

УДК 62-1,62-4

© 2015 г. Петухов С.В., Свиринов В.И., Хазина Л.В.

**БИОНИКА СПИРАЛЬНЫХ СТРУКТУР***Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва*

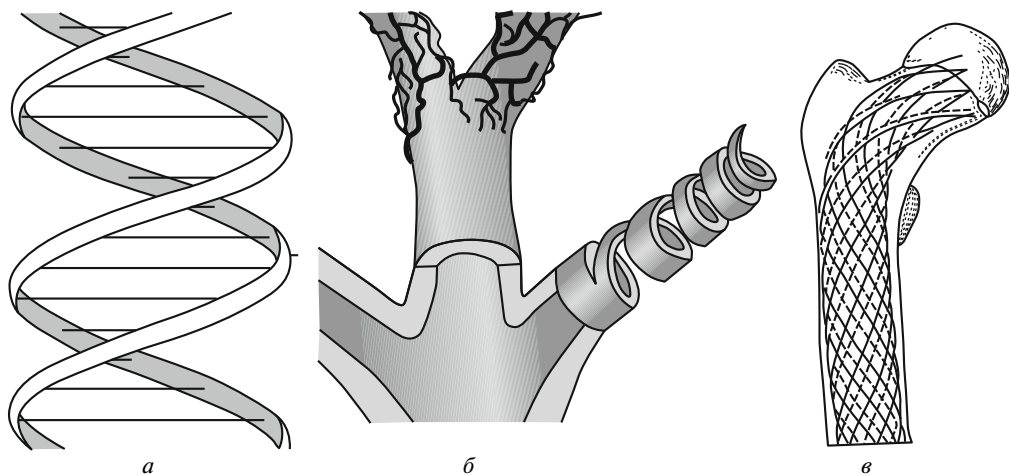
Статья посвящена бионическим аспектам машиноведения, связанным со спиральными конструкциями и процессами в теле человека и других живых организмов. Описываются возможности бионических устройств спиральной организации, включая гидроволновые стимуляторы спирального действия. Представляется гемоволновая концепция вибродвижителя немышечного характера для кровотока на основе волновых сил в условиях вибрации белков крови при их циклических конформационных изменениях.

В проблемах надежности систем “человек–машина” человеку-оператору как звену управления издавна уделяется значительное внимание. Характерной чертой современности является то, что едва ли не все органы человеческого организма протезируются (сердце, кости, нижние и верхние конечности, печень, почки, органы слуха и зрения и пр.), а компьютерные чипы встраиваются в человеческое тело. В силу этого усредненный человек все более сам становится системой “человек–машина” (киборгом). Соответственно, для инженеров-конструкторов возрастает необходимость знаний о фундаментальных особенностях биомеханических систем.

Настоящая статья представляет материалы об использовании достижений нелинейной волновой механики [1, 2] в моделировании и осмыслении ряда фундаментальных особенностей живой материи, включая спиральную организацию живых тел и процессов в них. При этом специальное внимание уделяется исследованиям гидроволновых стимуляторов физиотерапевтического назначения на основе спиральных вакуум-прессующих струй.

Еще В. Гёте называл спирали “символом жизни” в силу множественной реализации наследуемых спиральных структур и процессов в живых телах на самых разных линиях и уровнях биологической эволюции. В теле человека генетически наследуемые из поколения в поколение спиральные конструкции представлены в мышцах, сердце, сосудах, костях, нервах, органе слуха (улитка уха), клеточной организации эмбриона (зиготы) и пр. (рис. 1). Структура сухожилий и связок имеет вид спиралей, которые в свою очередь, состоят из коллагена, имеющего строение тройной спирали. Спиральные движения (нутации) наблюдаются при росте корней и побегов, спирально закручиваются усики растений, по спирали происходит рост тканей в стволах деревьев и пр. В связи со спиральными биоконфигурациями все потоки жидкостей в организме – крови, лимфы, мочи – имеют спиральный характер. Название “Линии жизни” – книги о биоспиралах [3] – отражает их важность для живой материи.

