

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

13 НОЯ 2015

РАСПОРЯЖЕНИЕ

01.09 - 04 / 20

г. Екатеринбург

ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОВЕРКИ РНФ

По решению Правления РНФ (протокол от 16 июля 2015 г. № 15) проводятся выездные проверки реализации проектов, финансируемых Российским научным фондом. В УрФУ выборочная проверка проектов РНФ проводилась 7 сентября 2015 совместной комиссией РНФ и НФПК. Программа работы комиссии предусматривала проверку выполнения университетом и руководителями проектов обязательств, предусмотренных соответствующими грантовыми Соглашениями.

В результате проверки четырех проектов комиссия обнаружила и отметила в актах следующие неоднократные нарушения процедур ведения документов, установленных грантовыми Соглашениями:

- отсутствие служебных записок (письменных решений) руководителя проекта о создании коллектива;
- отсутствие служебных записок (заявок) руководителя проекта, в соответствии с которыми осуществляется использование гранта (в том числе закупки, командировки, доплаты);
- некорректное оформление документов по командировкам членов научных групп (в том числе отсутствие связи задач проекта с командировкой, неточное определение цели командировки, отсутствие приглашений на мероприятия);
- отсутствие в коллективных гражданско-правовых договорах распределения работ между членами временного научного коллектива.

Для исключения указанных выше нарушений по проектам РНФ, а также подобных нарушений по научным темам (соглашениям по грантам, договорам, государственным контрактам), финансируемым из других источников, настоящим распоряжением с **01.11.2015** устанавливается следующий порядок оформления документов при осуществлении деятельности по всем научным темам:

ОБЯЗЫВАЮ:

1. Руководителям проектов предоставлять в ПЭО НИЧ следующие служебные записки (рекомендуемые формы/образцы прилагаются):

- о формировании и изменениях научного коллектива (Приложения 1, 1а);
- об открытии лицевого счета по теме (Приложение 2);
- об использовании средств темы для осуществления закупок, в том числе услуг сторонних организаций (Приложение 3);
- для установления доплат членам научного коллектива (Приложение 4).

2. С целью исключения случаев некорректного оформления приказов на командировки руководителям тем использовать стандартную форму соответствующей служебной записки для всех видов командирования (Приложение 5).

Обязательным документом по командировке является краткий информационный отчет, хранение которого в делах темы обеспечивает его руководитель (рекомендации по составлению отчета и пример – Приложения 6 и 6а).

3. В порядке документирования обоснования размеров вознаграждений членам временного научного коллектива (ВНК) при выполнении технического задания (ТЗ) гражданско-правовых договоров (ГПД) руководителям тем при подготовке таких договоров включать в ТЗ сведения о распределении работ между членами ВНК в соответствии с планируемой суммой вознаграждения (форма коллективного ГПД с учетом включения этих сведений в ТЗ - Приложение 7).

4. ПЭО НИЧ обеспечить хранение всех служебных записок руководителей в делах научных тем.

Проректор по науке



В.В. Кружаев

В Планово-экономический отдел
Научно-исследовательской части

СЛУЖЕБНАЯ ЗАПИСКА

Прошу издать распоряжение о формировании следующего научного коллектива исполнителей темы

в соответствии с соглашением/договором/госконтрактом № _____ от _____
(внутренний номер _____) в следующем составе:

№ п/п	ФИО (полностью)	Ученая степень	Должность и место работы

Данный состав исполнителей соответствует заявке и требованиям указанного выше соглашения /договора /госконтракта.

Руководитель темы _____

Приложение 2
к распоряжению
№ _____ от _____

В Планово-экономический отдел
Научно-исследовательской части

СЛУЖЕБНАЯ ЗАПИСКА

Прошу организовать открытие лицевого счета для осуществления деятельности по теме

в соответствии с соглашением /договором /госконтрактом № _____ от _____
(внутренний номер темы _____).

