

УДК 612.172.4

ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕРДЦА ПРАКТИЧЕСКИ ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПАССИВНОГО АНТИОРТОСТАЗА

Наталья Ивановна Пантелеева, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Коми научный центр Уральского отделения РАН, Российская Федерация, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24, bdr13@mail.ru

Елена Всеволодовна Заменина, младший научный сотрудник, Коми научный центр Уральского отделения РАН, Российская Федерация, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24, e.mateva@mail.ru.

Евгения Анатольевна Уляшева, аспирант, младший научный сотрудник, Коми научный центр Уральского отделения РАН, Российская Федерация, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24, evgeneka@mail.ru.

Исследование влияния изменения положения тела человека в пространстве и связанное с этим перераспределение жидких сред организма актуально в теоретическом и практическом аспектах физиологии человека. Такие исследования позволяют оценить адекватность компенсаторных и адаптационных реакций организма, нервно-гуморальную регуляцию основных функциональных систем, где системе кровообращения отводится главная роль. Одним из механизмов нормализации гомеостатических сдвигов в организме является регуляция сердечных сокращений и сосудистого тонуса. Учитывая чувствительность сердца к изменениям объёма поступающей крови (преднагрузка на миокард), важно понимание взаимосвязи электрической и механической составляющих сердечной деятельности. Для оценки влияния увеличенной преднагрузки на электрическую активность сердца человека проведено электрокардиографическое исследование миокарда у практически здоровых молодых мужчин в условиях антиортостаза. ЭКГ регистрировали в исходном состоянии, при смене положения тела, в течение 20-минутного пребывания в положении лежа на спине под углом 30°, при спуске и 5-минутном восстановлении. Выявлено, что увеличение венозного возврата к правым отделам сердца привело к изменению амплитуды Р- и Т-волн в прекардиальных отведениях и удлинению интервалов PQ_{II}, QT_{II}, STT_{II}. При этом наблюдали отрицательный хронотропный эффект по мере увеличения времени антиортостаза, не связанный, тем не менее, с фазой сердечного цикла: интервал QTс значимо не изменялся на протяжении всего обследования. Выявленные изменения связаны с факторами, влияющими на собственно электрическую активность миокарда (растяжение кардиомиоцитов) и перенос электрического сигнала к регистрирующим электродам (увеличение объёма внутрисердечной крови).

Ключевые слова: электрическая активность сердца, антиортостатическая проба, преднагрузка, правые отделы сердца, растяжение кардиомиоцитов

ELECTROCARDIOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE HEART OF PRACTICALLY HEALTHY PEOPLE DURING PASSIVE ANTIORTHOSTASIS

Panteleeva Natalya I., Ph.D. (Biology), Komi Science Center of the Ural Branch of the RAS, 24 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982, Russian Federation, bdr13@mail.ru

Zamenina Elena V., Researcher, Komi Science Center of the Ural Branch of the RAS, 24 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982, Russian Federation, e.mateva@mail.ru

Ulyasheva Eugenia A., postgraduate student, Researcher, Komi Science Center of the Ural Branch of the RAS, 24 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, 167982, Russian Federation, evgeneka@mail.ru

The study of the influence of the change in the human body position in space and the redistribution of body fluids is topical in theoretical and practical aspects of human physiology. Such studies allow to evaluate the adequacy of compensatory and adaptive reactions of the organism, neurohu-

moral regulation of main functional systems, where the cardiovascular system plays a major role. The compensatory mechanisms of the organism normalize homeostatic changes by regulating heart beats and vascular tone. Because of a high sensitivity of the heart to changes in the volume of incoming blood (myocardium preload), it is important to understand the relationship between electrical and mechanical components of cardiac activity. To assess the effect of an increased preload on the electrical activity of the human heart an electrocardiographic study of the myocardium has been carried out in practically healthy young men under conditions of antiorthostasis. The ECG was recorded in the initial state, when changing the body position, during a 20-minute period in a supine position at an angle of 30°, when descending, and during a 5-minute recovery. It was found that an increase in venous return to the right chambers of the heart led to a change in the P- and T-waves amplitudes in precordial leads and the prolongation of the PQ_{II}, QT_{II}, STT_{II} intervals. A negative chronotropic effect was observed as the time period of antiorthostasis increased, that was not, however, connected with the phase of the cardiac cycle – the QT_c interval did not change significantly during the whole examination. The changes revealed are linked with the factors influencing the actual electrical activity of the myocardium (stretching of cardiomyocytes) and the transfer of an electrical signal to the recording electrodes (an increase in the intercardiac blood volume).