Современная кардиология обращает особое внимание на спиральную организацию сердца, в частности в связи с проблемой сердечной недостаточности и применением электрокардиостимуляторов (ЭКС) [4]. Сердце образуется одной мышцей, закрученной в спираль, что позволяет увеличить силу сокращения волокон миокарда для обес-



**Рис. 1.** Примеры спиральных биоконструкций: *а* – двойная спираль ДНК; *б* – спиральная укладка мышц в стенках артерий; *в* – спирали композитной ткани кости

печения кровотока (по аналогии с выкручиванием мокрого белья прачкой для отжима воды). Принцип спирального закручивания повторяется на всех уровнях макро- и микроструктуры сердца. Кроме обеспечения достаточной силы сокращения данная закрутка преследует цель подчинить все отделы сердца определенной последовательности сокращения. Все это оказалось важным, в частности, для понимания того, почему порой изменение положения ЭКС на 1–2 см создает абсолютно разный эффект на сократительную функцию миокарда, иногда практически противоположный, а время прохождения импульса от ЭКС до миокарда увеличивается в 10–12 раз. Спиральные волны в сердце являются причиной аритмий. Учет винтового характера кровотока ведет к новым технологиям хирургических операций, которые не нарушают такой кровоток, а также конкретизирует требования к протезам сердечных клапанов и сосудов для исключения хаотического турбулентного движения крови, приводящего к тромбообразованию [5].

Спиральный принцип организации прослеживается как на уровне отдельных мышц, так и всей совокупной мышечной системы, в которой мышцы функционально объединены в группы мышечных спиралей, например, для согласованной работы туловища и конечностей за счет мышечных спиралей, переходящих с одной стороны тела на другую и объединяющих правую и левую половины тела. Учет этой биоспиральности позволил ввести в практику костюм коррекции движений “Спираль” для больных церебральным параличом [6].

Приведем примеры инженерного использования биоспиралей как патентов живой природы. Спиральные принципы движения используются множеством бактерий, которые перемещаются в окружающей среде при помощи длинных жгутиков, завитых спиралью и вращающихся с высокой скоростью в разных режимах, обеспечивая прямолинейное движение, кувырки и повороты. Этот патент живой природы перенесен в Швейцарии в технику медицинских спиральных микророботов, запускаемых в тело пациента и движущихся за счет искусственных жгутиков в виде спиральных ленточек под управлением магнитного поля [7].

На спиральных генетических молекулах ДНК создаются молекулярные ДНК-компьютеры с целью их использования внутри организма для управления дозированным выделением лекарственных препаратов и пр. [8]. Патентованная сосудистая канюля с рабочей частью в виде спирали по аналогии с винтовым строением мышечной оболочки артерий позволяет оптимизировать микрогемодиализацию и транскапилляр-

ный обмен [9]. На основе открытия винтового движения крови запатентовано искусственное сердце [10]. Зачастую в природных, в том числе полимерных материалах самообразование спиральных структур происходит в связи с солитонными и доменообразующими процессами [11, 12]. С учетом этих знаний авторами статьи разрабатывается тема искусственных мышц на основе спирализованных полимерных нитей.

Спирали в живой материи имеют существенные отличия от спиралей в неживой природе: 1) они генетически наследуются по цепи поколений и связаны со структурами молекулярно-генетической системы, пронизанной спиральями и суперспиральями на разных уровнях ее организации — от молекул ДНК до хромосом; 2) характеристики биологических спиралей связаны с числами Фибоначчи на разных уровнях и ветвях биологической эволюции — от альфа-пептидов до строения целостных тел растений и животных, что отражено в известных биоматематических “законах филлотаксиса (листорасположения)”, которым в мире посвящены тысячи публикаций [13, 14].

