E_{нап.} &\gg E_{изгн.} \\ \text{Определим фактическое:} \\ E_{ср.изгн.} &= K (P_c - P_d);\end{aligned}$$

В вышеприведенных формулах подиндекс  $K$  обозначает, что величина относится к концу фазы, индекс  $H$  относится к началу фазы. Индекс  $C$  соответствует систолическому давлению, а индекс  $D$  диастолическому давлению.

Определяя  $K$  кровавым методом, Анликер искал  $K$  в интервале  $P_d - P_c = 1$  мм. рт. ст. и сделал допущение, что  $KDR/(KDR - KCR) = 3 \cdot KDO/(KDO - KCO)$ . При этом в расчетную формулу  $K$  Анликер подставлял не  $KDO - KCO$ , а разность объемов полости левого желудочка, соответствующую разности давлений в полости 1 мм. рт. ст. Тогда сделанное им допущение правомерно. Мы же проводим расчеты  $K$  для левого желудочка человека в диапазоне определения  $KDR$  и  $KCR$  с помощью эхокардиографа. Для того чтобы результаты расчетов  $K$  в случаях проведения их по данным Анликера и в случаях, если расчет проводить по данным диастолы и систолы или как это делают традиционным способом, вырезая из миокарда образцы-полоски и растягивая их на разрывной машине, от допущений Анликера надо отказаться, иначе будет значительная погрешность (при представлении желудочка в виде толстостенной сферы примерно в 3 раза).

После определения среднего значения модуля упругости миокарда в фазу изгнания  $E_{ср.изгн.} = K \cdot (P_c - P_d)$  согласно [5, с. 373] находим приращение полной энергии миокарда (энергию деформации миокарда) в фазу изгнания при изменении давления от  $P_c$  до  $P_d$ .

$$\begin{aligned}(\Delta U)' &= \frac{U \cdot (P_c - P_d)^2}{\dot{a}\ddot{b}\ddot{c}\dot{d}}; \\ U &= 1,36 \cdot 0,5 \cdot OMM \cdot ((a + b + c) - 0,5 \cdot d) / 4,\end{aligned}$$

где,

$$\begin{aligned}\dot{a} &= ((x)' + (x)'''); \quad b = ((y)' + (y)'''); \\ c &= ((z)' + (z)'''); \quad d = a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c;\end{aligned}$$

$(x)', (y)', (z)'$  – напряжения меридиональные, кольцевые, нормальные для внешней поверхности миокарда.

$(x)'', (y)'', (z)''$  – то же для внутренней поверхности.

Работа по изгнанию крови равняется:

$$U = 1,36 \cdot \left( \frac{(P_c + P_{\dot{a}})}{2} - \dot{D}\ddot{n}\ddot{d}\dot{i}\ddot{a}\ddot{i} \right) \cdot (UO), \text{ где } UO - \text{ударный объем левого желудочка.}$$

Приравняв  $U'$  и  $U''$ , найдем  $P_{\text{ср.нап.}}$  – среднее давление в фазу наполнения и найдем  $E_{\text{ср.нап.}}$  – среднее значение модуля упругости в фазу наполнения.

$$P_{\text{ср.нап.}} = (P_k + P_n) / 2.$$

Среднее значение модуля упругости миокарда в фазу наполнения находим, аппроксимируя кривую зависимости  $E_{\text{ср}}$  от давления в полости желудочка так, чтобы она проходила через три точки, а именно:

$$\text{при } P = 0, \quad E_{\text{ср}} = 0;$$

$$\text{при } P = (P_c + P_d) / 2, \quad E_{\text{ср}} = E_{\text{ср.изгн.}};$$

$$\text{при } P = \infty, \quad E_{\text{ср.}} = \infty.$$

Формула, которая удовлетворяет этим условиям:

$$E = E_{\text{ср.изгн.}} \cdot (\exp(-(P_{\text{ср.изгн.}} - P) / P));$$

$$\text{Тогда } E_{\text{ср.нап.}} = E_{\text{ср.изгн.}} \cdot (\exp(-(P_{\text{ср.изгн.}} - P_{\text{ср.нап.}}) / P_{\text{ср.нап.}}));$$

$$P_{\text{ср.изгн.}} = (P_c + P_d) / 2.$$

Для определения начального и конечного значения в фазу наполнения решим систему уравнений, одно из которых получим, приравняв, как это делали выше для фазы изгнания, затраты энергии деформации и выполняемую работу при выполнении операции наполнения левого желудочка:

$$\Delta U''' = \Delta U'''';$$

$$\Delta U''' = (P_{\dot{e}} \cdot \dot{D}\dot{i}) \cdot U / E_{\text{ср.}\dot{i}\ddot{a}\ddot{i}} ;$$

$$\Delta U'''' = (UO) \cdot 1,36 \cdot \dot{D}\text{ср.}\dot{i}\ddot{a}\ddot{i} ;$$

$$\dot{Y}\dot{o}\dot{i} \quad \acute{o}\acute{d}\acute{a}\acute{i}\acute{a}\acute{i}\acute{e}\acute{a} \quad \acute{d}\acute{a}\acute{\phi}\acute{a}\acute{a}\acute{i} \quad \acute{i}\acute{o}\acute{i}\acute{\eta}\acute{\eta}\acute{e}\acute{o}\acute{a}\acute{e}\acute{u}\acute{i} \quad \acute{u}\acute{i}$$

$$C1 = (P_{\dot{e}} - \dot{D}\dot{i}).$$

$$\tilde{N}\dot{i} \quad \acute{a}\acute{o}\acute{i}\acute{d}\acute{i}\acute{a}\acute{i}$$

$$2 \cdot \dot{D}\ddot{n}\ddot{d}\dot{i}\ddot{a}\ddot{i} = \dot{D}\dot{e} + \dot{D}\dot{i}$$

$$\ddot{i}\ddot{d}\acute{a}\acute{a}\acute{a}\acute{e}\acute{y}\acute{a}\acute{i}$$

$$\dot{D}\dot{e} = (\tilde{N}1 + 2 \cdot \dot{D}\ddot{n}\ddot{d}\dot{i}\ddot{a}\ddot{i} .) / 2$$

$$\dot{D}\dot{i} = \dot{D}\dot{e} - \tilde{N}1$$

После чего строим базовую диаграмму сердечного цикла, соответствующую диастолическому и систолическому давлениям покоя  $P_c$ ,  $P_d$ ,  $P_k$  и  $P_n$ . Диаграмму, соответствующую другим физиологическим состояниям обследуемого, которым соответствуют другие значения артериального давления. Например, после выполнения физической нагрузки получаем, аппроксимируя базовую, то есть продлевая на Рис. 1 участок 2-3 соответственно до 3-2 и участок 1-4 соответственно до 4-4а.

Как пример приведены результаты расчета данных для построения характерных точек диаграммы для спортсменов-хортингистов и лиц, практически здоровых в состоянии покоя и при выполнении ими соответствующей нагрузки (см. табл. 1).

**Выводы.** В работе предложена методика построения диаграммы работы левого желудочка, соответствующая гипотезе об активной диастоле сердечного сокращения, а также предложен обобщенный показатель качества работы левого желудочка – коэффициент полезного действия (К. П. Д.) миокарда. При К. П. Д. ниже нормы можно предполагать наличие патологических отклонений, объясняемых изменением упругих свойств миокарда. Как пример приведены результаты расчета К. П. Д. и характерных точек диаграммы для спортсменов в состоянии покоя и при выполнении ими соответствующей нагрузки.

