

Влияние размера электродов на эффективность электрической кардиоверсии пароксизмальной фибрилляции предсердий

Аннотация

Исследовано влияние размера электродов на сопротивление грудной клетки и зависимость от дозы эффективность электрической кардиоверсии фибрилляции предсердий длительностью до 48 ч у больных ишемической болезнью сердца.

Введение

Широкое использование электрической кардиоверсии (ЭКВ) для устранения фибрилляции предсердий (ФП) требует детального изучения основных кардиальных и экстракардиальных факторов, влияющих на ее эффективность и безопасность. Среди экстракардиальных факторов ведущее место принадлежит форме электрического импульса и его дозоопределяющим параметрам. Наряду с формой импульса на эффективность низкоэнергетических разрядов и общий успех ЭКВ могут влиять сопротивление грудной клетки (СГК), расположение, форма и размер (диаметр) электродов. Поскольку до настоящего времени отсутствуют клинические данные об их оптимальных размере и форме, рекомендуется использовать электроды диаметром от 8,0 до 12 см [1], [2]. Вместе с тем размер (диаметр) электродов может быть одной из важных детерминант эффективной энергии, в первую очередь из-за его влияния на СГК и величину трансторакального тока. Хотя электрический разряд обычно измеряют в единицах энергии, успех дефибрилляции сердца определяет прежде всего сила тока, которая деполяризует критическую массу миокарда [3]. Несмотря на многолетнее применение отечественного импульса биполярной квазисинусоидальной формы (БПКС), данные о его дозозависимой эффективности при устранении пароксизмальной ФП длительностью до 48 ч у больных ишемической болезнью сердца (ИБС) с различным СГК представлены только в одной публикации [4]. При этом авторы для проведения ЭКВ использовали круглые электроды только большого диаметра (12 см) и не оценивали ее эффективность в зависимости от величины тока первой фазы БПКС-импульса.

Таким образом, в настоящее время отсутствуют данные о влиянии размера (диаметра) электродов, в частности левого (предсердного) электрода, на СГК и эффективность БПКС-импульса в зависимости от дозы энергии заряда дефибриллятора и величины трансторакального тока, проходящего между электродами, при устранении пароксизмальной ФП.

Материалы и методы

В исследование были включены 133 больных с пароксизмальной ФП, которые поступали в отделение неотложной кардиологии ГКБ № 1 им. Н.И. Пирогова в 2008-2012 гг. для проведения ЭКВ. Длительность эпизодов ФП составляла 5...48 ч. Критерии включения больных в исследование: наличие ИБС с различными клиническими формами и течением, включая острую (ОСН) и хроническую сердечную недостаточность (ХСН). Критерии исключения больных из исследования: крайне тяжелая стадия острого и хронического альвеолярного отека легких и/или двустороннего гидроторакса, наличие патологии щитовидной железы (тиреотоксикоз). Для ЭКВ использовали круглые «ручные» электроды, которые располагали в переднебоковой позиции. Больные в зависимости от диаметра левого (предсердного) электрода были распределены в 2 группы: I – основную и II – контрольную (табл. 1). В I группе диаметр предсердного электрода (ПЭ) составлял 8,5 см (площадь – 57 см²), правого – 12 см (площадь – 113 см²; суммарная площадь – 170 см²). Во II группе диаметр обоих электродов равнялся 12 см (суммарная площадь – 226 см²). У всех больных правый электрод располагали под ключицей с центром по средней ключичной линии. Предсердный электрод располагали с центром по левой средней подмышечной линии: у боль-