Keywords: electrical activity of the heart, antiorthostatic test, preload, right chambers of the heart, stretching of cardiomyocytes

Изучению электрической активности сердца в условиях повышения преднагрузки на миокард уделяют всё больше внимания в связи с повышением риска жизнеугрожающих аритмий, возникающих вследствие усиления импульсации синусоватриального узла при растяжении [12]. Изменение венозного возврата к сердцу моделируют при использовании функциональных проб с ортостазом – с положительным (головной отдел расположен выше уровня ног) и отрицательным углом (голова расположена ниже ног) – антиортостазом [1]. Если переход положения тела в пространстве происходит без участия скелетной мускулатуры, пассивно, то гемодинамические сдвиги, происходящие при перераспределении жидких сред организма, выражены сильнее, чем при активном перемещении [10]. Антиортостатические воздействия чаще используются в медицине для оценки нейроциркуляторных реакций организма, гемодинамических параметров, вегетативной регуляции мозговой и сердечной деятельности. В зависимости от задачи исследования угол наклона вектора тела при антиортостазе колеблется в большом диапазоне: от 10 до 70°, длительность воздействия также варьирует от нескольких минут до нескольких суток и даже месяцев [3–5; 9]. Тем не менее, исследования собственно электрической активности миокарда при антиортостазе в литературе достаточно фрагментарны. Учитывая, что функциональные изменения в сердце отражаются на электрической активности миокарда, предложенное электрокардиографическое исследование позволит получить больше информации о процессах, происходящих в сердце, в условиях увеличенной преднагрузки на миокард.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено в специально оборудованном кабинете на практически здоровых молодых мужчинах 19–24 лет ($n = 12$). На момент исследования по данным анамнеза у них не зафиксированы хронические заболевания, недавно перенесённые острые заболевания. Протокол обследования соответствовал требованиям Хельсинкской декларации, от каждого участника было получено информированное согласие.

Регистрацию ЭКГ проводили при помощи электрокардиографа «Поли-Спектр-8Е» («Нейрософт», Россия). Обследуемые находились в положении лежа на кушетке. После регистрации контрольного состояния переходили к антиортостатической пробе (АОП), приподнимали конец кушетки на 30°, создавая перераспределение жидкой среды организма в сторону головного отдела, продолжительность воздействия составляла 20 мин. Отрицательный угол вектора тела человека в 30° продолжительностью не более 20 мин по гемодинамическим показателям мозга и лёгких является наиболее благоприятным физиологическим антиортостатическим воздействием [10].

После этого кушетку приводили в горизонтальное состояние, период восстановления составил 5 мин. В течение всего обследования непрерывно регистрировали ЭКГ.

Расчет критерия Шапиро – Уилка показал нормальное распределение полученных данных, поэтому анализ различий внутри группы проводили по t-критерию для связанных выборок. Нами представлены результаты в виде средней арифметической и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

В исходном состоянии у обследованных нами людей продолжительность интервалов составила: PQ – $0,168 \pm 0,027$ с; R–R – $0,854 \pm 0,086$ с; QRS – $0,105 \pm 0,004$ с; QT – $0,382 \pm 0,016$ с; QTc – $0,414 \pm 0,017$ с; STT – $0,277 \pm 0,016$ с. Амплитуда P- и T-волн – $0,031 \pm 0,027$ и $0,105 \pm 0,122$ мВ; зубцов R и S – $-0,237 \pm 0,131$ и $-0,786 \pm 0,216$ мВ соответственно.

На первой минуте воздействия антиортостатического положения у обследуемых выявлено увеличение продолжительности интервалов R–R, QTc, QT, QRS и статистически значимое удлинение интервала PQ (рис.; $p < 0,05$) относительно исходного состояния.