Руководитель темы _____

В Планово-экономический отдел
Научно-исследовательской части

СЛУЖЕБНАЯ ЗАПИСКА

Для реализации плана работ по теме

в соответствии с соглашением /договором /госконтрактом № _____ от _____
(внутренний номер темы _____) прошу согласовать осуществление следующей закупки
на указанных ниже условиях:

Наименование товаров, работ, услуг	
Количество поставляемого товара, объема выполняемых работ, оказываемых услуг	
Условия оплаты (предоплата ___ %/по факту поставки/позапно/ежемесячно/ежеквартально)	
Место поставки товара, выполнения работ, оказания услуг	
Срок поставки товара, выполнения работ, оказания услуг.	
Начальная цена договора	

Соответствующая заявка и приложения к ней (задание, технико-экономическое обоснование) размещаются в СЭД

Руководитель темы _____

В Планово-экономический отдел
Научно-исследовательской части

СЛУЖЕБНАЯ ЗАПИСКА

Прошу установить стимулирующую доплату на период с _____ по _____
за выполнение работ по теме _____

в соответствии с соглашением /договором /госконтрактом № _____ от _____
(внутренний номер темы _____) следующим исполнителям в указанном размере:

№ п/п	ФИО (полностью)	Должность, подразделение	Сумма (руб. в месяц)

А именно,

№ п/п	ФИО	Краткое содержание выполняемой работы

Выплату производить с лицевого счета темы.

Руководитель темы _____

**В Планово-экономический отдел
Научно-исследовательской части**

СЛУЖЕБНАЯ ЗАПИСКА

По плану работ по теме:

в соответствии с соглашением/договором/госконтрактом № _____ от _____
(внутренний номер темы _____) необходимо направить в командировку члена
коллектива исполнителей. Данные для оформления приказа на командирование указаны ниже.

1. Фамилия:
2. Имя:
3. Отчество:
4. Подразделение, должность (без сокращений, если должностей несколько, необходимо указать все):

5. Город, принимающая организация (при командировании в несколько мест указать все):

6. Основание: соглашение/договор/госконтракт № _____ от _____ и

_____ и др.
приглашение на конференцию, стажировку, на проведения совместных исследований и др.

7. Цель командировки: _____

_____ и др.
участие в конференции с докладом, стажировка, проведение совместных исследований по теме и др.

8. Источник финансирования (указать сумму аванса или другие условия возмещения расходов):

№ п/п	Направления расходования средств (для случая более 2-х источников вводятся дополнительные столбцы)	Сумма из средств	
		_____ руб.	_____ руб.
1.	Суточные		
2.	Транспортные расходы		
3.	Проживание		
4.	Организационный взнос		
	ИТОГО		
	Сумма аванса		

Особый случай: расчет по командировке по мере поступления средств по теме (нет, да) _____

9. Сроки командировки:

10. Маршруты (туда и обратно), вид транспорта:

Место хранения краткого информационного отчета о командировке:

подразделение

Руководитель темы _____

Руководитель подразделения _____

Командируемый _____

Виза ПЭО НИЧ _____

**Рекомендации
по содержанию краткого информационного отчета о командировке**

В кратком информационном отчете указываются:

- фамилия, имя, отчество командированного;
- подразделение, должность
- место и даты командирования;
- наименование темы и реквизиты соглашения/договора, государственного контракта, по которому оплачивалась командировка;
- мероприятие, в связи с проведением которого была командировка;
- характеристика мероприятия (цель и значимость конференции, статус организации для проведения совместных исследований и т.п., связь с задачами проекта);
- деятельность командированного (доклад, характеристика совместных исследований, установление контактов и связей);
- другая информация по требованию руководителя проекта.

К отчету прилагаются **приглашение на мероприятие (с переводом), тезисы доклада, программа совместных исследований и т.п.**

Отчет принимается руководителем проекта.