Таблица 1

Характеристика больных

Демографические и клинические данные ¹	Диаметр предсердного электрода	
	I группа – 8,5 см (69 больных)	II группа – 12 см (64 больных)
Возраст, лет	52...76	49...80
Мужчины/женщины	40/35	45/41
Количество эпизодов ФП длительностью 4...24 ч	46 (67 %)	49 (76 %)
Размер (переднезадний) левого предсердия, мм	38...57 M = 46,5; σ = 3,8	40...59 M = 47,4; σ = 3,9
Фракция выброса левого желудочка, %	26...58 M = 48; σ = 6,0	27...57 M = 47; σ = 5,4
Острая стадия инфаркта миокарда	12 (17 %)	14 (22 %)
Постинфарктный кардиосклероз	15 (22 %)	12 (19 %)
Гипертоническая болезнь	45 (65 %)	40 (63 %)
Симптомы и/или клинические признаки сердечной недостаточности	61 (88 %)	58 (91 %)
Клинически выраженная острая (ОСН) и хроническая (ХСН) сердечная недостаточность ²	18 (28 %)	20 (31 %)
Тяжелая ОСН и ХСН	8 (12 %)	6 (9 %)
Амиодарон внутривенно	35 (51 %)	37 (58 %)
Экстренная/неотложная кардиоверсия	11/58	9/55

¹ Межгрупповые различия статистически незначимы ($p = 0,18...0,43$).

² ХСН IIA стадии по Стражеско-Василенко, ОСН II стадии по классификации Killip.

ных II группы (диаметр ПЭ – 12 см) на уровне верхушки сердца и в I группе (диаметр ПЭ – 8,5 см) – выше на два ребра. Для проведения ЭКВ использовали дефибриллятор ВДС-5011 (Польша), генерирующий БПКС-импульс, оснащенный измерительным модулем параметров импульса [4]. Во время разрядов регистрировали: набираемую (Эн) и выделяемую (Эв) на большую энергию в джоулях, пиковый ток первой фазы БПКС-импульса в амперах и сопротивление грудной клетки (СГК) в омах. Затем рассчитывали среднюю плотность тока под предсердным электродом (отношение силы тока к площади электрода в амперах на сантиметр квадратный). В зависимости от состояния больного проводили неотложную ЭКВ, синхронизированную с QRS-комплексом, или экстренную ЭКВ. До проведения ЭКВ (кроме экстренной) больным вводили внутривенно препараты калия, магния и 54 % больных – амиодарон. Для седации и анестезии использовали диазепам 10...20 мг и пропофол 2...4 мг/кг (до 200 мг) или их комбинацию. У больных с легкой степенью сердечной недостаточности (или без ее клинических признаков) и длительностью ФП менее 24 ч доза 1-го заряда дефибриллятора составляла 40 Дж, в остальных случаях – 55 Дж кроме больных с тяжелой ОСН и ХСН. У последних доза 1-го заряда составляла 85 Дж. Доза 2-го заряда (с учетом длительности ФП и состояния больного) составляла 55...115 Дж; 3-го заряда – 115...165 Дж. Затем, если необходимо, наносили 4-й, 5-й разряды (Эн = 165...195 Дж). При устойчивой ФП максимальный разряд (Эн = 195 Дж) наносили до двух раз. Успех ЭКВ оценивали по восстановлению синусового ритма или появлению по крайней мере двух последовательных предсердных зубцов P в течение 30 с после нанесения разряда [5]. У всех больных мониторировали электрокардиограмму, частоту сердечных сокращений и артериальное давление. Основная гипотеза исследования состоит в следующем: при адекватном расположении ПЭ диаметром 8,5 см низкоэнергетические разряды БПКС-формы (Эн ≤ 115 Дж) могут обеспечивать такой же суммарный успех ЭКВ, как и при ПЭ диаметром 12 см, а именно > 85 % [4]. Статистический анализ данных проводили с использованием параметрических и непараметрических критериев для двух независимых групп: t-критерия

Стьюдента, точного метода Фишера, сравнения относительных частот изучаемых признаков в двух группах. Рассчитывали математическое ожидание (M) и среднеквадратическое значение (σ) изучаемых параметров импульса и СГК. Различия считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$, а при уровне $p < 0,1$ – тенденцией к различию. Для статистического анализа использовали пакет прикладных программ Statistica/w 6.0 фирмы «Stat Soft Inc.» и Excel.

