

УДК 612.13; 591.112

ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗ И ПЕРИОДОВ СЕРДЕЧНОГО ЦИКЛА ПОД ВЛИЯНИЕМ ДОЗИРОВАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

В.Н. Чапоров, Д.Е. Людоговская

Тверской государственной университет

Исследованы закономерности изменения фаз и периодов сердечного цикла, а также динамика корреляционной связи между изучаемыми показателями под влиянием дозированной физической нагрузки (функциональной пробы Мартинэ). Показано, что продолжительность периода изгнания в основном определяется временем фазы медленного изгнания, а по внутрисистолическому показателю изгнания можно судить о скорости нарастания внутрижелудочкового давления во время сердечной систолы.

Ключевые слова: кровообращение, фазы сердечной деятельности, мышечная работа

Несмотря на многочисленные исследования механизмов регуляции кровообращения при мышечной работе [3; 4; 7 и мн. др.], эта проблема остается весьма актуальной для экспериментальной и клинической физиологии. Одним из показателей эффективности работы сердца является соотношение временных характеристик сердечной деятельности. Однако этот вопрос не находит достаточного отражения в современной литературе.

В связи с этим целью настоящей работы стало изучение изменений продолжительности фаз и периодов сердечного цикла под влиянием дозированной мышечной нагрузки.

Методика. В эксперименте приняли участие 14 практически здоровых женщин в возрасте от 19 до 23 лет. После адаптации испытуемых к условиям эксперимента в течение 10 – 12 мин в положении сидя над местом пульсации сонной артерии укреплялся пульсоприемник сфигмоприставки, сейсмодатчик с помощью пояса закреплялся в области грудины. Записывались исходные сфигмограмма сонной артерии (СГ) и сейсмокардиограмма (СКГ), а также измерялось артериальное давление. В качестве дозированной мышечной нагрузки была использована функциональная проба Мартинэ: испытуемые выполняли 20 глубоких приседаний с выбрасыванием рук вперед за 30 с.

Сразу после приседаний и в течение последующих 3-х мин восстановления регистрировались те же показатели. Полученный материал подвергался традиционной расшифровке с определением длительности фазы изометрического сокращения (ФИС), фазы быстрого изгнания (ФБИ), фазы медленного изгнания (ФМИ), всего периода изгнания (ПИ), механической систолы (МС), диастолы (Д), сердечного цикла ($T=RR$). Кроме того, рассчитывались: внутрисистолический показатель изгнания ($ВСПИ=ПИ/МС \cdot 100\%$), время изгнания минутного объема ($ВИМО=ПИ \cdot ЧСС, с$), показатель максимального изгнания ($ПМИ=ФБИ/ПИ \cdot 100\%$) и показатель сократимости левого желудочка ($ПС=ДД/ФИС$) [2].

Для регистрации СГ и СКГ использовался ЭЛКАР-2, артериального давления и пульса – автоматический электрический тонометр.

Результаты исследования обработаны с использованием стандартных методов вариационной статистики.

Результаты исследования и их обсуждение. Выявлено, что основные показатели, такие, как продолжительность периода изгнания (ПИ), протодиастола (П), механическая систола (МС) и время изгнания минутного объема (ВИМО), были в преде-

лах нормы [1]. Однако фаза изометрического сокращения (ФИС) оказалась продолжительнее примерно в два раза (таблица) по сравнению с данными, приведенными в литературе [1]. Этот факт, по-видимому, можно объяснить различными положениями тела испытуемых в пространстве в наших и приведенных опытах.

Для утверждения этого предположения нами был проведен дополнительный эксперимент на десяти испытуемых этого же возраста, в котором была выявлена, существенная зависимость ФИС от положения тела. Так в горизонтальном положении ФИС равнялась $0,066 \pm 0,0025$ с, в вертикальном на 1, 2 и 5-й мин соответственно $0,068 \pm 0,0042$ с, $0,085 \pm 0,0029$ с ($p < 0,001$) и $0,083 \pm 0,0014$ с ($p < 0,001$).

Под влиянием применяемой функциональной пробы ФИС закономерно уменьшалась с $0,078 \pm 0,004$ до $0,045 \pm 0,03$ с ($p < 0,001$) и оставалась достоверно меньшей в течение всего периода восстановления. При этом под влиянием пробы Мратинэ период изгнания (ПИ) статистически значимо укорачивался с $0,23 \pm 0,007$ до $0,17 \pm 0,008$ с ($p < 0,001$), а при реституции он полностью восстанавливался. Аналогично вели себя и составляющие его фазы ФБИ и ФМИ. Они под влиянием пробы понижались ($p < 0,001$ и $p < 0,01$ соответственно), а при восстановлении увеличивались (таблица).