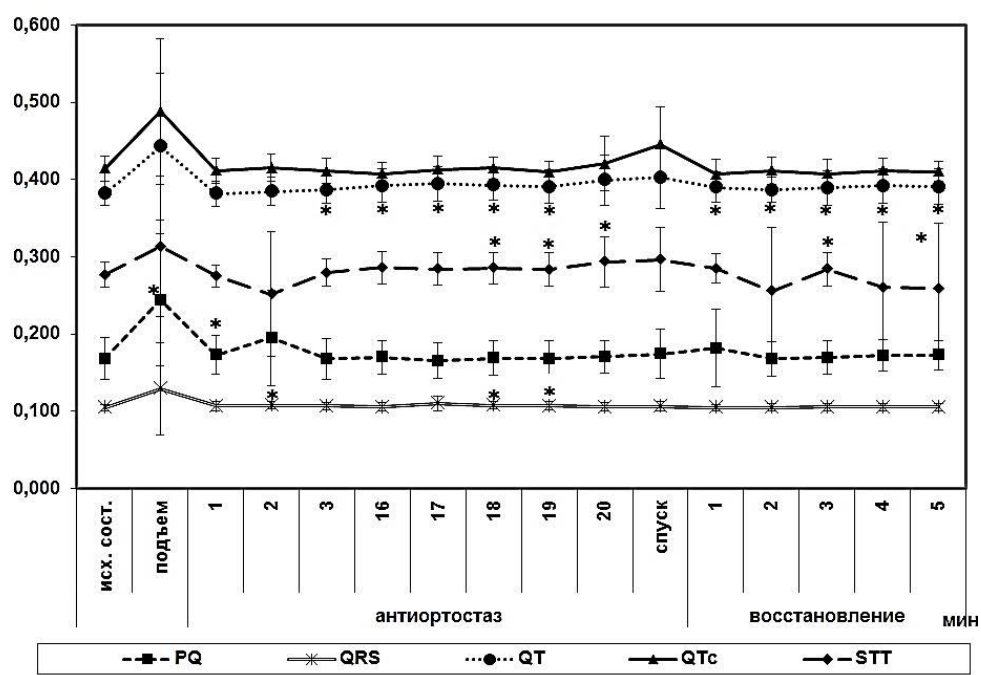


Рис. Длительности интервалов ЭКГ при проведении антиортостатической пробы (*достоверно по сравнению с исходным состоянием, $p < 0,05$)

На фоне практически неизменной величины ЭКГ в районе нижних переднегрудных отведений было отмечено увеличение амплитуды P-волны и уменьшение T-волны в отведении V_1 , в проекции основания сердца. Отмечено уменьшение R_{V1} и S_{V1} зубцов. При этом электрическая ось сердца у обследованных лиц менялась разнонаправленно, с небольшим смещением влево и вправо.

При дальнейшем действии АОП выявили увеличение продолжительностей интервалов PQ, R–R, QRS и QT (статистически значимо с исходным состоянием: PQ – на первой, QRS – на второй, QT – на третьей минутах АОП). После четвертой минуты воздействия значения временных параметров ЭКГ у обследуемых восстановились до

исходных значений и до 16 мин. АОП не изменялись. К концу антиортостаза выявлено статистически значимое увеличение интервалов QRS ($p < 0,05$) на 18 и 19 мин. АОП, QT – с 16 по 19 мин. АОП и STT – с 18 по 20 мин. АОП. Амплитудные характеристики ЭКГ со второй по 20 мин. АОП и в период восстановления практически не различались с таковыми в исходном состоянии.

При опускании кушетки в исходное положение выявлено увеличение продолжительности интервалов PQ, R–R, QRS, QT, QTc. В период восстановления отмечено статистически значимое увеличение продолжительности интервалов QT и STT ($p < 0,05$). Длительность интервалов QTc, QRS, PQ, R–R восстановилась до исходного уровня.

Смена положения тела в пространстве (как создание отрицательного угла наклона, так и возврат к горизонтальному положению) у обследованных нами людей сопровождалась изменениями амплитудно-временных параметров ЭКГ: величин зубцов P и T, длительностей интервалов PQ, QT, QTc.