ПРИМЕР ОТЧЕТА ПО КОМАНДИРОВКЕ НА КОНФЕРЕНЦИЮ

КРАТКИЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОТЧЕТ

Кошелева Антона Александровича,
доцента кафедры математического анализа и теории функций ИМКН
по командировке в г. Окленд (Новая Зеландия)
в период с 06.04.2015 по 17.04.2015
по теме «Персонифицированные математические модели в
кардиологии»
(соглашение с МОН №14-35-00005 от 17.09.2014)

Десятая международная конференция «2015 Cardiac Physiome Workshop» («семинар 2015 Физиом-кардиология») проводилась с 8 по 14 апреля в г. Окленд, Новая Зеландия. Цель конференции – организация международного форума для представления и обсуждения численного моделирования в сочетании с экспериментальными и клиническими исследованиями болезней сердца. Рассматривались вопросы от молекулярного уровня до целых органов сердечной функции и проекта

Physiome в целом. Было сделано четыре пленарных доклада лидерами мирового уровня в исследовании этих областей. Данная конференция проводится раз в год или в два года, первая конференция была организована в 2001 году. В рамках конференции были два дополнительных симпозиума «Cardiac electrophysiology satellite meeting» (семинар Электрофизиология кардиологии) и «9th International CellML Workshop» (9 международный CellML семинар).

На конференции мною сделан стендовый доклад «Mathematical model of the basal and apical regions of the left ventricle of the heart» (Математическая модель анатомии и ориентации волокон левого желудочка сердца)

В результате обсуждения доклада были установлены научные контакты с исследователями из Университета Окленда, США и ряда европейских исследовательских центров. Был приглашен для чтения лекций в УрФУ и проведения совместных исследований профессор Института Биоинженерии Университета Окленда Мартин Нэш. Профессор Нэш изъявил желание для сотрудничества.

Приглашение на конференцию (с переводом) и тезисы доклада прилагаются

Кошелев Антон Александрович _____
подпись

Отчет принят и хранится _____
место хранения

Руководитель проекта _____
подпись

Приложение
к
ответу о
командировке



70 Symonds Street
Private Bag 92019, Auckland Mail Centre
Auckland 1142, New Zealand
Phone: +64 9 373 7599 ext 85360
Fax: +64 9 367 7157
Email: bioeng-enquiries@auckland.ac.nz
www.abi.auckland.ac.nz

28/11/2014

RE: Letter of invitation to Anton Koshelev (Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia)

Dear Anton Koshelev,

On behalf of the Cardiac Physiome 2015 and 9th International CellML Workshop organising committees, I would like to invite you to attend the following events in Auckland, New Zealand in April 2015:

- 2015 Cardiac Physiome Workshop, ANZ Viaduct Events Centre: 8-10th April, 2015
- 2015 Cardiac Electrophysiology Satellite Meeting, ANZ Viaduct Events Centre: 11th April 2015
- 9th International CellML Workshop, Goldie Room, Waiheke Island: 13th & 14th April, 2015

We look forward to your attendance at these events.

Kind Regards,

Prof Peter Hunter
Director of the Auckland Bioengineering Institute
The University of Auckland

Оклендский институт биоинженерии
Университет Окленда
Новая Зеландия
улица Симондс 70
частный ящик 92019, Оклендский почтовый центр
Окленд 1142, Новая Зеландия
Телефон: +64 9 373 7599 добавочный 85360
Факс: +64 9 367 7157
Email: bioeng-enquiries@auckland.ac.nz
www.abi.auckland.ac.nz

08.04.2015

письмо-приглашение Антона Кошелева (Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия)

Уважаемый Антон Кошелев,

от имени оргкомитета Cardiac Physiome 2015, я хотел бы пригласить Вас принять участие в следующем событии в Окленде, Новая Зеландия в апреле 2015:

- 2015 Cardiac Physiome семинар и Cardiac Electrophysiology сопутствующая встреча, ANZ
виадук конференс-центр: 8-11 апреля 2015
Стоимость: \$ 650 НЗД
- 9 международный CellML семинар, Голди комната, остров Вайхеке: 13 и 14 апреля, 2015
Стоимость: бесплатно

мы с нетерпением ждем вашего участия в этих мероприятиях

с уважением

Профессор Питер Хантер
Директор Оклендского института биоинженерии
университета Окленда

Mathematical model of the basal and apical regions of the left ventricle of the heart