**Характеристика показаний работы активной диастолы сердечного цикла спортсменов**

Показатели	Для практич. здоровых		Хортингисты	
	Покой	После нагр.	Покой	После нагр.
Возраст, лет	20-41	20-41	20	20
Рост, см	170±10	170±10	170±10	170±10
Вес, кг	70±5	70±5	70±5	70±5
КДР, см	4,8	4,8	5,88	5,88
КСР, см	3,0	3,0	4,34	4,34
ТМД, см	1,1	1,1	0,93	0,93
Рс, мм рт. ст.	120	160	130	150
Рд, мм рт. ст.	80	65	78	35
ЧСС, уд/мин	70	100	71	100
КДО, см <sup>3</sup>	107	179	172	206,4
КСО, см <sup>3</sup>	35	8	86	8,6
ММ, г	148	148	150	150
К, безразм.	7,63	7,63	14,4	14,4
Рср (изгн), мм. рт. ст.	100	112	105	92,5
Рср (нап), мм рт. ст.	1	1,47	3	1,9
Рн, мм рт. ст.	0,26	-0,3	0,84	-3,1
Рк, мм рт. ст.	1,75	3,24	5,18	6,9
УО, см <sup>3</sup>	72	171	86	198
МО, см <sup>3</sup> /мин	5040	17100	6106	19800

**Перспективы дальнейших исследований.** Внедрение предложенных методов диагностики в практику работы тренеров и врачей физкультурных диспансеров.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Єрьоменко Е. А. Хортинг – національний вид спорту України: метод. посіб. / Е. А. Єрьоменко. – К. : Паливода А. В., 2014. – 1064 с.
2. Комадел Л. Физиологическое увеличение сердца / Л. Комадел, Э. Барта, М. Кокавец. – Братислава : Издательство Словацкой Академии наук, 1968. – 285 с.
3. Мухарлямов Н. М. Ультразвуковая диагностика в кардиологии / Н. М. Мухарлямов, Ю. Н. Беленков. – Москва : Медицина, 1981. – 159 с.
4. Робинсон Томас Ф. Активная диастола сердечного сокращения / Томас Ф. Робинсон, Стивенсен М. Фэктор, Эдмунд Г. Зонненблик // *Scientific American*. Издание на рус. яз. (В мире науки), 1986. – № 8. – С. 48–56.
5. Тимошенко С. П. Сопrotивление материалов / С. П. Тимошенко. – Москва : Физматгиз, 1960. – 379 с.
6. Anliker M. Toward a no traumatic study of circulatory system. *Biomechanics its Foundation and Objectives* Englewood Cliffs, N. J, 1972. – P. 337–379.

**REFERENCES**

1. Yeromenko, E. A. (2014). *Khortynh – natsionalnyi vyd sportu Ukrainy* [Horting – A National Sport of Ukraine]. Kyiv: Palyvoda A. V.
2. Komadel, L., Barta, E., & Kokavets, M. (1968). *Fiziologicheskoie uvelicheniie serdtsa* [Physiological increase of heart]. Bratislava: Izdatelstvo Slovatskoj Akademii nauk.
3. Mukharliamov, N. M., & Belenkov, Yu. N. (1981). *Ultrazvukovaia diahnostika v kardiologii* [Ultrasonic diagnostics in cardiology]. Moscow: Meditsina.
4. Robinson, Thomas F., Fektor, Stivensen M., & Zonnenblik, Edmund G. (1986). *Aktivnaia diastola serdechnoho sokrashcheniia* [Active diastole of cardiac reduction]. *Scientific American [Scientific American edition in Russian]*, 8, 48–56.
5. Tymoshenko, S. P. (1960). *Soprotivleniie materialov* [Resistance of materials]. Moscow: Fizmathiz.
6. Anliker, M. Toward a no traumatic study of circulatory system. *Biomechanics its Foundation and Objectives* Englewood Cliffs, N. J, 1972. – P. 337–379.

