

УДК 612.171.1—08

Оценка сократимости миокарда с помощью метода трансторакальной импедансной реоплетизмографии

М. И. Гуревич, Л. Б. Доломан, А. В. Дмитриева

Основной характеристикой функционального состояния сердца является его сократительная активность, оценка которой позволяет выявить изменения сердечной деятельности уже в начальный период развития нарушений. Существующие инвазивные методы определения индексов сократимости достаточно адекватно характеризуют сократительное состояние миокарда [4]. Главным фактором, ограничивающим их широкое использование, является необходимость катетеризации полостей сердца, которую можно осуществить лишь в условиях крупных специализированных клиник. В связи с этим рядом исследователей предприняты попытки неинвазивной оценки сократительной функции миокарда с помощью апекскардиографии, поликардиографии, сфигмографии и др. [2, 3, 6]. Однако широкого применения эти методы в клинической практике не нашли.

К методу трансторакальной импедансной реоплетизмографии для оценки сократимости миокарда впервые обратились Сигел и Фабиен [8], а затем Кубичек и соавт. [7], указавшие на прямую зависимость между ударным выбросом крови и амплитудой дифференциальной реоплетизмограммы, на основании чего был сделан вывод о принципиальной возможности количественной характеристики сократительной функции сердца с помощью этого метода. Экспериментальные исследования, посвященные выяснению надежности использования реоплетизмографических индексов сократимости, не проводились.

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование возможности использования для характеристики сократительной функции сердца метода тетраполярной трансторакальной импедансной реоплетизмографии (ТТИРПГ), подробный анализ которого проведен нами ранее [1].

Методика

Исследования проведены на собаках, наркотизированных смесью уретана (0,5 г/кг) и хлоралозы (0,05 г/кг). Для измерения артериального давления в нисходящей части аорты животного и введения ему фармакологических препаратов катетеризировали бедренные артерию и вену. Для введения дополнительного объема жидкости в полость правого предсердия вводили катетер через яремную вену. После интубации и перевода животного на искусственную вентиляцию легких проводили левостороннюю торакотомию по четвертому межреберью и вскрывали перикард. Полость левого желудочка катетеризировали через ушко левого предсердия. Манжеточный датчик флоуметра РКЭ-2-БИ помещали на луковичку аорты. После гемостаза рану послойно ушивали и восстанавливали естественную вентиляцию легких. На шею и грудную клетку на уровне мечевидного отростка накладывали четыре реоплетизмографических электрода, в области верхушечного толчка располагали фонокардиографический датчик, на конечностях укрепляли электроды для регистрации электрокардиограммы.

Регистрировали следующие показатели гемо- и кардиодинамики: конечно-диастолическое давление (КДД), давление в полости левого желудочка ($p_{лж}$) и его первую производную (dp/dt), системное артериальное давление (САД), скорость изменения

кровотока в аорте (v), тетраполярную грудную реоплетизмограмму (Z) и ее первую производную (dZ/dt), фонокардиограмму (ФКГ) и электрокардиограмму (ЭКГ) во втором стандартном отведении. Регистрацию и запись исследуемых кривых осуществляли на восьмиканальном поликардиографе «Миниграф-82» на скорости 250 мм/с. Для получения реоплетизмограмм использовали реоплетизмограф РПГ2-02.

Рассчитывали и сопоставляли следующие пары индексов сократимости миокарда, зарегистрированные инвазивным и реоплетизмографическим (рео) методами.

1. Амплитуды первых производных кривых левожелудочкового давления и реоплетизмограммы ($dp/dt_{\max}$, гПа/с и $dZ/dt_{\max}$, Ом/с). Схема разметки кривых для расчета всех регистрируемых нами параметров представлена на рисунке.

2. Индекс Верарута (ИВ, с^{-1}) [3] и индекс сократимости (ИС, с^{-1}), предложенный нами как аналог ИВ и определяемый по формуле:

$$\text{ИС} = \frac{dZ/dt_{\max}}{Z_p}, \quad (1)$$

где Z_p — развиваемое сопротивление от начала периода изгнания до его проекции на реоплетизмограмму $dZ/dt_{\max}$, Ом.

3. Время от зубца R на ЭКГ до пиков dp/dt (T_p , с) и dZ/dt ($T_{\text{рео}}$, с).

