Пути развития систем длительного контроля артериального давления

Румянцева С. А.¹, Ступин В. А.¹, Оганов Р. Г.², Силина Е. В.³, Колесникова Е. А.⁴, Петров В. А.⁵, Касымов В. А.⁵, Шушарина Н. Н.⁵, Ладаний Д. В.⁵, Богданов Е. А.⁵

¹ГБОУ ВПО Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова Минздрава России. Москва; ²ФГБУ Государственный научно-исследовательский центр профилактической медицины Минздрава России. Москва; ³ГБОУ ВПО Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова Минздрава России; ⁴ФГАУ ВПО Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт". Москва; ⁵ФГАУ ВПО Балтийский Федеральный университет им. И. Канта. Калининград. Россия

Обсуждается значение артериальной гипертонии (АГ) в качестве основного предиктора развития сердечно-сосудистых катастроф — инфаркта миокарда и инсульта, и технологические пути решения длительного контроля артериального давления (АД). Представлены новейшие мировые разработки для длительного дистанционного наблюдения за состоянием сердечно-сосудистой системы (ССС), в т.ч. уровня АД у пациентов групп высокого риска. Даны основные характеристики иностранных устройств с инвазивным датчиком АД, а также разрабатываемой российской системы с испытанным макетом датчика АД и реализованным методом беспроводной передачи сигнала и электропитания. Предполагают, что подобное инвазивное устройство в режиме реального времени будет непрерывно передавать информацию о состоянии АД и его значениях, характеризующих состояние СССР. При критических изменениях АД предусмотрены сигналы оповещения, передаваемые на станции наблюдения и лечащему врачу для принятия решений, в т.ч. оказа-

ния экстренной помощи. Такая система позволит повысить эффективность профилактической и медицинской помощи пациентам с сердечно-сосудистой патологией, увеличит продолжительность жизни, сократив при этом затраты бюджета, и не потребует дополнительного привлечения к программе диспансерного наблюдения высококвалифицированных специалистов.

Ключевые слова: артериальное давление, сосудистая коморбидность, профилактика, диспансерное наблюдение, дистанционный мониторинг артериального давления, имплантируемый биосенсор, микроэлектромеханические системы, беспроводная передача данных.

Кардиоваскулярная терапия и профилактика, 2015; 14(1): 78–82
<http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2015-1-78-82>

Поступила 30/10-2014
Принята к публикации 27/11-2014

The ways of long-term blood pressure control systems development

Rumyantseva S. A.¹, Stupin V. A.¹, Oganov R. G.², Silina E. V.³, Kolesnikova E. A.⁴, Petrov V. A.⁵, Kasymov V. A.⁵, Shusharina N. N.⁵, Ladaniy D. V.⁵, Bogdanov E. A.⁵

¹SBEI HPE Russian National Research Medical University n.a. N. I. Pirogov. Moscow, Russia; ²FSBI State Scientific-Research Center of Preventive Medicine. Moscow; ³SBEI HPE First Moscow State Medical University n.a. I. M. Sechenov. Moscow; ⁴FSAEI HPE National Research Center "Kurchatov Institute. Moscow; ⁵FSAEI HPE Baltic Federal University n.a. I. Kant. Kaliningrad, Russia

The significance of arterial hypertension (AH) is discussed as the main predictor of cardiovascular catastrophes development — myocardial infarction and stroke, and technologies for the solution of blood pressure (BP) control. The most modern world developments are presented for the distant observation of cardiovascular system (CVS) condition, including BP level in high risk patients. The main specifications of abroad invasive BP systems are provided, and Russian developing system with a layout of BP sensor and the method of no wired signal transmission and electrical supply. It is presupposed that such invasive device can in real time mode send the data on BP and its values, that characterize CVS condition. In critical BP changes the signals of alarm are incorporated to send to the emergency care stations and to the physician for proper

solutions on the care, including urgencies. Such system might increase the effectiveness of prophylactic and medical care for the patients with cardiovascular pathology, increase the duration of life, and decrease funding, and not need supplementary inclusion of higher qualified specialists for dispensary screening.

Key words: arterial pressure, vascular comorbidity, prevention, dispensary screening, distant monitoring of blood pressure, implantable biosensor, micro-electromechanical systems, no wired data transmission.

Cardiovascular Therapy and Prevention, 2015; 14(1): 78–82
<http://dx.doi.org/10.15829/1728-8800-2015-1-78-82>

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

Тел.: +7 (916) 710-12-65

e-mail: silinaekaterina@mail.ru

[Оганов Р. Г. — академик РАН, д.м.н., профессор, руководитель отдела профилактики коморбидных состояний, главный научный сотрудник, Румянцева С. А. — д.м.н., профессор кафедры неврологии, Ступин В. А. — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой госпитальной хирургии № 1 лечебного факультета, научный руководитель по медицинским вопросам ООО "Медицинские технологии", Силина Е. В. — д.м.н. профессор кафедры патологии человека, Колесникова Е. А. — ведущий специалист, Петров В. А. — студент, Касымов В. А. — к.б.н., старший научный сотрудник, Шушарина Н. Н. — к.п.н., инженер, Ладаний Д. В. — студент, Богданов Е. А. — младший научный сотрудник].