При интерпретации результатов функциональных проб в кардиологии трехминутный восстановительный интервал считается пороговым: у практически здорового человека в течение этого периода изменения на ЭКГ должны вернуться к исходным [1]. У обследованных нами людей в течение трех минут пребывания в изменённом положении происходило восстановление амплитудных параметров практически до исходных в покое, что свидетельствует о хорошей регуляции сосудистого тонуса для нормализации венозного возврата.

Известно, что факторы, влияющие на величину регистрируемых потенциалов сердца, условно можно подразделить на две группы: влияющие на формирование электрической активности кардиомиоцитов (внутрисердечные) и влияющие на перенос сигнала через окружающие сердце органы и ткани на поверхность тела (внесердечные) [7; 13]. Изменение длины или поперечного сечения кардиомиоцитов относят к первой группе факторов, поскольку при этом меняется плотность каналов на поверхности клеточной мембраны, плотность митохондрий во внутреннем объёме, что сказывается на скорости де- и реполяризации и величине потенциалов [8; 15]. При депонировании крови в верхней части тела усиливается венозный возврат и растяжение сердечных клеток (внутрисердечный фактор), происходит увеличение наполнения магистральных сосудов и области хилуса, уменьшение просвета дыхательных путей (внесердечные факторы), при этом конечно-диастолический объём правых отделов сердца увеличивается значительно за счёт растяжения стенок предсердия и желудочков.

Экспериментальное растяжение полосок сердечной ткани и отдельных кардиомиоцитов сердца крысы показало, что в ответ на перегрузку давлением происходит увеличение амплитуды и удлинение фазы медленной реполяризации потенциала действия сердечных клеток [6]. Исследованиями *in situ* на сердце мелких млекопитающих и грызунов доказано удлинение потенциала действия кардиомиоцитов при увеличении конечно-диастолического наполнения левого желудочка сердца [14]. Несмотря на отсутствие чёткой зависимости ЭКГ на поверхности тела с формой и абсолютной величиной потенциалов действия кардиомиоцитов, тем не менее, между этими показателями существует положительная корреляция [11].

Проведение пробы с натуживанием (Вальсальвы), моделирующее увеличение преднагрузки на миокард у человека, выявлено изменение амплитуды T-волны на ЭКГ в отведениях, соответствующих основанию (V_1) и верхушке (V_4 – V_6) сердца [2]. Мы можем предположить, что выявленное увеличение амплитуды P_{V1} и T_{V1} , длительности PQ_{II} интервала при смене положения тела свидетельствует о влиянии внутри- и внесердечного фактора передачи сигнала (растяжение кардиомиоцитов и увеличение объёма внутрисердечной крови), поскольку при дальнейшем действии АОП значимые различия с исходным состоянием не отмечены, что, вероятно, связано со срочной активацией регуляции тонуса сосудов. На протяжении 20 мин. АОП наблюдали укорочение интервалов QT и STT при практически неизменной длитель-

ности QRS, что свидетельствует об изменении периода реполяризации желудочков. Очевидно, что данное удлинение обусловлено гетерометрической регуляцией сердечной деятельности: при дополнительном растяжении кардиомиоциты желудочков развивают более сильное сокращение, и, как следствие, им требуется более длительное расслабление.

Таким образом, 20-минутное антиортостатическое воздействие и вызванное им перераспределение крови в организме привело к изменению электрокардиографических параметров у обследованных людей. Изменение электрической активности предсердий отразилось в увеличении амплитуды Р-волны и длительности PQ-интервала, изменение желудочковой активности – в длительности интервалов QT, STT. Электрофизиологические изменения в сердце при антиортостазе, вызванные увеличением венозного возврата, имеют преимущественно внутри- и внесердечную природу воздействия на отражение электрической активности сердца на поверхность грудной клетки.