4. Индексы ускорения изменения dp/dt и dZ/dt (ИУ, гПа/с² и ИУ_{рео}, Ом/с²), которые рассчитывали следующим образом:

$$\text{ИУ} = \frac{dp/dt_{\max}}{t}, \quad (2)$$

где t — время изменения скорости нарастания давления от 0 до максимума, с;

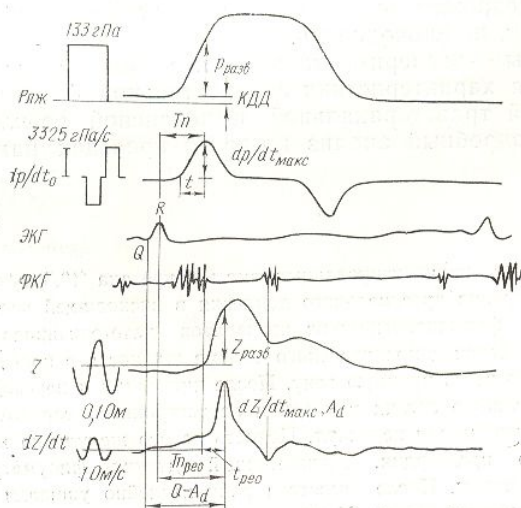
$$\text{ИУ}_{\text{рео}} = \frac{dZ/dt_{\max}}{t_{\text{рео}}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{рео}}$ — время развития максимальной скорости изменения сопротивления, с.

Сходный индекс для оценки сократимости миокарда (ИСМ) был введен Хезером (цит. по Мухарлямову и соавт. [5]):

$$\text{ИСМ} = \frac{A_d}{Q - A_d}, \quad (4)$$

где A_d — амплитуда первой производной реоплетизмограммы, Ом/с; $Q - A_d$ — интервал от зубца Q на ЭКГ до пика первой производной, с. Как видно из размерности индекса



(Ом/с²), он отражает ускорение, с которым происходит изменение dZ/dt за время, прошедшее от момента появления зубца Q на ЭКГ до максимума dZ/dt . Однако в значение $Q - A_d$ входит время, соответствующее изоволюмической фазе, в течение которой объем, а следовательно, и сопротивление не изменяются, т. е. $dZ/dt = 0$. В связи с этим более целесообразным для получения значения того ускорения, с которым

Схема разметки кривых для расчета параметров сократительной активности сердца (объяснение в тексте).

происходит изменение dZ/dt , является использование значения $t_{\text{рео}}$ -периода, в течение которого скорость изменения сопротивления увеличивается от 0 до максимума. В этом случае сохраняется физический смысл понятия ускорения и кроме того исключается возможность внесения погрешности в расчет индекса ускорения при нарушении соотношения между изоволюмической фазой и периодом изгнания. Кроме индексов сокра-

тимости миокарда мы рассчитывали сердечных сокращений (ЧСС, мин) и сопротивление (ОПС).

В качестве тестовых препаратов использовали изопропилнорадреналин (ИНА).

Полученные результаты общего анализа с использованием компьютера БЗ-21».

Результаты и их обсуждение

Основными критериями индексов сократимости являются, с одной стороны, индекс сократимости (ИС) и индекс сердечного объема и давления (ИСД) в ответ на различные воздействия. В качестве инотропного действия, мы использовали изопропилнорадреналин (табл. 1).

При введении 1 мкг/кг ИС (на 23 и 26 % соответственно) и ИСД (на 0,82); более чем двухкратно (г составлял 0,80), значительно; г составлял 0,75; лись на 22 и 21 % соответственно. Был отмечен значительный эффект, указывающий на то, что оказывает наряду с выражением вазоконстрикторного действия сократительной активности из представленных результатов реоплетизмографических индексов сократимости и выраженности в индексах, зарегистрированных методами.

При использовании смоделированного увеличения сердечного объема (г составлял 0,71), $dp/dt_{\max}$ и ИУ и ИУ_{рео} на 90 и 62 % (на 29 и 28 % соответственно) изменения постнагрузки не влияли на введение А индексы сократимости инвазивным и неинвазивным методами.

Введение специфического ингибитора сократительной активности сердца (СДД) и СДД (на 51 и 44 % соответственно) и СДД (на 121 %, соответственно) (г составлял 0,83), соответственно (г составлял 0,81), соответственно (г составлял 0,74). Тп и ИУ (на 24 и 26 % соответственно) соответственно (г составлял 0,90).