Anton Koshelev^{1,2} (Anton.Koshelev@urfu.ru), Alexander Panfilov⁴ (Alexander.Panfilov@ugent.be),
Sergey Pravdin^{2,3} (SFPravdin@imm.uran.ru), Olga Solovyova^{1,3} (O.Solovyova@iip.uran.ru) and
Vladimir Markhasin^{1,3} (V.Markhasin@iip.uran.ru)

¹ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia; ² Institute of Mathematics and Mechanics UrB RAS, Yekaterinburg, Russia; ³ Institute of Immunology and Physiology UrB RAS, Yekaterinburg, Russia; ⁴ Ghent University, Ghent, Belgium

We describe an improved mathematical model of the shape and fibre direction of the left ventricle of the human heart. This model is based on our recently developed analytical model of the LV anatomy [1], [2], but more accurate simulation of the basal and apical regions has been further developed. The LV is composed of a set of myocardial surfaces (sheets), each forming of a continuum of curves simulating myocardial fibres. Tangents to these curves create the myofibre direction field. The model is designed on the base of the Torrent-Guasp's concept [3] of the LV muscular bands and Pettigrew's idea [4],[5] of nested surfaces.

When comparing our recent model [1], [2] with experimental data, we found that the arrangement of muscular fibres at the LV middle part was in good agreement with the experimental data [3]. At the same time, at the LV base and apex, the fibre directions did not match experimental data. At the LV basal part, muscular fibres should go from the epi- to endocardial layers by passing the LV base with certain rotation, while in the model, all the fibres abruptly stop at the base. At the LV apical part, muscular surfaces should form a hemitoroidal surface with a small hole at the LV apex. On the contrary, in the model, they twist about the vertical axis like a screw surface. These model discrepancies with the actual LV structure led us to improve the model for the upper and lower LV regions.

In the improved model, the middle LV part is described as in previous model, i.e. by means of the spiral surfaces with the special sets of curves. At the LV basal and apical regions, myocardial fibres are constructed as parametric curves in the cylindrical coordinate system. These curves smoothly join curves from the LV middle part on the epi- and endocardial layers, pass over the LV base or apex, respectively, and form a hemitoroidal surface. The input parameters for the basal and apical curves are the endpoints and tangents of the connected fibres from the LV middle part, the height of the basal and apical part, and the angle of fibre rotation about the vertical axis. We used Streeter's method [5] of measuring fibres rotation angles.

In the new model, electrical excitation waves can propagate from one muscular sheet to another not only transmurally across the fibres, but also directly along the fibres through the LV base or apex. This model allows one to fit the LV architecture and to simulate the electrical and mechanical processes at the basal and apical areas of the LV more accurately. As we showed in our previous studies, the LV shape and fibre directions in these regions, especially in the apical region, are essential for dynamics of the electrical waves (e.g. spiral waves, see [6]) and following LV contraction.

Acknowledgments. This work is supported by the Russian Science Foundation (grant № 14-35-00005).

References

- [1] Pravdin S.F., Berdyshev V.I., Panfilov A.V., Katsnelson L.B., Solovyova O., Markhasin V.S. *Mathematical model of the anatomy and fibre orientation field of the left ventricle of the heart* // Biomedical Engineering Online. – 2013. – 12:54.
- [2] Pravdin S.F. *Non-axisymmetric mathematical model of the cardiac left ventricle anatomy* // Russian Journal of Biomechanics. – 2013. – Vol.17, No. 4 (62). – P. 75–94.
- [3] Torrent-Guasp F. *The Cardiac Muscle*. – Madrid: Fundacion Juan March, 1973
- [4] Pettigrew J. *On the arrangement of the muscular fibers of the ventricular portion of the heart of the mammal* // Proc. Roy. Soc. – 1860. – Vol. 10. – P. 433–440.
- [5] Streeter D.D.J.R. *Gross morphology and fiber geometry of the heart* // Handbook of Physiology. – Sec. 2, Vol. 1. – Bethesda, Maryland: Am. Physiol. Soc., 1979. – P. 61–112.
- [6] Pravdin S.F., Dierckx H., Katsnelson L.B., Solovyova O., Markhasin V.S., Panfilov A.V. *Electrical wave propagation in an anisotropic model of the left ventricle based on analytical description of cardiac architecture* // PLOS One. – 2014. – Vol. 9(5). – P. e93617.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АНАТОМИИ И ОРИЕНТАЦИИ ВОЛОКОН ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА

А.А. Кошелев^{1,2}, С.Ф. Правдин^{2,3}, О. Соловьева^{1,3}, А.В. Панфилов⁴ и В.С. Мархасин^{1,3}

¹Уральский федеральный университет, ²Институт математики и механики УрО РАН,

³Институт иммунологии и физиологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия; ⁴Гентский университет, Гент, Бельгия

Мы описываем математическую модель формы и ориентации волокон левого желудочка сердца человека. Эта модель основана на нашей недавно разработанной аналитической модели анатомии ЛЖ [1, 2], но с более точным моделированием базальных и апикальных регионов. ЛЖ состоит из множества поверхностей миокарда (листов), каждый из которых образован из континуума кривых, имитирующих волокна миокарда. Касательные к этим кривым создают поле направлений миокардиальных волокон. Модель разработана на базе концепции Торрента-Гауспа [3] мышечных полос ЛЖ и идеи Петтигрю [4, 5] вложенных поверхностей.

При сравнении нашей прежней модели [1], [2] с экспериментальными данными, мы обнаружили, что расположение мышечных волокон в средней части ЛЖ хорошо согласуется с экспериментальными данными [3]. В то же время, на базе ЛЖ и верхушке, направления волокон не совпадают с экспериментальными данными. В базальной части ЛЖ, мышечные волокна должны проходить из эпи- в эндокардиальные слои, пересекая базу ЛЖ с определенным поворотом, в то время как в модели, все волокна резко втыкаются в базу и обрываются. В вершинной части ЛЖ, мышечные поверхности должны сформировать полу-тороидальную поверхность с небольшим отверстием на верхушке ЛЖ. Напротив, в модели, они закручены вокруг вертикальной оси как винт. Эти расхождения модели с фактической структурой ЛЖ привел нас к усовершенствованию модели для верхних и нижних регионов ЛЖ.

В усовершенствованной модели, средняя часть ЛЖ описывается аналогично предыдущей модели, т.е. с помощью спиральных поверхностей со специальными наборами кривых. В базальной и апикальной части ЛЖ, волокна миокарда строятся как параметрические кривые в цилиндрической системе координат. Эти кривые плавно присоединяются к кривым из средней части ЛЖ на эпи- и эндокардиальных слоях, проходят по базе LV или верхушке, соответственно, и образуют полу-тороидальную поверхность. Входными параметрами для базальной и апикальной кривых являются: конечные точки и касательные волокон из средней части ЛЖ, высота базальной и апикальной части и углы поворота волокон вокруг вертикальной оси. Мы использовали метод Стритера [5] измерения углов закрутки волокон.

В новой модели, электрические волны возбуждения могут распространяться от одного мышечного листа на другой не только трансмурально поперек волокон, но и непосредственно вдоль волокон через основание ЛЖ или верхушку. Эта модель позволяет, построить архитектуру ЛЖ и более точно моделировать электрические и механические процессы в базальной и апикальной области. Как мы показали в наших предыдущих исследованиях, форма и направления волокон ЛЖ в этих регионах, особенно в апикальной области, имеют важное значение для динамики электрических волн (например спиральных волн, смотрите [6]) и соответствующих сокращений ЛЖ.

Благодарность Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №14-35-00005).