**Віктор Чибісов, Юрій Рейдерман.**

***Побудова діаграми роботи лівого желудочка (на прикладі навантажень хортингістів).***

*У статті запропонована методика побудови діаграми роботи лівого шлуночка, відповідно до гіпотези про активну діастолу серцевого скорочення на прикладі навантажень на серце під час тренувань хортингістів. Побудові передують визначення внутрішнього тиску в порожнині шлуночка у фазі наповнення. При визначенні величин енерговитрат в результаті деформації міокарда лівий шлуночок розглядався як товстостінний еліпсоїд, обтяжений внутрішнім тиском. Модуль пружності міокарда визначався в залежності від тиску всередині шлуночка, але допускалося усереднення його значення відповідно в інтервалі тисків у фазах наповнення і вигнання. У роботі запропоновано узагальнений показник якості роботи лівого шлуночка – коефіцієнт корисної дії (К.К.Д.) міокарда. Якщо К.К.Д. нижче норми можна, припустити наявність патологічних відхилень, що пояснюється зміною пружних властивостей міокарда.*

**Ключові слова:** *хортинг, спортсмени-хортингісти, гіпотеза, міокард, серцеве скорочення, лівий шлуночок, градієнт модуля пружності, діагностика, коефіцієнт корисної дії (К.К.Д.) міокарда, патологічні відхилення, узагальнений показник якості, тиск.*

**Victor Chibisov, Yuriy Reyderman.**

***Drawing of a diagram of the left ventricle work (evident from the exercise loads of the Horting athletes).***

*Dneprodzerzhinsk College of Physical Education (Telmana Str. 17, Dneprodzerzhinsk, Ukraine).*

*In the article, the authors proposed their technique to draw up a diagram of the left ventricle working, according to the hypothesis of an active diastole of heart contraction evident from the load on heart during the exercises of Horting athletes. Before starting the drawing, it is necessary to determine an internal pressure in the cavity of the ventricle in the phase of filling. At determination of the energy losses due to the myocardial deformation, the left ventricle was considered as a thick-walled ellipsoid, loaded by the internal pressure. Myocardial elasticity modulus was determined depending on the pressure inside the ventricle. The average value of the pressure between the filling and ejection phases was taken for calculations. The authors provided a generalized indicator of the left ventricle working, which is the coefficient of effective performance of the myocardium. If the coefficient is below the norm, one can suggest presence of pathological disorders, due to changes in the elastic properties of the myocardium.*

**Key words:** *Horting, athletes, hypothesis, myocardium, cardiac contraction, left ventricle, gradient of the elasticity modulus, diagnosis, coefficient of efficiency, myocardial disorders, generalized quality index, internal pressure.*

**Віктор Чибісов, Юрій Рейдерман.**

***Построение диаграммы работы левого желудочка (на примере нагрузок хортингистов).***

*В статье предложена методика построения диаграммы работы левого желудочка, соответствующей гипотезе об активной диастоле сердечного сокращения на примере нагрузок на сердце во время тренировок хортингистов. Построению предшествует определение внутреннего давления в полости желудочка в фазу наполнения. При определении величин энергозатрат в результате деформаций миокарда левый желудочек рассматривался как толстостенный эллипсоид, нагруженный внутренним давлением. Модуль упругости миокарда принимался в зависимости от давления внутри желудочка, но допускалось усреднение его значения соответственно в интервале давлений в фазах наполнения и изгнания. В работе предложен обобщенный показатель качества работы левого желудочка – коэффициент полезного действия (К.П.Д.) миокарда. Если К.П.Д. ниже нормы, можно предположить наличие патологических отклонений, объясняемых изменением упругих свойств миокарда.*

**Ключевые слова:** *хортинг, спортсмены-хортингисты, гипотеза, миокард, сердечное сокращение, левый желудочек, градиент модуля упругости, диагностика, коэффициент полезного действия (К.П.Д.) миокарда, патологические отклонения, обобщенный показатель качества, давление.*