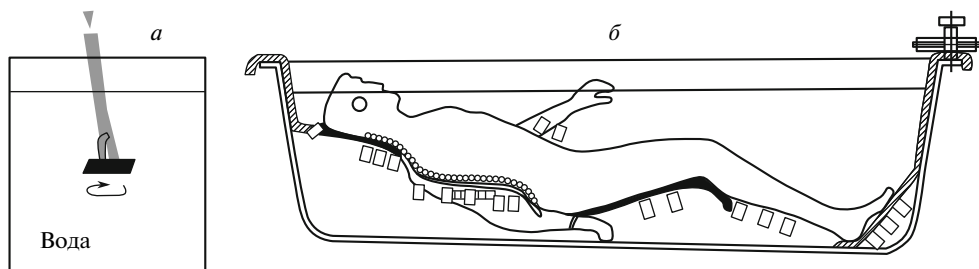
Для физиотерапевтического применения перспективны гидроволновые стимуляторы физиологических функций (или, кратко, гидромассажеры), генерирующие спиральные струи вакуум-прессующего действия для физиотерапии (патенты [15, 16]). Эти стимуляторы исследуются в настоящее время в ИМАШ РАН и Научном центре нелинейной волновой механики и технологии РАН совместно с медиками “Федерального научно-клинического центра специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства”. Данный тип спиральных гидровоздействий объединяет в себе сразу несколько видов воздействий, которые по отдельности давно применяются в физиотерапии в силу их эффективности. Во-первых, в современные учебники массажа переключались из книг Древнего Китая и даосских мудрецов утверждения об особой ценности именно спирального массажа. Согласно им, массажные движения, выполняемые по спирали, укрепляют жизненные силы потому, что связаны с наследуемыми спиральными процессами и структурами.

Во-вторых, в разных разделах медицины — общей хирургии, стоматологии, офтальмологии, гинекологии и пр. — давно используются вакуумные воздействия для интенсификации крово- и лимфоточного организма, рассасывания воспалений, облегченного введения лекарственных составов, лечения раневых поверхностей (метод наружной вакуум-аспирации выдающегося русского хирурга Н.И. Пирогова) и т.д. [17–19]. Известным всем примером являются медицинские вакуумные банки, издревле используемые при лечении простуд и многих других нарушениях здоровья.

В-третьих, известно, что наибольшим лечебным эффектом обладает вибрационный массаж в следующих диапазонах частот вибраций: низком 10–50 Гц, среднем 100–300 Гц и высоком 1000 Гц и более [20, 21]. В названных гидромассажерах используется средний из этих частотных диапазонов.

В-четвертых, гидромассаж относится к области гидротерапии, одной из древнейших в медицине, в которой поколениями медиков разработано множество лекарственных составов на водной основе (содовые, радоновые, йодобромные, углекислые, сероводородные и пр.), примененных также в этих гидромассажах. Согласно эволюционной теории, живые организмы вышли на сушу из воды. Поэтому, попадая в воду, организм человека переходит в особое физиологическое состояние, особенности которого зависят от состава воды и действующих при этом физико-химических факторов. В частности, в этом состоянии меняются характеристики его кожного покрова, в том числе проницаемость кожи для проникновения лекарств внутрь организма. Кожа человека, в отличие от всех остальных приматов, имеет ряд уникальных особенностей, включая отсутствие развитого волосяного покрова, расположение по всему телу потовых желез и открытость его кожного покрова воздействию факторов внешней среды, в том числе волновых и вибрационных.

Гидромассажер описываемого типа при его подключении к шлангу с давлением воды в 2 атмосферы и более и погружении в ванну (или другую емкость с водой) формирует спирально закрученные водяные струи вакуум-прессующего воздействия на кож-



**Рис. 2.** Иллюстрация (а) спирально-вакуумного характера струи из гидромассажера, притягивающей легкую дощечку и заставляющей ее при этом вращаться. Схема человека (б), принимающего в ванне сеанс гидроволновой стимуляции на коврик, содержащем множество гидроволновых насадок (из [22])

