

Кардиофизика как ревизия биофизики сердца

Москаленко А. В.ⁱ

ИМПБ РАН — филиал ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
<http://a-v-m.pro/>

Cardiophysics as a revision of biophysics of the heart

Moskalenko A. V.

IMPB RAS — Branch of KIAM RAS

A brief historical overview of biology is given, reflecting the modern gradual shift from reductionism to the systems thinking approach (integrationism). The end of the confrontation between reductionism and integrationism in modern studies of the cardiovascular system is stated to be achieved by development of the cardiovascular physics (cardiophysics), with replacing biophysics of the heart. A review of actual problems of cardiophysics is offered.

1 Краткие исторические замечания

1.1 Биофизика сердца как наследница редуционизма в биологии

Как было уже отмечено ранее [1–3], вытеснив прежние представления об особой «живой субстанции», в течение всего 20-го века *физиологический язык* всецело господствовал среди специалистов, чей труд был связан с исследованием биологических объектов, — но, в сущности, господство это явилось лишь манифестацией глубокого укоренение механистического подхода (*редуционизма*) в науках о живой материи.

Ответвление биологии, которое в научной литературе принято обозначать как «*биофизика сердца*», стало активно развиваться с середины 20-го века, и во многом оно было создано «1-й волной» выпускников физико-математических и технических специальностей, искавших применение своих знаний в исследованиях биологических объектов, — и эти исследователи попытались биологические объекты рассматривать как сравнительно простые системы. В результате оказалось сделано довольно много ошибочных выводов, и некоторые из таких выводов имели роковые последствия.

В качестве одного из примеров можно вспомнить антиаритмики группы I (в основном сюда принято относить блокаторы натриевых каналов); их применение, как было выяснено в более поздних исследованиях, лишь увеличивало смертность среди больных. Указанное излишнее упрощение было подвергнуто критике со стороны целого ряда учёных (см. [4] и список литературы в [1, 3]). Таким образом, механистический подход, — т.е. огрублённое упрощение экспериментальной и теоретической модели, — и привели представителей так называемой биофизики сердца к их ошибочным выводам относительно мнимой полезности блокаторов натриевых каналов.

К тому же в начале 21-го века во многих работах было продемонстрировано, что биологические

объекты принадлежат к сложным системам, — т.е. их поведение является хаотическим, а вовсе не детерминированным в ньютоновском смысле. Теми, кто работал в рамках парадигмы «биофизики сердца», это редко принималось во внимание.

Тем не менее, разработанный и внедрённый в биологические исследования новый биофизический язык описания наблюдаемых феноменов в целом сыграл прогрессивную роль в становлении новой биологии 21-го века.

1.2 Историческое противоборство между редуционизмом и интеграционизмом

Системный подход к исследованию биологических объектов начал формироваться во 2-й половине 20-го века; основоположниками системной биологии можно считать Людвиг Фон Бергаланфи [5] и Норберта Винера [6].

В начале 21-го столетия обсуждение противоборства между системным подходом (*интеграционизмом*) и редуционизмом с новой силой возобновилось в ряде работ (напр., [7]) в связи с инициацией международного проекта «Физиом». В частности, в указанной работе формируется вопрос о том, «являются ли эти два направления непримиримыми, или, выражаясь более позитивно, может ли мы разрешить явное противоречие путём разработки новых рамок для наук о жизни, новую концепцию, новую логику».

Автор полагает, что в исследованиях сердечно-сосудистой системы конец противоборству между редуционизмом и интеграционизмом должна положить физика сердца (кардиофизика).

2 Физика сердца

2.1 Лингвистические замечания

В русском языке существуют особые, отличающиеся от английского языка, правила грамматики, которые запрещают взаимно менять правые и левые определения имени существительного столь же

легко, как это допускается в английском языке. К тому же, весьма не приветствуется и тавтология. Эти особенности русской грамматики были проигнорированы при заимствовании термина «biological physics» из английского языка.

Таким образом, с точки зрения грамматики русского языка, верным термином следует признать термин «физика сердца» (или же в более широком смысле «физика сердечнососудистой системы»; сокр. кардиофизика).