Список литературы

1. **Аронов, Д. М.** Функциональные пробы в кардиологии / Д. М. Аронов, В. П. Лупанов. – Москва : МЕДпресс-информ, 2007. – 328 с.
2. **Гошка, С. Л.** Изменение амплитуды зубца Т и длительность интервала Тpeak-Tend на электрокардиограмме у человека при проведении пробы Вальсальвы / С. Л. Гошка, К. А. Седова, А. О. Овечкин, Я. Э. Азаров // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2009. – № 2. – С. 321.
3. **Ермаков, М. А.** Ортостаз и антиортостаз как маркеры оценки регуляции гемодинамики у тяжелых больных / М. А. Ермаков, В. В. Казарцев, А. Ю. Марченко, Е. С. Гаврилова, А. А. Астахов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3.
4. **Журавлева, О. А.** Динамика маркеров окислительного стресса при длительной антиортостатической гипокинезии / О. А. Журавлева, А. А. Маркин, Д. С. Кузичкин, В. И. Логинов, И. В. Заболотская, Л. В. Вострикова // Физиология человека. – 2016. – Т. 42, № 1. – С. 94–99.
5. **Исупов, И. Б.** Системный анализ церебрального кровообращения человека / И. Б. Исупов. – Волгоград : Перемена, 2001. – 139 с.
6. **Камкин, А. Г.** Механоуправляемые каналы клеток сердца и их регуляция цитокинами / А. Г. Камкин, Е. Ю. Макаренко // Успехи физиологических наук. – 2012. – Т. 43, № 4. – С. 3–44.
7. **Коломеец, Н. Л.** Электрическое сопротивление легких, межреберных мышц и почки гипертензивных крыс линии НИСАГ / Н. Л. Коломеец, С. Л. Смирнова, И. М. Рощевская // Биофизика. – 2016. – Т. 61, вып. 3. – С. 590–597.
8. **Салтыкова, М. М.** Основные механизмы, обуславливающие изменения амплитуды зубцов комплекса QRS на электрокардиограмме при нагрузочном тестировании практически здоровых лиц / М. М. Салтыкова // Физиология человека. – 2015. – Т. 41, № 1. – С. 74–82.
9. **Сергеев, Т. В.** Влияние постуральных нагрузок колебательного характера на параметры сердечного ритма / Т. В. Сергеев, Н. Б. Суворов, А. В. Белов, М. И. Гараба // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23, № 1. – С. 79–84.
10. **Софронов, Г. А.** Влияние постуральной коррекции гемодинамики на параметры сердечного ритма / Г. А. Софронов, Н. Б. Суворов, П. И. Толкачев, Т. В. Сергеев // Медицинский академический журнал. – 2014. – Т. 14, № 3. – С. 38–51.
11. Comprehensive Electrocardiology / eds. P. W. Macfarlane, A. van Oosterom, O. Pahlm, P. Kligfield, M. Janse, J. Camm. – London : Springer Verlag London Limited, 2011. – Vol. 3. – P. 1375–1415.
12. Electrical diseases of the heart: genetics, mechanisms, treatment, prevention / eds. I. Gussak, C. Antzelevitch, A. Wilde. – London : Springer Verlag London Limited, 2008. – 968 p.
13. **Keller, D.** Ranking the influence of tissue conductivities on forward-calculated ECGs / D. Keller, F. M. Weber, G. Seemann et al. // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2010. – Vol. 57. – P. 1568–1576.
14. **Kohl, P.** Cardiac mechano-electric coupling and arrhythmias / P. Kohl, F. Sachs, M. R. Franz. – OUP Oxford, 2011. – 512 p.
15. **Lee, B.** Coupling contraction, excitation, ventricular and coronary blood flow across scale and physics in the heart / B. Lee, S. Niederer, D. Nordsletten, I. Grice et al. // Phil. Trans. R. Soc. A. – 2009. – Vol. 367. – P. 2311–2331.