Результаты

Влияние размера предсердного электрода на эффективные параметры БПКС-импульса и сопротивление грудной клетки

При использовании у больных I и II групп предсердного электрода различного диаметра средние значения Эн, Эв и пикового тока существенно не различались. Вместе с тем статистически значимые различия были выявлены между плотностью тока под предсердным электродом (ПТнэ) и СГК. Так, при использовании ПЭ диаметром 8,5 см ПТнэ была значительно больше (на 50 %) по сравнению с данными для ПЭ диаметром 12 см [(0,21 ± 0,07) и (0,14 ± 0,04) А/см² соответственно, $p < 0,001$]. Суб- и максимальные значения ПТнэ в I группе у 9 (13 %) больных находились в диапазоне от 0,32 до 0,51 А/см², а минимальные у 8 – в диапазоне от 0,11 до 0,16 А/см². Во II группе (диаметр ПЭ – 12 см) только у 1 больного ПТнэ достигала максимального значения 0,32 А/см², а минимального у 4 – 0,08...0,09 А/см². СГК при использовании ПЭ диаметром 8,5 см, по сравнению с данными для ПЭ диаметром 12 см, было больше в среднем на 14 % (M = 90; σ = 18 и M = 79; σ = 19 Ом соответственно, $p < 0,05$). При этом минимальные и максимальные значения СГК существенно не различались (43...154 и 42...145 Ом соответственно).

Согласно нашим исследованиям [4], при нанесении разрядов меньше 85 Дж через электроды диаметром 12 см СГК оказывает статистически и клинически значимое влияние на их эффективность. В связи с этим мы провели сравнение СГК и

Таблица 2

Значения эффективных параметров биполярного квазисинусоидального импульса во время устранения пароксизмальной ФП низкоэнергетическими разрядами (40...55 Дж) у больных с различным диаметром предсердного электрода (диапазон значений, M и σ)

Доза энергии заряда, Дж	Энергия, выделяемая во время разряда, Дж	Пиковый ток, А	Средняя плотность тока под предсердным электродом, А/см ²	Сопротивление грудной клетки, Ом
Диаметр предсердного электрода 8,5 см, правого – 12 см (I группа, подгруппа Ia, 38 больных)				
40...55 M = 50; σ = 3,6	25...52 M = 38; σ = 6,0	7...15 * M = 11,7; σ = 1,8	0,11...0,25 * M = 0,19; σ = 0,03	65...121 * M = 91; σ = 9,6
Диаметр предсердного и правого электродов 12 см (II группа, подгруппа IIa, 33 больных)				
40...55 M = 49; σ = 3,3	27...55 M = 42; σ = 6,7	8,5...18 M = 13,2; σ = 2,2	0,08...0,15 M = 0,12; σ = 0,01	42...110 M = 72; σ = 5,0

* Межгрупповые различия, $p < 0,02$.

Таблица 3

Влияние размера предсердного электрода на успех кардиоверсии ФП длительностью до 48 ч в зависимости от дозы энергии заряда дефибриллятора

Доза энергии заряда, Дж	Успех кардиоверсии, % *		Различия, %
	Диаметр предсердного электрода		
	8,5 см (69 больных)	12 см (64 больных)	
40...55	55	52	+3
≤ 85	83	84	-1
≤ 115	90	90,6	-0,6
≤ 165	95,6	95,3	0,3
≤ 195	100	97	+3

* Успех 2...5 доз включает в себя успех предыдущих разрядов; при устойчивой ФП максимальный разряд (Эн = 195 Дж) наносили 2 раза.

эффективности БПКС-импульса у больных I и II групп, которым наносили разряды энергией 40 и 55 Дж (табл. 2, подгруппы Ia и IIa). Как видно из таблицы, при использовании ПЭ диаметром 8,5 см СГК оказалось на 26 % больше ($p < 0,001$), чем у больных с ПЭ диаметром 12 см, а значения эффективного тока, наоборот, на 11,4 % меньше ($p < 0,002$). При этом ПТнэ – 8,5 см значительно (на 58 %) превышала ПТнэ – 12 см. У остальных больных I (31) и II (31) групп с увеличением дозы разрядов от 85 до 195 Дж межгрупповые различия СГК и значений эффективного тока уменьшались и становились статистически незначимы. При этом плотность эффективного тока у больных с ПЭ с диаметром 8,5 см была на 47 % ($p < 0,001$) больше, чем с ПЭД диаметром 12 см.