Продолжительность протодиастолы, которая отражает время закрытия полулунных клапанов, т.е. отделяет систолу от диастолы, сразу после физической нагрузки имела лишь тенденцию к увеличению с $0,042 \pm 0,03$ до $0,045 \pm 0,004$ с, на 2-й мин восстановления она достоверно возростала по сравнению с исходной до $0,057 \pm 0,005$ с ($p < 0,05$), а затем понижалась до $0,049 \pm 0,004$ с. Продолжительность диастолы (Д), сердечного цикла (Т) и механической систолы (МС) под влиянием пробы закономерно уменьшалась ($p < 0,001$). К 3-й мин восстановления Д и Т приближались к исходным значениям, а МС была значительно короче исходной величины (таблица).

Внутрицистический показатель изгнания (ВСПИ) под влиянием функциональной пробы вначале имел лишь тенденцию к увеличению с $75,09 \pm 1,00$ до $78,59 \pm 1,6\%$, на 2-й мин восстановления он возростал уже достоверно до $79,45 \pm 1,46\%$ ($p < 0,05$), а на 3-й мин увеличивался до $81,67 \pm 1,06\%$ ($p < 0,001$). Такая динамика ВСПИ связана с изменением ПИ, который после резкого укорочения в результате нагрузки стал активно восстанавливаться, и МС, которая в период реституции восстанавливалась медленнее, и полного восстановления не произошло.

Время изгнания минутного объема (ВИМО) и показатель максимального изгнания (ПМИ) под влиянием пробы изменялись противофазно. Если ВИМО сразу после нагрузки увеличивалось, то ПМИ уменьшался; на 2-й мин реституции ВИМО уменьшалось, а ПМИ увеличивался; на 3-й мин ВИМО увеличивалось, а ПМИ уменьшался (таблица). Такую динамику этих показателей объяснить трудно. Возможно, она связана с неодинаковыми сдвигами после нагрузки и неодинаковой скоростью восстановления составляющих их показателей (ПИ, ЧСС, ФБИ). Показатель сократимости левого желудочка (ПС) под влиянием функциональной пробы достоверно возростал с $1003,73 \pm 64,64$ до $1754,2 \pm 113,7$ мм рт. ст. ($p < 0,001$) и оставался выше исходного в течение всего восстановительного периода.

Длительность фаз сердечного цикла, наблюдаемая в нормальных условиях, определяется в первую очередь сократимостью миокарда. Также она может зависеть от целого ряда иных факторов, таких как сердечный ритм, сердечный выброс, высота артериального давления, возраст и другие причины [5]. Укорочение фазы изометрического сокращения главным образом связано с возрастанием скорости повышения внутрижелудочкового давления [3]. По нашим данным, это полностью подтверждается достоверным повышением ($p < 0,001$) показателя сократимости миокарда (ПС) во время пробы и высоким коэффициентом корреляции между ФИС и ПС в исходном состоянии $r = -0,85$, на 1, 2 и 3-й мин реституции соответственно $-0,81$, $-0,90$ и $-0,83$ ($p < 0,01$).

Таблица

Изменение фаз и периодов сердечного цикла под влиянием функциональной пробы Мартинэ ($\bar{X} \pm m$)

Показатели		ФИС, с	ФБИ, с	ФМИ, с	ПИ, с	П, с	Д, с	Т, с (RR)	МС, с	ВСПИ, %	ВИМО, с	ПМИ, %	ПС, мм рт.ст./с	ДД
Исх. сост.	\bar{X}	0,078	0,086	0,15	0,23	0,042	0,55	0,82	0,31	75,09	18,22	36,95	1003,7	74,6
	$\pm m$	0,004	0,005	0,006	0,007	0,003	0,04	0,05	0,01	1,00	0,57	1,89	64,6	2,8
1 мин восст.	\bar{X}	0,045	0,055	0,11	0,17	0,045	0,31	0,52	0,21	78,59	18,52	32,15	1754,2	75,7
	$\pm m$	0,003	0,005	0,005	0,008	0,004	0,02	0,02	0,01	1,60	0,85	1,89	113,07	2,8
	$P \leq$	0,001	0,001	0,01	0,001		0,001	0,001	0,001				0,001	
2 мин восст.	\bar{X}	0,050	0,065	0,13	0,19	0,057	0,40	0,65	0,24	79,45	17,48	34,12	1596,3	74,5
	$\pm m$	0,003	0,004	0,008	0,008	0,005	0,03	0,03	0,01	1,46	1,05	1,90	114,8	2,5
	$P \leq$	0,001	0,01		0,01	0,05	0,05	0,01	0,001	0,05			0,001	
3 мин восст.	\bar{X}	0,049	0,074	0,14	0,22	0,049	0,46	0,73	0,26	81,67	18,56	33,93	1501,8	70,8
	$\pm m$	0,003	0,006	0,007	0,007	0,004	0,04	0,04	0,01	1,06	0,59	2,29	82,4	2,0
	$P \leq$	0,001							0,01	0,001			0,001	

Примечание. ФИС – фаза изометрического сокращения; ФБИ – фаза быстрого изгнания; ФМИ – фаза медленного изгнания; ПИ – период изгнания; П – протодиастола; Д – диастола; RR – сердечный цикл; МС – механическая систола; ВСПИ – внутрисистолический показатель изгнания; ВИМО – время изгнания минутного объема; ПМИ – показатель максимального изгнания; ПС – показатель сократимости; ДД – диастолическое давление. Р – относительно исходного состояния.