ный покров человека (рис. 2). Это достигается за счет наличия особых каналов в таком стимуляторе и взаимодействия отдельных струй из них при объединении в общую итоговую струю. При этом вакуум периодически создается с частотой в 100–300 Гц за счет разрыва сплошности воды в центре исходящей струи и образования там паровоздушной смеси. Если к выходному сечению такого гидромассажера, опущенного под воду вместе с истекающей струей, поднести легкую дощечку, то она притянется к этому сечению и будет вращаться вокруг оси насадки (рис. 2, а), что дополнительно иллюстрирует спиральный характер истекающей струи. По данным свойствам эти гидромассажеры принципиально отличаются от сертифицированных в Минздраве РФ традиционных гидромассажных устройств, в которых с помощью водной струи обеспечивается давящее давление переменной величины, флуктуирующей вокруг значения атмосферного давления, без создания фазы вакуума (“присасывающего”, отрицательного давления). В настоящее время в России не известны сертифицированные устройства с такими функциональными свойствами. При надлежащей медицинской сертификации данные гидромассажеры могут использоваться как в водолечебницах, так и в быту в виде насадок на душевые шланги. Варианты потенциального применения этих стимуляторов в физиотерапии многообразны, поскольку они могут применяться в виде как одиночных насадок (сопел), так и ансамблей из многих сопел, объединенных в коврик на дне ванны (рис. 2).

Кроме того, они могут применяться для многих видов физиотерапии и косметологии, например, для применения их уникальных по структуре струй к спине, конечностям, лицу (общие ванны, ванночки для ног, рук, лица и пр.). По предварительным данным эти гидромассажеры обеспечивают выраженный физиотерапевтический эффект в ряде исследованных случаев. В частности, они представляют перспективны для реабилитационных процессов при широком круге заболеваний бронхо-легочной, пищеварительной, мочеполовой систем, астено-вегетативных и психосоматических проявлениях, в спортивной медицине и травматологии. Актуальность названных гидроволновых стимуляторов определена также тем, что в настоящее время российский рынок устройств гидротерапии заполнен зарубежной техникой. Российское правительство указывает на необходимость изменения этого ненормального положения за счет разработки и массового выпуска отечественной сертифицированной техники для гидротерапии.

Нелинейная волновая механика [1, 2] имеет спектр содержательных результатов, которые, в частности, могут помочь в моделировании ряда биомеханических и физиологических феноменов и в разработке новых медицинских устройств. Приведем примеры.

При исследовании проблем стабилизации движения жидкости в цилиндрических трубах с гибким покрытием было выявлено, что в подобных системах самовозбуждаемые волны сопровождаются возникновением односторонне направленных спираль-

ных течений [1, с. 504]. Данные течения могут иметь осевые составляющие скорости, имеющие разные направления в приосевых и в пристенных зонах, а также азимутальные составляющие. Эти результаты ассоциируются с отмеченными выше известными феноменами спиральности течений всех физиологических жидкостей (крови, лимфы и пр.) в упругих каналах живого организма. При этом спиральная организация элементов самих биологических каналов может интерпретироваться как облегчающая спиральные течения биологических жидкостей, а потому поддерживаемая механизмами естественного отбора при передаче по цепи поколений организмов.

Другой пример. Известно, что кровь представляет собой многофазную среду, содержащую наряду с плазмой крови множество видов форменных тел (эритроцитов, тромбоцитов и пр.). Одной из проблем биомеханики является осмысление того, как и за счет каких сил кровь по огромной сети капилляров (их средний размер равен 5–10 мкм, а количество в организме человека оценивается в 160 миллиардов) доставляется к живым тканям для снабжения их кислородом и пр. В исследованиях, посвященных эффективному преобразованию энергии колебаний и волн в энергию мощных односторонне направленных потоков жидких фаз в многофазных системах, было выявлено возникновение дополнительных фильтрационных потоков в пористых средах (в порах с размерами в 1–10 мкм), которые могут возникать при создании дополнительных перепадов давлений порядка 10–100 атм/м. При этом было обнаружено усиленное растворение кислорода и других газов из газовых микропузырьков в данных волновых условиях. Подлежит изучению то, как эти знания могут помочь в понимании феноменов капиллярных сетей кровотока и кислородного обеспечения тканей при учете того, что в кровотоке присутствуют вибрации и волны как от мышечных сокращений сердца и крупных кровеносных сосудов, так и от конформационных трансформаций белков крови.