Литература

1. Pravdin S.F., Berdyshev V.I., Panfilov A.V., Katsnelson L.B., Solovyova O., Markhasin V.S. *Mathematical model of the anatomy and fibre orientation field of the left ventricle of the heart* // Biomedical Engineering Online. - 2013. - 12:54.
2. Pravdin S.F. *Non-axisymmetric mathematical model of the cardiac left ventricle anatomy* // Russian Journal of Biomechanics. - 2013. - Vol.17, No. 4 (62). - P.75-94.
3. Torrent-Guasp F. *The Cardiac Muscle*. – Madrid: Fundacion Juan March, 1973
4. Pettigrew J. *On the arrangement of the muscular fibers of the ventricular portion of the heart of the mammal* // Proc. Roy. Soc. - 1860. - Vol. 10. - P.433-440.
5. Streeter D.D.J.R. *Gross morphology and fiber geometry of the heart* // Handbook of Physiology. - Sec. 2, Vol. 1. - Bethesda, Maryland: Am. Physiol. Soc., 1979. - P.61-112.
6. Chen J., Liu W., Zhang H.; *Regional ventricular wall thickening reflects changes in cardiac fiber and sheet structure during contraction: quantification with diffusion tensor MRI*. //Am J Physiol Heart Circ Physiol. 289 2005:H1898-H1907.
7. Pravdin S.F., Dierckx H., Katsnelson L.B., Solovyova O., Markhasin V.S., Panfilov A.V. *Electrical wave propagation in an anisotropic model of the left ventricle based on analytical description of cardiac architecture* // PLOS One. - 2014. - Vol. 9(5). - P.e93617.

MATHEMATICAL MODEL OF THE ANATOMY AND FIBRE ORIENTATION OF LEFT VENTRICLE OF THE HEART

A.A. Koshelev^{1,2}, S.F. Pravdin^{2,3}, O. Solovyova^{1,3}, L. Katsnelson³, A.V. Panfilov⁴ and V.S. Markhasin^{1,3}

¹Ural Federal University, ²Institute of Mathematics and Mechanics UB RAS,

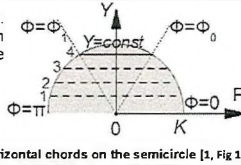
³Institute of Immunology and Physiology UB RAS, Yekaterinburg, Russia; ⁴Ghent University, Ghent, Belgium

INTRODUCTION

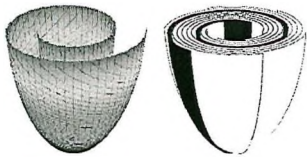
We describe a mathematical model of the shape and fibre orientation of the left ventricle of the human heart. This model is based on our recently developed analytical model of the LV anatomy [1, 2], but a more accurate simulation of the basal and apical regions has been further developed. The LV is composed of a set

of myocardial surfaces (sheets), each formed of a continuum of curves simulating myocardial fibres. Tangents to these curves create the myofibre direction field. The model is designed on the base of Torrent-Guasp's concept [3] of the LV muscular bands and Pettigrew's idea [4, 5] of nested surfaces.

A symmetric analytical model of the LV anatomy has been recently developed [1]. The whole LV model was obtained as an infinite set of spiral surfaces (sheets). On each surface, there is a set of curves simulating myocardial fibres. The fibres are obtained as images of semicircle chords parallel to its diameter.



Horizontal chords on the semicircle [1, Fig. 1].



A spiral surface on the left [1, Fig. 8], a schematic representation of the LV on the right, suggested in [5, Fig. 3 D].



Spiral surfaces used in the model of convex LV with a thick equator [1, Fig. 11]. Fibres are images of the semicircle chords (black lines).

Based on the symmetric LV model, an asymmetrical model of the LV anatomy has been developed [2]. MRI data were used for the model fitting to the LV shape of a personal heart. Diffusion tensor data were then used to validate the model.



Spiral surface used in the model of the human LV with fibres presented as images of the chords [2, Fig. 6].

First, Oz axis of the LV was built, and then plane sections were obtained by the intersection of the LV with a few meridian half-planes passing through the axis. The whole spiral surface was constructed by a piecewise-linear interpolation of the set of meridian sections.