Известно, что коронарные сосуды перфузируются вследствие наличия давления крови в аорте, источником которого являются сокращения левого желудочка. Следовательно, систола оказывает значительно большее влияние на кровоток в миокарде левого желудочка, чем на кровоток в "камерах низкого давления" правого желудочка и предсердий [7]. Как нам представляется, особенно сильное угнетение кровотока в левом желудочке должно происходить в фазу изометрического сокращения, когда давление в аорте снижается до минимума, а внутритканевое давление в миокарде (особенно в левом желудочке) становится максимальным. Полученные нами данные, отражающие достоверное укорочение ФИС, по-видимому, можно расценить как фактор приспособления к статистически значимому увеличению ПС, что отражает скорость нарастания внутривентрикулярного давления, а значит, и увеличение экстравазкулярного сжатия коронарных сосудов.

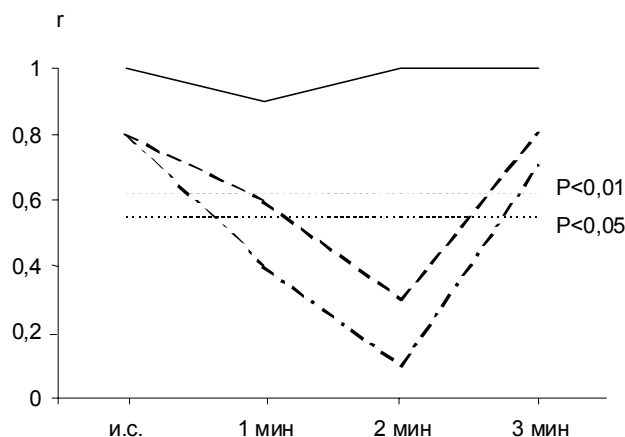


Рис. 1. Динамика коэффициента корреляций (r) между длительностью сердечного цикла (RR) и диастолой (Д) – жирная линия, между RR и механической систолой (МС) – штриховая линия, между МС и Д – штрих с точкой в исходном состоянии (И.С.) и в течение трех мин восстановительного периода (проба Мартинэ)

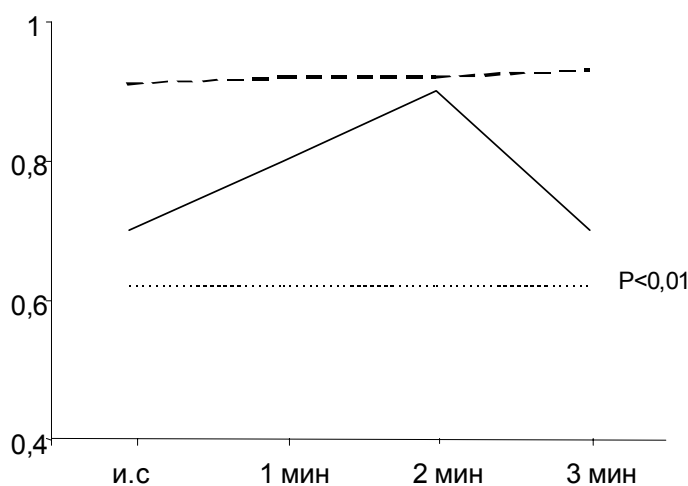


Рис. 2. Динамика коэффициента корреляций (r) между длительностью периода изгнания (ПИ) и фазой медленного изгнания (ФМИ) – жирная линия, между ПИ и механической систолой (МС) – штриховая линия в исходном состоянии (И.С.) и в течение трех мин восстановительного периода (проба Мартинэ)

Нами подтверждено общепризнанное мнение, что продолжительность сердечного цикла (RR) в большей степени зависит от диастолического периода (Д), чем от систолического. На это указывают достоверные коэффициенты корреляции между RR и Д ($p < 0,01$). Достоверная корреляционная связь между RR и МС, МС и Д наблюдалась лишь в состоянии покоя (рис. 1). Достоверные ($p < 0,01$) корреляции обнаружены также между периодом изгнания (ПИ), фазой медленного изгнания (ФМИ) и механической систолой (МС) (рис. 2).