При введении глюконата кальция в начальную фазу реакции, в течение которой объем, а следовательно, и сопротивление не изменяются, т. е. $dZ/dt = 0$. В связи с этим более целесообразным для получения значения того ускорения, с которым

Таким образом, результаты указывают на то, что индекс сократимости можно использовать для оценки инотропной стимуляции и для подтверждения ус-

тимости миокарда мы рассчитывали среднее динамическое давление (СДД), частоту сердечных сокращений (ЧСС), минутный объем крови (МОК), общее периферическое сопротивление (ОПС).

В качестве тестовых препаратов использовали норадреналин (НА), адреналин (А), изопропиладреналин (ИНА) по 1 мкг/кг и глюконат кальция — 25 мг/кг.

Полученные результаты обрабатывали методами статистического и корреляционного анализа с использованием программируемого микрокалькулятора «Электроника БЗ-21».

Результаты и их обсуждение

Основными критериями информативности индексов сократимости являются, с одной стороны, их относительная устойчивость к «нагрузке» сердца объемом и давлением, с другой — чувствительность к инотропным воздействиям. В качестве препаратов, оказывающих положительное инотропное действие, мы избрали катехоламины (НА, А, ИНА) и глюконат кальция (табл. 1).

При введении 1 мкг/кг НА происходило достоверное увеличение ИВ и ИС (на 23 и 26 % соответственно; коэффициент корреляции r составлял 0,82); более чем двухкратное возрастание $dp/dt_{\text{макс}}$ и $dZ/dt_{\text{макс}}$ (r составлял 0,80), значительный рост ИУ и ИУ_{рео} (на 160 и 132 % соответственно; r составлял 0,75). При этом Тп и Тп_{рео} достоверно уменьшались на 22 и 21 % соответственно (r составлял 0,77). В то же время был отмечен значительный подъем СДД и ОПС. Приведенные результаты указывают на то, что введение смешанного адреномиметика НА оказывает наряду с выраженным положительным инотропным эффектом вазоконстрикторное действие, т. е. происходит одновременное усиление сократительной активности и увеличение постнагрузки. Как видно из представленных результатов, изменения предлагаемых нами реоплетизмографических индексов сократимости миокарда по направленности и выраженности изменений существенно не отличаются от индексов, зарегистрированных и рассчитанных с помощью инвазивной методики.

При использовании смешанного адреномиметика А мы зарегистрировали достоверное увеличение ИВ и ИС на 49 и 33 % соответственно (r составлял 0,71), $dp/dt_{\text{макс}}$ и $dZ/dt_{\text{макс}}$ на 69 и 44 % (r составлял 0,74), ИУ и ИУ_{рео} на 90 и 62 % (r составлял 0,73), Тп и Тп_{рео} снижались на 29 и 28 % соответственно (r составлял 0,73). При этом значительного изменения постнагрузки не наблюдалось. Таким образом, и в случае введения А индексы сократимости миокарда, регистрируемые инвазивным и неинвазивным методами, также изменялись сходным образом.

Введение специфического β -адреномиметика ИНА вызывало значительное снижение СДД и ОПС. При этом ИВ и ИС увеличивались на 51 и 44 % соответственно (r составлял 0,79), ИУ и ИУ_{рео} — на 122 и 121 %, соответственно (r составлял 0,74), в то время как Тп и Тп_{рео} падали на 24 и 26 % соответственно (r составлял 0,80). Таким образом, снижение постнагрузки существенно не отражается на выраженности изменений показателей сократительной способности миокарда.

При введении глюконата кальция наблюдалось увеличение сократительной активности сердца как на фоне неизменных СДД, МОК и ОПС в начальную фазу реакции, так и при их увеличении в дальнейшем. При этом зарегистрирован достоверный рост ИВ и ИС на 15 и 16 % соответственно (r составлял 0,83), $dp/dt_{\text{макс}}$ и $dZ/dt_{\text{макс}}$ — на 38 и 34 % соответственно (r составлял 0,81), ИУ и ИУ_{рео} — на 60 и 50 % соответственно (r составлял 0,74). Тп и Тп_{рео} — снизились на 13 и 17 % соответственно (r составлял 0,90).

Таким образом, результаты экспериментальных исследований указывают на то, что индексы сократимости миокарда, рассчитанные с помощью неинвазивного метода ТТИРПГ, достаточно чувствительны к инотропной стимуляции и мало зависят от изменений постнагрузки.