Небесполезно отметить здесь же, что даже в английском и немецком языках в настоящее время, с целью избежание тавтологии, используются термины «cardiovascular physics» и «Kardiovaskuläre Physik», соответственно, — однако вовсе не «cardiovascular biophysics».

2.3 Актуальные задачи теоретической кардиофизики

Важность системного подхода ранее обсуждалась в [1–3], где была введена концепция «автоматической функции сердца», а также рассмотрены принципиальные различия между понятиями «сердечная активность» и «сердечная деятельность». Эти концепции требуют дальнейшей, более детальной, проработки.

В области теоретических исследований требуется также и более детальное изучение пространства параметров для широко используемых моделей миокарда. Как часть этой обширной задачи, нужно детально исследовать явления бифуркационной памяти, обнаруженные недавно [8–10].

Актуальными остаются и исследования, направленные на разработку маломощных дефибрилляторов.

Важным направлением остаётся развитие новых методов анализа данных, получаемых в результате регистрации различных проявлений сердечной деятельности, — с целью улучшения диагностики.

2.4 Актуальные задачи экспериментальной кардиофизики

В рамках теоретической кардиофизики недавно был дан ряд предсказаний, которые достаточно очевидным образом следуют из анализа математических моделей, но пока ещё не были подтверждены в натурном эксперименте: 1) существование «серпантинных аритмий» [1, 3, 10], 2) особые формы потенциала действия при пейсмекерной активности [11], 3) бифуркационный механизм триггерной активности [3]. Эти результаты теоретических исследований ждут своей экспериментальной верификации.

Сохраняют свою актуальность и работы по исследованию обратной, т.е. механо-электрической, связи в миокарде [12, 13], как на уровне кардиоцитов отдельных типов, так и на тканевом и органном уровнях рассмотрения.

Список литературы

- [1] Ю. Е. Елькин, А. В. Москаленко Базовые механизмы аритмий сердца. В: *Клиническая аритмология*. Под ред. А. В. Ардашева — М.: ИД Медпрактика-М, 2009.
- [2] A. Moskalenko. Tachycardia as “Shadow Play”. In: *Tachycardia*. Croatia: InTech, 2012.
- [3] A. Moskalenko. Basic Mechanisms of Cardiac Arrhythmias. In: *Cardiac Arrhythmias — Mechanisms, Pathophysiology, & Treatment*. Croatia: InTech, 2014.
- [4] A. Moskalenko. Nonlinear effects of lidocaine on polymorphism of ventricular arrhythmias. *Biophysics* 2009; **54**(1): 47–50.
- [5] Ludwig von Bertalanffy. *General System theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller, 1968.
- [6] Wiener N. *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. New York - London; 1961.
- [7] Peter Kohl, Denis Noble, Raimond L. Winslow & Peter J. Hunter. Computational modelling of biological systems: tools and visions. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 2000; **358**: 579–610.
- [8] M. Feigin, M. Kagan. Emergencies as a manifestation of effect of bifurcation memory in controlled unstable systems. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2004; **14**(7): 2439–2447.
- [9] Ф.И. Атауллаханов, Е.С. Лобанова, О.Л. с соавт. Сложные режимы распространения возбуждения и самоорганизации в модели свертывания крови. *УФН*, 2007. **177**(1): 87–104.
- [10] A. Moskalenko, Yu. Elkin. The lacet: a new type of the spiral wave behavior. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2009; **40**(1): 426–431.
- [11] А.В. Москаленко. Причины пейсмекерной активности с точки зрения биосинергетики. В: *Математическая биология и биоинформатика. Доклады V Международная конференция*. Пушино, 2014.
- [12] Solovyova O.E. Markhasin V.S., Katsnelson L.B., Protsenko Y., Kohl P., Noble D. Mechano-electric interactions in heterogeneous myocardium: development of fundamental experimental and theoretical models. *Prog Biophys Mol Biol*. 2003; **82**(1-3): 207–220.
- [13] Кацнельсон Л.Б., Соловьева О.Э., Сульман Т.Б., Коновалов П.В., Мархасин В.С. Моделирование механоэлектрического сопряжения в кардиоцитах в норме и при патологии. *Биофизика* 2006; **51**(6): 1044–1054.

ⁱ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, гранты 16-01-00692 и 14-07-00419.