MODEL FORMULATIONS

In the presented model, we consider the LV as a body of rotation with an axis OZ. Then we divide it into two parts. One is the sub-equatorial middle-to-apical part; another is the over-equatorial basal part. In the symmetrical model, we define a radius at the LV equator, the height and wrapping angle of the middle-to-apical and basal parts, wall thickness at the equator and at the apex. Next, we construct a fibres layer as a spiral surface defined by explicit analytical functions in the cylindrical coordinates as follows:

$$\rho(r, \psi) = (R_j - \gamma L_j) \cdot \left(1 - \frac{\sin(\psi)}{\sin(\pi/2)}\right)^{\gamma}, \quad \varphi = \varphi_0 + \gamma \Delta \varphi_j, \quad z(r, \psi) = (-1)^j (Z_j - \gamma h) f_j(\psi) + (-1)^j \Delta h,$$

$$\gamma_{j,0} \leq \gamma \leq \gamma_{j,1}, \quad \min\left\{0, (-1)^j \cdot \frac{\pi}{2}\right\} \leq \psi \leq \max\left\{0, (-1)^j \cdot \frac{\pi}{2}\right\}, \quad f_1(\psi) = \sin(\psi), \quad f_2(\psi) = \left(\frac{|\psi|}{\pi/2}\right)^{\alpha}$$

$j=1, -\frac{\pi}{2} \leq \psi \leq 0$ is the middle-to-apical part of the LV, $j=2, 0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{2}$ is the basal part of the LV; $\gamma_{j,0}$ is the sub-epicardial, $\gamma_{j,1}$ is the sub-endocardial layers; $\Delta \varphi_1 = 3\pi$ is the wrapping of the middle-to-apical part,

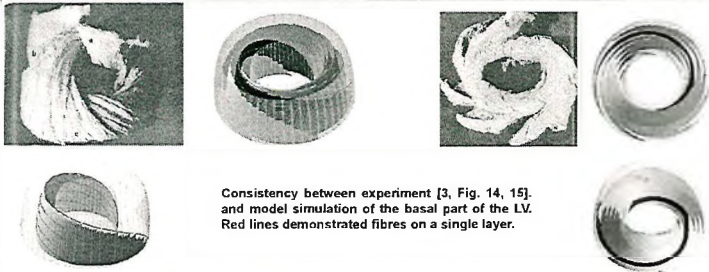
$\Delta \varphi_2 = -2\pi$ is the wrapping of the basal part; R_j is radius at the LV equator, L_j is wall thickness at the equator, Z_j is height of the middle-to-apical and basal parts, h is wall thickness at the apex, $2 \cdot \Delta h$ is height of the equatorial part.

One fibre on the layer we construct as a space curve defined by the equation

$$\psi = (-1)^j \cdot \left(1 - \frac{\sin(\alpha(r_{j,0} + \Delta r))}{\sin(\alpha r)}\right) \cdot \gamma_{j,0} + \Delta \gamma \leq \gamma \leq \gamma_{j,1} - \Delta \gamma.$$

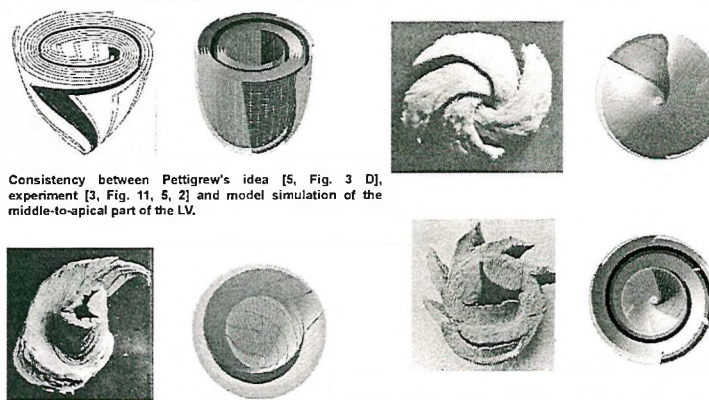
The whole left ventricle is composed of the middle-to-apical and basal parts, with appropriate values of parameters. Thin equatorial region between the parts is used for sufficiently smooth connection between the fibres from the upper and lower left ventricle parts. For the model personalization to the real heart, we fit a meridional section of the LV at a fixed angle φ . Then we interpolate meridional sections as described in [2] and construct the whole LV body.