Для подтверждения устойчивости рассчитываемых нами индексов

Таблица 1. Сдвиги основных параметров кардио- и гемодинамики при интравенозной стимуляции сердца ($M \pm m$)

Параметр	Исходные данные $n=6$	Введение ИА $n=6$	Исходные данные $n=4$	Введение: А $n=4$	Исходные данные $n=6$	Введение ИНА $n=6$	Исходные данные $n=6$	Введение глюкозата каль- ция $n=6$
ЧСС, мин ⁻¹	188,5±20,1	161,8±24,1 $P > 0,05$	140,7±10,6	127,5±5,9 $P > 0,05$	164,4±13,7	209,9±17,3 $P > 0,05$	167,5±23,4	168,7±24,5 $P > 0,05$
МОК, л/мин	1,975±0,339	1,946±0,359 $P > 0,05$	1,534±0,256	1,662±0,253 $P > 0,05$	1,541±0,182	1,652±0,217 $P > 0,05$	1,439±0,182	1,489±0,169 $P > 0,05$
СДД мм рт. ст. гПа	98,4±4,3 130,9±5,7	119,5±5,9 158,9±7,8 $P < 0,05$	109,2±2,5 145,2±3,4	118,0±7,7 156,9±10,2 $P > 0,05$	92,1±3,4 122,6±4,7	60,0±4,2 79,8±5,6 $P < 0,001$	99,8±3,2 132,7±4,3	99,4±5,7 132,2±7,6 $P > 0,05$
ОПС, мН·с·м ⁻⁷	4404±265	5624±302 $P < 0,05$	5700±491	5674±508 $P > 0,05$	4906±344	3000±248 $P < 0,05$	5732±399	5280±487 $P > 0,05$
$dp/dt_{\max}$ мм рт. ст./с гПа/с	3840±652 5119±867	9186±817 12217±1087 $P < 0,01$	4717±489 6274±650	7682±455 10217±605 $P < 0,05$	3219±461 4281±613	6485±715 8625±951 $P < 0,05$	4504±461 5990±613	6223±428 8277±569 $P < 0,05$
$dZ/dt_{\max}$, Ом/с	1,43±0,04	3,36±0,47 $P < 0,01$	2,8±0,27	3,83±0,18 $P < 0,05$	2,16±0,56	3,6±0,39 $P < 0,05$	2,36±0,1	3,05±0,2 $P < 0,05$
Тп, с	0,047±0,002	$r=0,798$ 0,036±0,002 $P < 0,05$	0,081±0,003	0,057±0,001 $r=0,743$ $P < 0,01$	0,065±0,005	0,044±0,003 $r=0,791$ $P < 0,05$	0,070±0,002	0,057±0,003 $r=0,809$ $P < 0,05$
Тпрео, с	0,101±0,008	0,077±0,004 $P < 0,05$	0,119±0,005	0,086±0,001 $P < 0,01$	0,111±0,004	0,076±0,006 $P < 0,01$	0,104±0,005	0,085±0,004 $P < 0,05$
ИБ, с ⁻¹	62,70±2,00	$r=0,772$ 77,40±4,32 $P < 0,05$	40,20±2,43	59,20±3,87 $P < 0,05$	48,93±6,89	79,05±9,89 $P < 0,05$	53,00±1,20	58,00±1,10 $P < 0,05$
ИС, с ⁻¹	44,60±2,20	56,17±3,77 $P < 0,05$	33,10±3,01	43,80±4,63 $P < 0,05$	33,80±3,15	51,47±7,72 $P < 0,05$	46,30±1,20	51,80±1,38 $P < 0,05$
ИУ мм рт. ст./с ² гПа/с ²	141,50±23,1 188,2±30,7	374,10±66,7 497,6±88,7 $P < 0,05$	163,3±19,0 217,2±25,3	283,8±13,8 377,5±18,4 $P < 0,05$	100,4±17,7 133,5±23,5	252,4±49,3 335,7±65,6 $P < 0,05$	141,2±14,6 187,8±19,4	223,0±23,2 296,6±30,9 $P < 0,05$
ИУ _{рео} , Ом/с ²	59,2±5,2	143,3±13,4 $P < 0,05$ $r=0,748$	112,8±11,1	176,3±13,6 $P < 0,05$ $r=0,728$	79,0±10,1	151,0±11,1 $P < 0,05$ $r=0,741$	85,5±10,4	124,7±14,6 $P < 0,05$ $r=0,743$

к изменениям пред- и постэкспериментов, результаты

Увеличение преднагрузки лиглюкина в полость правого предсердия транзитно увеличивает же всех рассчитываемых параметров, достоверными.