Внутрисистолический показатель изгнания (ВСПИ) и период изгнания (ПИ) имели достоверные корреляции ($p < 0,05$) лишь сразу после выполнения функциональной пробы и на 2-й мин восстановления. Между ВСПИ и фазой изометрического сокращения (ФИС) отмечена ($p < 0,01$) отрицательная корреляционная связь (рис. 3). Достоверная отрицательная корреляционная связь между ФИС и ПС и между ВСПИ и ФИС указывает на то, что по динамике внутрисистолического показателя изгнания можно судить о скорости нарастания внутрижелудочкового давления во время систолы. Примечательно, что эти коэффициенты корреляции мало изменяются от состояния испытуемого (покой, работа, восстановление). Они сохраняют стабильность на всем протяжении эксперимента.

Укорочение сердечного цикла и составляющих его фаз, а также увеличение сократительной способности миокарда при мышечной работе (по Г.П.Конради, 4) происходит мгновенно с началом работы. Установлено, что эта срочная реакция обусловлена главным образом импульсацией с тормозящих сердце нейронов вагуса. Эффект усиления симпатической импульсации может присоединиться позднее [6].

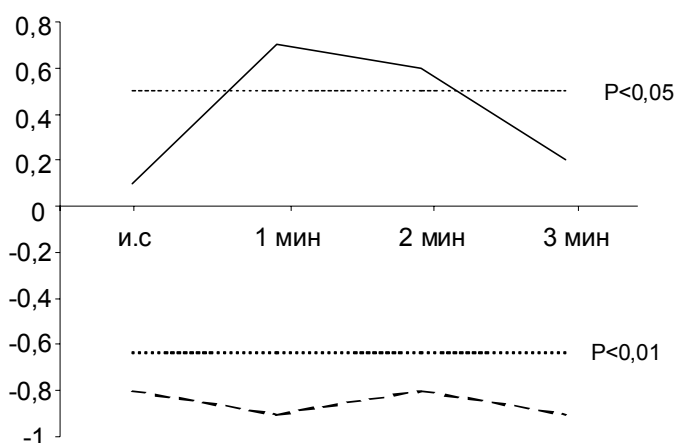


Рис. 3. Динамика коэффициента корреляций (r) между внутрисистолическим показателем изгнания (ВСПИ) и периодом изгнания (ПИ) – жирная линия, между ВСПИ и фазой изометрического сокращения (ФИС) – штриховая линия в исходном состоянии (И.С.) и в течение трех мин восстановительного периода (проба Мартинэ)

Таким образом, под влиянием дозированной мышечной нагрузки (функциональная проба Мартинэ) происходит закономерное уменьшение продолжительности сердечного цикла и составляющих его фаз. Наиболее стойкие изменения отмечены у ФИС и МС, величины которых были достоверно меньше в течение всего периода восстановления. Подтверждено, что длительность сердечного цикла имеет высокие коэффициенты корреляции с временем диастолы. С механической систолой RR коррелирует только в состоянии покоя. Показано, что длительность периода изгнания в основном определяется временем фазы медленного изгнания. Корреляционный анализ позволяет допустить, что по изменениям внутрисистолического показателя изгнания,

который представляет собой выраженное в процентах отношение ПИ к МС, можно судить о скорости нарастания давления внутри левого желудочка сердца во время систолы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брин В.Б., Зонис Б.Я. Физиология системного кровообращения. Ростов, 1984.
2. Дастан Х.П. Методы исследования гемодинамики у больных гипертензией // Артериальные гипертензии: Материалы советско-американского симпозиума. М., 1980. С. 94.
3. Карпман В.Л., Куколевский Г.М. Сердце и спорт. Очерки спортивной кардиологии. М., 1968.
4. Конради Г.П. Рефлекторная регуляция деятельности сердца с рецепторов скелетных мышц // Руководство по физиологии. Физиология кровообращения. Физиология сердца. Л., 1980. С. 501 – 503.
5. Куршаков Н.А., Прессман Л.П. Кровообращение в норме и патологии. М., 1969.
6. Маршал Р., Шеферд Дж. Функция сердца у здоровых и больных. М., 1972.
7. Фолков Э., Нил Б. Кровообращение. М., 1976.

CHANGING OF PHASES AND PERIODS OF CARDIAC CYCLE UNDER INFLUENCE OF DOSED PHYSICAL EXERCISE

V.N. Chaporov, D.E. Ludogovskaya

Tver State University

Patterns of change of phases and periods of cardiac cycle and dynamics of correlation link between tested indicators under influence of dosed physic activity (Functional Test of Martine) were examined.

It was demonstrated that duration of ejection period is defined by the time of the phase of the slow ejection. Inside systolic indicator of ejection gives evidence of rate of rise of intraventricular pressure during cardiac systole.