The basal part of the LV



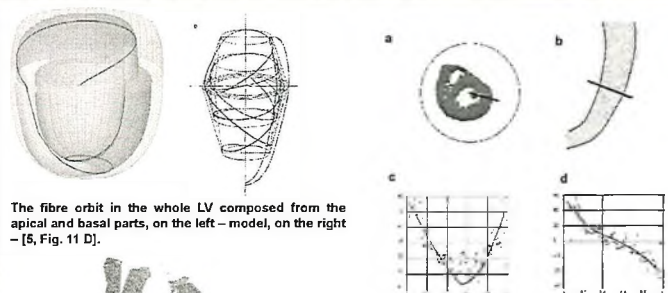
Consistency between experiment [3, Fig. 14, 15] and model simulation of the basal part of the LV. Red lines demonstrated fibres on a single layer.

The middle-to-apical part of the LV



Consistency between Pettigrew's idea [5, Fig. 3 D], experiment [3, Fig. 11, 5, 2] and model simulation of the middle-to-apical part of the LV.

COMPARISON WITH EXPERIMENT



The fibre orbit in the whole LV composed from the apical and basal parts, on the left – model, on the right – [5, Fig. 11 D].



Left ventricle MRI data on apical viewing [6] and fitted of sub-endocardial and sub-epicardial border by the modeled geometry.

Inclination angles of fibres in the model vs. experimental data. The LV free wall, middle segment. a – a short-axis view of the LV, the line – a normal to the sub-epicardium (EPI); b – an apical view of the LV, the line – a normal to the EPI layer; c, d – the true fibre angle and the helix angle. The abscissa axis – transmural distance from the ENDO layer in the LV wall, 0 corresponds to the ENDO, 1 – to the EPI.

(http://gforge.icm.jhu.edu/gf/project/dlmi_data_sets/docman)

Acknowledgements This work is supported by the Russian Science Foundation (grant N14-35-00005)

References

- Pravdin S.F., Beryshev V.I., Panfilov A.V., Katsnelson L.B., Solovyova O., Markhasin V.S. *Mathematical model of the anatomy and fibre orientation field of the left ventricle of the heart* // Biomedical Engineering Online. - 2013. - 12:54.
- Pravdin S.F. *Non-axisymmetric mathematical model of the cardiac left ventricle anatomy* // Russian Journal of Biomechanics. - 2013. - Vol. 17, No. 4 (62). - P.75-94.
- Torrent-Guasp F. *The Cardiac Muscle*. - Madrid: Fundacion Juan March, 1973
- Pettigrew J. *On the arrangement of the muscular fibers of the ventricular portion of the heart of the mammal* // Proc. Roy. Soc. - 1860. - Vol. 10. - P.433-440.
- Streeter D.D.J.R. *Gross morphology and fiber geometry of the heart* // Handbook of Physiology. - Sec. 2, Vol. 1. - Bethesda, Maryland: Am. Physiol. Soc., 1979. - P.61-112.
- Chen J., Liu W., Zhang H. *Regional ventricular wall thickening reflects changes in cardiac fiber and sheet structure during contraction: quantification with diffusion tensor MRI* // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. - 2005. - H1898-H1907.
- Pravdin S.F., Diarco H., Katsnelson L.B., Solovyova O., Markhasin V.S., Panfilov A.V. *Electrical wave propagation in an anisotropic model of the left ventricle based on analytical description of cardiac architecture* // PLOS One. - 2014. - Vol. 9(5). - P.e83617.

CONCLUSIONS

- In the improved LV model, fibres from the middle part do not stop at the equator but pass it smoothly connecting with corresponding fibres from the basal part. The whole LV is presented as a wrapping fibre bag.
- The model of the LV fibre morphology became more flexible, as one can separately select geometry parameters for the middle-to-apical and basal parts.
- Comparison of fibre inclination angles between the model and experiment shows that the model adequately reproduces fibre directions in most LV regions.

- In the modified model, electrical excitation waves can propagate from one muscular sheet to another not only transversally across the fibres, but also directly along the fibres through the LV base and through the apex. This model allows one to fit the LV architecture and to simulate the electrical and mechanical processes in the whole LV more accurately. As we showed in our previous studies, the LV shape and fibre directions, especially in the apical region, are essential for dynamics of the electrical waves (e.g. spiral waves, see [7]) and following LV contraction.