Таблица 2. Сдвиги основных параметров пред- и постнагрузки ($M \pm m$)

Параметр	Исходные дан- $n=6$
УОК, л·10 ⁻³	12,3±0,6
СДД мм рт. ст. гПа	96,3±3,2 128,1±4,2
$dp/dt_{\max}$ мм рт. ст. гПа/с	4560±440 6065±585
$dZ/dt_{\max}$, Ом/с	2,62±0,52
Тп, с	0,059±0,00
Тпрео, с	0,102±0,00
ИБ, с ⁻¹	59,2±3,1
ИС, с ⁻¹	32,4±2,9
ИУ мм рт. ст. гПа/с ²	128±12,7 170±16,9
ИУ _{рео} , Ом/с ²	103±7,2

Для воспроизведения течения нисходящей части сердечных циклов значения времени рассчитываемые как показатели сократительной устойчивости изучаемых и пред- и постнагрузки сви сократительной активности

Сопоставляя изменения с изменениями индексов методом, при интравенозной стимуляции сердца, высокую информативность показателей сократительной активности метода ТТИРПГ. безвредность метода, его воспроизводимость результатов реоплетизмографии, клинической медицины

к изменениям пред- и постнагрузки было проведено еще две серии экспериментов, результаты которых представлены в табл. 2.

Увеличение преднагрузки моделировали введением 20—30 мл полиглюкина в полость правого предсердия. При этом было зарегистрировано транзитное увеличение ударного выброса (на 32 %). Изменения же всех рассчитываемых нами индексов сократимости оказались недостоверными.

Таблица 2. Сдвиги основных параметров кардио- и гемодинамики при изменении пред- и постнагрузки ($M \pm m$)

Параметр	Исходные данные n=6	Введение дополнительного объема n=6	Исходные данные n=6	Коарктация аорты n=6
УОК, л·10 ⁻³	12,3±0,6	16,2±0,8	9,4±0,7	3,9±0,5
СДД		P<0,05		P<0,001
мм рт. ст.	96,3±3,2	102,4±5,3	70,6±2,0	106,7±0,2
гПа	128,1±4,2	136,2±7,1	93,9±2,9	141,9±0,3
dp/dt _{макс}		P<0,05		P<0,001
мм рт. ст.	4560±440	4724±522	4516±387	4494±440
гПа/с	6065±585	6283±694	6006±515	5977±585
		P>0,05		P>0,05
dZ/dt _{макс} , Ом/с	2,62±0,52	2,76±0,20	2,29±0,41	2,21±0,47
		P>0,05		P>0,05
Тп, с	0,059±0,002	0,060±0,003	0,052±0,005	0,052±0,004
		P>0,05		P>0,05
Тпрео, с	0,102±0,005	0,105±0,006	0,079±0,006	0,082±0,009
		P>0,05		P>0,05
ИБ, с ⁻¹	59,2±3,1	57,4±3,4	79,8±8,5	80,2±9,6
		P>0,05		P>0,05
ИС, с ⁻¹	32,4±2,9	31,8±2,7	73,4±7,6	72,2±7,7
ИУ		P>0,05		P>0,05
мм рт. ст.	128±12,7	132±14,8	152±23,4	144±20,0
	170±16,9	176±19,7	202±31,1	192±26,6
		P>0,05		P>0,05
гПа/с ²				72±8,2
ИУ _{рео} , Ом/с ²	103±7,2	111±9,4	76±8,2	P>0,05
		P>0,05		

Для воспроизведения увеличения постнагрузки создавалась коарктация нисходящей части аорты. При этом в первые после коарктации сердечные циклы значения УОК падали, а СДД — возрастали. В то же время рассчитываемые как инвазивным, так и неинвазивным методами показатели сократительной активности миокарда заметно не изменялись. Устойчивость изучаемых индексов сократимости сердца при изменениях пред- и постнагрузки свидетельствует об их пригодности для оценки сократительной активности миокарда.

Сопоставляя изменения реоплетизмографических индексов сократимости с изменениями индексов сократимости, зарегистрированных инвазивным методом, при инотропных воздействиях коэффициенты корреляции колебались в пределах 0,71—0,9. Это указывает на достаточно высокую информативность и точность предлагаемого нами комплекса показателей сократительной активности сердца, рассчитываемых с помощью метода ТТИРПГ. Представленные результаты и абсолютная безвредность метода, его доступность, простота расчетов и хорошая воспроизводимость результатов позволяют полагать, что рассчитанные с помощью реоплетизмографического метода индексы сократимости миокарда найдут применение в экспериментальной физиологии, фармакологии, клинической медицине, а также в физиологии труда и спорта.