Влияние размера предсердного электрода на успех кардиоверсии ФП в зависимости от дозы энергии заряда дефибриллятора

В табл. 3 приведены данные дозозависимого успеха ЭКВ у больных I и II групп. Как видно из таблицы, межгрупповые различия суммарной эффективности 1...5 доз составляют незначительную величину (1...3 %). Результаты исследования показали очень высокий и практически равный суммарный успех низкоэнергетических разрядов ($Эн \leq 115$ Дж): 90 % – диаметр ПЭ – 8,5 см и 91 % – диаметр ПЭ – 12 см. При этом общий успех ЭКВ составил у больных I группы (диаметр ПЭ – 8,5 см) 100 %, во II группе (диаметр ПЭ – 12 см) – 97 %. Следует отметить, что разряды максимальной энергии ($Эн = 195$ Дж) наносили в каждой из групп только 3 больным. В I группе (диаметр ПЭ – 8,5 см) они оказались эффективными с первой попытки у всех 3 больных, а во II – только у 1 из 3; у остальных двух ФП не смогли устранить двумя максимальными разрядами.

Влияние размера предсердного электрода на эффективность БПКС-импульса в зависимости от величины трансторакального тока

Как видно из табл. 4, при малых значениях тока (диапазон 7...12 А) размер предсердного электрода оказывает статистически и клинически значимое влияние на успех ЭКВ. Так, при его значениях ≤ 11 А эффективность импульса у больных I группы (диаметр ПЭ – 8,5 см) по сравнению со II группой оказалась на 21 % больше (успех ЭКВ 32 и 11 % соответственно) и

при значениях ≤ 12 А – на 22 %, $p < 0,02$. С увеличением силы тока до 13 А межгрупповые различия уменьшаются до 13 %, а при его значениях от 14 до 31 А становятся статистически незначимы.

Следует отметить, что в обеих группах больных при значениях тока ≤ 20 А установлена высокая суммарная эффективность БПКС-импульса: у больных I группы (диаметр ПЭ – 8,5 см) – 91 %, у больных II группы (диаметр ПЭ – 12 см) – 93 %. У 2 больных II группы с неэффективной ЭКВ максимальные значения силы тока составили 23,5 А (ПТнэ – 0,20 А/см², СГК – 88 Ом) и 27 А (ПТнэ – 0,24 А/см², СГК – 73 Ом). При этом максимальная величина эффективного тока во II группе достигала 35,5 А (ПТнэ – 0,32 А/см²), а в I группе – 31 А (ПТнэ – 0,51 А/см², СГК – 57 Ом). Эти данные свидетельствуют о том, что при нанесении 2 больным с неэффективной ЭКВ максимальных разрядов через ПЭ диаметром 12 см плотность тока в предсердиях, по-видимому, оказалась ниже пороговых значений.