Сказанное о вибродинамике многофазных сред дает основания для гипотезы о новом дополнительном механизме сердечно-сосудистой деятельности, который можно именовать “третьим сердцем”. Речь идет о следующем. Существующие сегодня представления о движителях крови в организме связаны главным образом с идеей мышечных движителей: 1) сердца как вибромышечного мешка; 2) внутримышечного периферического сердца, работающего благодаря естественным вибрациям скелетных мышц, которые создают эффект распределенного по телу вибрационного насоса [22–24].

Однако работа системы кровоснабжения в организме содержит немало феноменов, которые невозможно или трудно объяснить с позиций представлений об этих мышечных движителях, например, 1) возникновение значительных локальных перепадов давления по ходу кровотока, в том числе в капиллярах, стенки которых лишены мышечных волокон; 2) многократное увеличение или уменьшение объема крови, поступающего в сосуды отдельного органа, в то время как кровоток в соседних сосудах остается неизменным; 3) факты осуществления регионального кровотока без участия нервной системы, управляющей мышцами [25]; 4) избирательное распределение различных фракций крови по органам [26, 27]. Например, старые эритроциты отбираются в селезенку, а кровь с большим количеством кислорода, глюкозы и молодых эритроцитов — в мозг; в беременную матку поступает кровь с большим количеством питательных веществ, чем в это же время в бедренную артерию.

Но кровь представляет собой многофазную систему, содержащую жидкую плазму и взвешенные в ней форменные тельца вместе со множеством белковых мицелл. При этом, как известно, белки постоянно вибрируют из-за их циклических конформационных изменений, в том числе с частотами акустического диапазона [28, с. 75]. Ранее в науке о гемодинамике на эти вибрации множества белковых микровибраторов крови не обращали специального внимания. Нами акцентируется внимание на потенциальной важности кооперативных вибраций белков крови для всей гемодинамики. Изучение подобных многофазных сред в условиях вибрационных воздействий на них (в том числе, микровибрационных воздействий с амплитудами на уровне нановеличин), представленное в работах [1, 2, 29], показывает, что в таких средах возникают