References

1. Aronov D. M., Lupanov V. P. *Funktsionalnye proby v kardiologii* [Functional tests in cardiology]. Moscow, MEDpress-inform Publ., 2007, 328 p.
2. Goshka S. L., Sedov K. A., Ovechkin A. O., Azarov Ya. E. Izmenenie amplitudy zubca T i dlitelnost intervala Tpeak-Tend na elektrokardiogramme u cheloveka pri provedenii proby Valsalvy [The change in the amplitude of the T wave and the duration of the Tpeak-Tend interval in the human electrocardiogram during the Valsalva manoeuvre]. *Vestnik Uralskoy meditsinskoy akademicheskoy nauki* [Journal of Ural Medical Academic Science], 2009, no. 2, 321 p.
3. Ermakov M. A., Kazartsev V. V., Marchenko A. Yu., Gavrilova E. S., Astakhov A. A. Ortostaz i antiortostaz kak markery otsenki regulyatsii gemodinamiki u tyazhelykh bolnykh [Orthostasis and antiorthostasis as markers of rate regulation of circulatory dynamics among patients with serious cases]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 3.
4. Zhuravleva O. A., Markin A. A., Kuzichkin D. S., Loginov V. I., Zabolotskaya I. V., Vostrikova L. V. Dinamika markerov oksidativnogo stressa pri dlitelnoy antiortostaticheskoj gipokinezii [Dynamics of oxidation stress markers during long-term antiorthostatic hypokinesia]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2016, vol. 42, no. 1, pp. 94–99.
5. Isupov I. B. *Sistemnyy analiz tserebralnogo krovoobrashcheniya cheloveka* [Systems analysis of human cerebral circulation]. Volgograd, Peremena Publ., 2001, 139 p.
6. Kamkin A. G., Makarenko E. Yu. Mekhanoupravlyaemye kanaly kletok serdtsa i ikh regulyatsiya tsitokinami [Mechanically gated cardiac ion channels and their regulation by cytokines]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* [Advances in physiology sciences], 2012, vol. 43, no. 4, pp. 3–44.
7. Kolomeets N. L., Smirnova S. L., Roshchevskaya I. M. Elektricheskoe soprotivlenie legkikh, mezhdrebernykh myshts i pochki gipertenzivnykh krysh linii NISAG [The electrical resistance of the lungs, intercostal muscles and kidneys in hypertensive ISIAN rats]. *Biophizika* [Biophysics], 2016, vol. 61, no. 3, pp. 590–597.
8. Saltykova M. M. Osnovnye mekhanizmy, obuslovlivayushchie izmeneniya amplitudy zubtsov kompleksa QRS na elektrokardiogramme pri nagruzochnom testirovanii prakticheski zdorovykh lits [Mechanisms of QRS voltage changes on ECG of healthy subjects during the exercise test]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2015, vol. 41, no. 1, pp. 74–82.
9. Sergeev T. V., Suvorov N. B., Belov A. V., Garaba M. I. Vliyanie posturalnykh nagruzok kolebatelnogo kharaktera na parametry serdechnogo ritma [Influence of postural oscillatory loads on heart rate options]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Journal of New Medical Technologies], 2016, vol. 23, no. 1, pp. 79–84.
10. Sofronov G. A., Suvorov N. B., Tolkachev P. I., Sergeev T. V. Vliyanie posturalnoy korrektsii gemodinamiki na parametry serdechnogo ritma [Influence of postural correction of hemodynamics on heart rate parameters]. *Meditsinskiy akademicheskij zhurnal* [Medical Academic Journal], 2014, vol. 14, no. 3, pp. 38–51.
11. *Comprehensive Electrocardiology*. Eds. by P.W. Macfarlane, A. van Oosterom, O. Pahlm, P. Kligfield, M. Janse, J. Camm. Springer Verlag London Limited Publ., 2011, vol. 3, pp. 1375–1415.
12. *Electrical diseases of the heart: genetics, mechanisms, treatment, prevention*. Eds. by I. Gussak, C. Antzelevitch, A. Wilde. Springer Verlag London Limited Publ., 2008, 968 p.
13. Keller D., Weber F. M., Seemann G. Ranking the influence of tissue conductivities on forward-calculated ECGs. *Transactions on Biomedical Engineering*, 2010, vol. 57, pp. 1568–1576.
14. Kohl P., Sachs F., Franz M. R. *Cardiac mechano-electric coupling and arrhythmias*. OUP Oxford Publ., 2011, 512 p.
15. Lee B., Niederer S., Nordsletten D., Grice I. Coupling contraction, excitation, ventricular and coronary blood flow across scale and physics in the heart. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2009, vol. 367, pp. 2311–2331.