Обсуждение

Как показали результаты нашего исследования, только при нанесении первых разрядов энергией 40...55 Дж уменьшение диаметра ПЭ с 12 до 8,5 см приводит к значительному увеличению СГК (на 26 %) и одновременному снижению амплитуды эффективного тока (на 11,4 %) (табл. 3). Вероятно поэтому столь значительное увеличение СГК не привело к уменьшению успеха разрядов 40...55 Дж. Наиболее вероятная причина уменьшения эффективной амплитуды тока при использовании ПЭ диаметром 8,5 см – его более высокая плотность под электродом. Более высокой плотностью тока можно объяснить и большую эффективность его низкоамплитудных значений ($\leq 11...13$ А). По данным [3], [6], диаметр и расположение электродов определяют плотность тока в области сердца и величину его сердечной фракции. При этом именно плотность тока авторы рассматривают в качестве главного фактора, определяющего успех дефибрилляции сердца. По данным R. Kerber и соавт. [7], при использовании правого электрода диаметром 13 см и левого (предсердного) – 8,5 см успех кардиоверсии ФП импульсом монополярной формы ($Эн = 100...460$ Дж) составил 100 % (24 больных). Следует отметить, что в нашем исследовании при использовании аналогичных по размеру электродов успех кардиоверсии ФП биполярным импульсом ($Эн = 40...195$ Дж) также составил 100 % (69 больных). По-видимому, это не случайное совпадение успеха ЭКВ. Согласно исследованиям на животных [3], [6], оптимальным размером электрода для дефибрилляции желудочков является электрод, площадь которого равна площади поперечного сечения сердца. Однако если электроды чрезмерно большие, то плотность тока, проходящего через миокард, может оказаться недостаточной для восстановления синусового ритма. Последнее, по-видимому, является одной из главных причин неэффективной кардиоверсии ФП у двух (из 64) больных II группы, в которой использовали предсердный электрод диаметром 12 см.

Заключение

Установлено, что при проведении ЭКВ импульсом БПКС-формы ФП длительностью до 48 ч использование ПЭ диаметром 8,5 см по сравнению с большим диаметром (12 см) клинически значимо увеличивает эффективность низкоамплитудных значений тока (диапазон 7...13 А) и, по-видимому, общий успех ЭКВ (100 %). Последнее может быть связано с большей плотностью тока под предсердным электродом меньшего диаметра.

Установлено, что только при нанесении первых разрядов (40...55 Дж) уменьшение диаметра ПЭ с 12 до 8,5 см приводит к значительному увеличению СГК (на 26 %). Однако вследствие большей эффективности низкоамплитудных значений тока при использовании ПЭ диаметром 8,5 см увеличение СГК не сопровождается снижением успеха первых разрядов.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 2418.

Таблица 4

Сравнение эффективности БПКС-импульса у больных с ФП длительностью до 48 ч в зависимости от величины трансторакального тока и диаметра предсердного электрода

Величина тока, А	Успех кардиоверсии, % *		Различия, %
	Диаметр предсердного электрода		
	8,5 см (69 больных)	12 см (64 больных)	
≤ 11	32	11	+21 ¹
≤ 12	42	20	+22 ²
≤ 13	55	42	+13 ³
≤ 14	65	56,3	+9
≤ 15	75	69	+6
≤ 17	82,6	79,7	+2,9
≤ 20	91	93	-2
≤ 22	94	95,3	-1,3
≤ 26	98,6	95,3	+3
≤ 31	100	-	-
≤ 36	-	97	-

* Для каждого значения тока представлен кумулятивный успех ЭКВ: ¹ – $p = 0,0017$; ² – $p = 0,006$; ³ – $p = 0,07$.

Список литературы:

1. Fuster V., Rydén L.E., Asinger R.W. et al. ACC/AHA/ESC guidelines for the management of patients with atrial fibrillation: Executive summary / A Report of the American College of Cardiology / American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the European Society of Cardiology Committee for Practice Guidelines and Policy Conferences (Committee to Develop Guidelines for the Management of Patients with Atrial Fibrillation): Developed in Collaboration with the North American Society of Pacing and Electrophysiology // J. Am. Coll. Cardiol. 2001. Vol. 38. № 4. PP. 1231-1266.
2. Link M.S., Atkins D.L., Passman R.S. et al. Part 6: Electrical therapies: Automated external defibrillators, defibrillation, cardioversion, and pacing: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care // Circulation. 2010. Vol. 122. № 18. Suppl. 3. PP. S706-S719.
3. Defibrillation of the Heart ICDs, AEDs, and Manual / Tacker W.A., Jr. (ed.). – St. Louis: Mosby-Year Book, 1994. 382 p.
4. Востриков В.А., Разумов К.В. Эффективность электрической кардиоверсии пароксизмальной фибрилляции предсердий при использовании биполярного квазисинусоидального импульса у больных ишемической болезнью сердца // Общая реаниматология. 2014. Т. 10. № 2. С. 41-49.
5. Camm A.J. et al. European Heart Rhythm Association, European Association for Cardio-Thoracic Surgery. Guidelines for the management of atrial fibrillation: The Task Force for the Management of Atrial Fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) // Eur. Heart J. 2010. Vol. 31. № 19. PP. 2369-2429.
6. Hoyt R., Grayzel J., Kerber R. Determinants of intracardiac current in defibrillation. Experimental studies in dogs // Circulation. 1991. Vol. 64. № 4. PP. 818-823.
7. Kerber R.E., Jensen S.R., Grayzel J. et al. Elective cardioversion: Influence of paddle-electrode location and size on success rates and energy requirements // N. Engl. J. Med. 1981. Vol. 305. № 12. PP. 658-662.