специфические силовые факторы, названные “волновыми силами”. Именно в связи с ними энергия колебаний и волн может эффективно преобразовываться в энергию других — не колебательных — форм движения, например, поступательного движения. Волновые силы в ряде случаев могут не только многократно превосходить силы или градиенты давления, создаваемые известными традиционными способами, но они способны при выполнении определенных критериев радикальным образом изменить картину движений в многофазной системе и привести к совершенно новым волновым явлениям и эффектам. Например, они могут порождать аномальные дополнительные перепады давлений; ламинаризовать и стабилизировать потоки в каналах и пограничных слоях; эффективно разделять и сепарировать многофазные системы жидкости с близкими плотностями; и т.п. Тем самым подобные нелинейные механизмы могут эффективно использоваться в биомеханике кровообращения наряду с давно применяемыми классическими гидродинамическими законами Бернулли и Пуазейля. С учетом этого требует углубленной разработки формулируемая в данной статье гемоволновая концепция вибродвижителя немышечного характера на основе волновых сил (концепция “третьего сердца”) в дополнение к указанным в начале статьи двум видам сердец мышечного типа. При этом возможны новые методы диагностики и лечения кровообращения, опирающиеся на анализ локальных вибрационных характеристик белков крови, например, за счет введения в кровь нанодатчиков. Разработка соответствующих фармакологических и физико-терапевтических методов лечения также должна базироваться на поиске средств устранения нарушений в кооперативной вибрации молекулярных компонентов крови.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ганиев Р.Ф.* Нелинейные резонансы и катастрофы. М.: Научно-издательский центр “Регулярная и хаотическая динамика”. 2013. 591 с.
2. *Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е.* Нелинейная волновая механики и технологии. Волновые и колебательные явления в основе высоких технологий. М.: Научно-издательский центр “Регулярная и хаотическая динамика”, 2011.
3. *Cook T.A.* The Curves of Life. London: Constable and Co., 1914. 490 p.
4. *Кнышов Г.В.* Концепция спиральной структуры сердца: новый этап в лечении сердечной недостаточности // Здоровье Украины. 2005. № 123. С. 2. <http://health-ua.com/articles/1103/html>.
5. *Морозов В.В., Жданов А.В., Новикова Е.А.* Имплантируемая система вспомогательного кровообращения на базе мехатронных модулей. Владимирский гос. ун-т, 2006. 134 с.
6. *Козявкин В.И., Бабадаглы М.О., Лунь Г.П. и др.* Система интенсивной нейрофизиологической реабилитации. Львов: Изд-во “Дизайн-студия Папуга”, 2012. <http://www.reha.lviv.ua/242.0html?&L=3>
7. *Попов Л.* Спиральный робот перенял у бактерий стиль плавания. Мембрана, 2009. <http://www.membrana.ru/particle/1108>
8. *Бененсон Я., Шапиро Э.* Компьютеры из ДНК // В мире науки. 2006. № 9. С. 34—41.
9. *Багаев С.Н., Захаров В.Н., Орлов В.А.* Сосудистая канюля. Патент РФ № 2233632. Б.И. 2004. № 18.
10. *Дробышев А.А., Иткин Г.П., Зимин Н.К. и др.* Искусственное сердце. Патент SU 1803133. Б.И. 1993. № 1.
11. *Петухов С.В.* Биосолитоны. Основы солитонной биологии. М.: ГП Кимрская типография, 1999. 288 с.
12. *Кандаурова Г.С.* Жизнь магнитных доменов // Наука и жизнь. 2007. № 5. С. 26—32.
13. *Петухов С.В.* Биомеханика, бионика и симметрия. М.: Наука, 1981. 239 с.
14. *Джан Р.* Филлотаксис. М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2006. 460 с.
15. *Ганиев Р.Ф., Муфазалов Р.Ш., Захаров В.Н. и др.* Волновое устройство для гидромассажа. Патент РФ № 2008881. Б.И. 1994. № 10.
16. *Ганиев Р.Ф., Васильев Р.Х., Муфазалов Р.Ш. и др.* Устройство для гидромассажа. Патент РФ № 2010559. Б.И. 1994. № 12.

17. *Давыдов К.Л., Ларичев А.Б.* Вакуум-терапия ран и раневой процесс. М.: Медицина, 1999. 160 с.
18. *Коробков А.В.* Физиологические сдвиги при ускорении восстановительных процессов путем использования локального отрицательного давления. Тр. Отдела физиологии спорта. М.: 1974. 52 с.
19. *Михайличенко П.П.* Основы вакуум-терапии: теория и практика. СПб.: АСТ/СОВА, 2005. 185 с.
20. *Федоров В.Л.* Вибрационный массаж. М.: Физкультура и спорт, 1970. 55 с.
21. *Назаров В.Т.* Биомеханическая стимуляция. Минск: Польша, 1986. 95 с.
22. *Аринчин Н.И., Недвецкая Г.Д.* Внутримышечное периферическое сердце. Докл. АН СССР. 1973. Т. 210. № 1. С. 244–246.
23. *Аринчин Н.И., Недвецкая Г.Д.* Внутримышечное периферическое сердце. Минск: Наука и техника. 1974. 150 с.
24. *Назаров В.Т.* Оптимизация человека. Рига: Зинатне, 1997. 185 с.
25. *Конради Г.П.* Регуляция сосудистого тонуса. Л.: Наука, 1973. 326 с.
26. *Гарвей В.* Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. 134 с.
27. *Чижевский Л.А.* Структурный анализ движущейся крови. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 494 с.
28. *Шноль С.Э.* Физико-химические факторы биологической эволюции. М.: Наука, 1989. 262 с.
29. *Ганиев Р.Ф.* Проблемы механики и технологий // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. № 1. С. 3–20.

Москва

Поступила в редакцию 29.IX.2014  
После доработки 26.I.2015