Вячеслав Александрович Востриков,
д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник,
отдел кардиологии Научно-исследовательского центра,
ГБОУ ВПО «Первый Московский
государственный медицинский
университет им. И.М. Сеченова,
г. Москва,
Константин Вадимович Разумов,
канд. мед. наук, зав. отделением,
14-е кардиологическое отделение
для больных инфарктом миокарда,
Городская клиническая больница № 1 им. Н.И. Пирогова,
г. Москва,
Борис Борисович Горбунов,
ведущий инженер-электроник,
кафедра биомедицинских систем,
Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, г. Зеленоград,
e-mail: borgor@bmslab.miet.ru

С.М. Яцун, А.С. Яцун, А.Н. Рукавицын, Г.В. Климов

Система измерения характеристик движения нижних конечностей человека для оценки физической реабилитации пациента

Аннотация

Представлена специально разработанная биоизмерительная система «Экзомерурер», предназначенная для определения объемов движения в суставах нижних конечностей человека при различных режимах его деятельности. Описанное устройство позволяет определить походку человека в норме и при патологии, а также до и после лечения.

Введение

Проблему медицинской реабилитации больных с двигательными нарушениями, без сомнения, можно отнести к одной из важных медико-социальных проблем здравоохранения. Современный этап развития реабилитации можно определить как этап комплексного подхода к вопросам восстановительного лечения, конечной целью которого является возвращение больных или пострадавших в общество, к трудовой и социальной активности. Это дает основание рассматривать реабилитацию как один из важнейших разделов биологической науки и практической медицины, направленный на восстановление здоровья и нарушенных функций различных органов и систем, где ведущее место занимают средства и методы физической реабилитации [1].

Поскольку основными принципами реабилитации являются непрерывность и индивидуальность в определении объема и характера реабилитационных мероприятий, то при проведении комплекса реабилитационных мероприятий важно определить степень наличия у больного или пострадавшего реабилитационного потенциала, т. е. какие его функциональные резервы сохранились для развития и совершенствования их с помощью средств и методов физической реабилитации. Успешность решения этой проблемы определяется прежде всего на-

личием материально-технической базы, оснащенной специальными биоизмерительными устройствами и биотренажерами с активными приводными механизмами, обеспеченными развитыми программными алгоритмами.

С целью анализа и оценки эффективности реабилитационных мероприятий предлагаются различные критерии и индексы. В литературе особенно много внимания уделено индексам активности пострадавших, которые отражают нарушенные после повреждения виды деятельности [2].

В то же время следует отметить, что сегодня нет единого мнения об определении степени изменения и восстановления нарушенных функций в процессе реабилитации. Недостаточно разработаны информативные и объективные критерии оценки результатов физической реабилитации. Все это обуславливает необходимость дальнейших научных исследований, направленных на разработку методов и средств комплексной оценки результатов физической реабилитации с использованием биомедицинских и электрофизиологических показателей.

Материалы и методы

Поскольку основными критериями восстановления нарушенных функций поврежденных нервно-мышечного, капсуло-связочного и сухожильно-мышечного аппаратов нижних конечностей являются движение, а также способность выполнять