АГ — артериальная гипертензия, АД — артериальное давление, МЭМС — микроэлектромеханическая система, ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания, ССС — сердечно-сосудистая система, ФК — функциональный класс, ЧСС — частота сердечных сокращений, A*STAR — институт микроэлектроники в Сингапуре, GPRS — надстройка над технологией мобильной связи GSM, осуществляющая пакетную передачу данных. GPRS позволяет пользователю сети сотовой связи производить обмен данными с другими устройствами в сети GSM и с внешними сетями, в том числе Интернет. GSM — глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи, с разделением каналов по времени и частоте, Wi-Fi — беспроводная сеть стандартов передачи цифровых потоков данных по радиоканалам, В — вольт, единица измерения электрического потенциала, разности потенциалов, электрического напряжения и электродвижущей силы (СИ), Вт — ватт, единица измерения мощности (СИ), Гц — герц, единица частоты периодических процессов (например, колебаний; 1 Гц = 1 с⁻¹; МГц — мегагерц (10⁶ Гц) (СИ), мм рт.ст. — миллиметр ртутного столба, внесистемная единица измерения давления (1 мм рт.ст. = 101 325 / 760 ≈ 133,322 368 4 Па) (СИ), Па — паскаль, единица измерения давления (СИ), пФ — пикофарад (Фарад — единица измерения электрической емкости (1 фарад = емкости конденсатора, при которой заряд 1 кулон создает между его обкладками напряжение 1 вольт) (СИ).

Введение

Артериальная гипертензия (АГ) — широко распространенное заболевание, один из самых распространенных модифицируемых факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) и смертности во всем мире, регистрируемое у 30-40% взрослого населения планеты, причем, согласно прогнозам Всемирной организации здравоохранения, эти цифры будут увеличиваться, и к 2025г число людей с АГ достигнет 1,6 млрд. человек [1-3]. Взаимосвязь между уровнем артериального давления (АД) и риском ССЗ непрерывна и постоянна, при этом уровень АД прямо пропорционален риску развития ССЗ. Именно поэтому принимаются активные меры по раннему выявлению повышенного АД, предупреждению возникновения АГ, снижению уровня факторов риска ее развития. При этом разрабатываются новые методы лечения, изучаются механизмы действия антигипертензивных препаратов, совершенствуются диагностика и тактика ведения больных. Все эти мероприятия, в конечном счете, направлены на профилактику развития сердечно-сосудистых катастроф, главным образом инфаркта миокарда и инсульта, увеличение продолжительности жизни населения.

Россия относится к странам с высокой частотой АГ, которая с середины 90-х годов прошлого века составляла 39,9% среди мужчин и 41,1% среди женщин. Согласно результатам мониторинга эпидемиологической ситуации по АГ, проводимого в рамках целевой федеральной программы “Профилактика, диагностика и лечение артериальной гипертонии в России”, за последние 10-15 лет эпидемиологическая ситуация, связанная с АГ, не изменилась. В 2004г и 2006г распространенность АГ по-прежнему составляла 39% у мужчин и 41% у женщин, т.е. ~42,5 млн. человек [3-6]. Тому есть много причин. С одной стороны, непонимание серьезности проблем самими больными и их низкая приверженность лечению, которая при АГ не превышает 30%. С другой стороны, невозможность учитывать столь важные суточные ритмы изменения АД, которые определяют развитие инсультов и инфарктов в утренние часы. Наконец, вечная проблема квалифицированных кадров, которая в модели современного здравоохранения вряд ли может быть решена. Все это свидетельствует о невозможности решить эту проблему имеющимися организационными или медицинскими средствами.

Технологичным путем решения этой глобальной проблемы может стать создание устройства

с имплантированным биосенсором для постоянного дистанционного мониторинга АД у людей, относящихся к группам высокого риска по развитию опасных социально значимых ССЗ.

Методы измерения АД подразделяются на прямые и косвенные, а также на инвазивные и неинвазивные. Прямое измерение АД (внутрисосудистого АД) является максимально точной методикой. Однако оно связано с риском развития тромбообразования и иных осложнений, что ограничивает область применения прямого метода измерений АД операционными и отделениями интенсивной терапии.

Особенностью рынка устройств, предназначенных для мониторинга ССЗ, является крайняя ограниченность предлагаемых решений. В настоящее время для персонального мониторинга используются в основном наружные устройства, построенные на принципе тонометра Короткова, позволяющие обеспечивать лишь эпизодический контроль, осуществляемый в большинстве случаев по инициативе пациента в случае появления клинических признаков высокого АД. Измерение АД врачом, увы, чаще преследует административные, а не лечебные цели, да и попасть на прием к специалисту во многих регионах РФ не просто.

Использование имплантируемых устройств в практическом здравоохранении в настоящее время широко обсуждается. Этому способствует как углубление представлений о патофизиологии самого заболевания, так и бурное развитие медицинской техники созданию миниатюрных инвазивных систем. Возможно, что сегодня подобного рода предложения встретят много оппонентов. Когда-то это случилось и с водителями ритма для больных с сердечными аритмиями. Сегодня этот метод отнесен к высокотехнологичным и финансируется бюджетами разных уровней. Ежегодно в стране устанавливаются тысячи пейсмекеров, позволяющих сохранять жизнь россиянам, а имен оппонентов уже никто и не помнит.

Таким образом, разработка имплантируемого биосенсора для эффективного и безопасного постоянного дистанционного мониторинга АД и своевременной диагностики нарушений работы сердечно-сосудистой системы (ССС) является актуальной задачей. Поэтому целью настоящей работы стал анализ мировой литературы и патентной проработки данных о новейших методах инвазивного мониторинга состояния ССС с регистрацией уровня АД для создания устройства постоянного инвазив-

ного дистанционного мониторинга критических изменений показателей ССС у пациентов с сосудистой коморбидностью.

Разрабатываемые мировые технические решения по инвазивному определению АД

Анализ новейших мировых решений в этой области продемонстрировал их ограниченность. Однако, учитывая возросший интерес медиков к этой проблеме и технический прогресс, предвещают значительное увеличение выпуска подобных устройств в среднесрочной перспективе.

Наиболее известным среди новейших технических разработок по измерению АД является CardioMEMS (система мониторинга для больных с сердечной недостаточностью CardioMEMS, США) [7]. Оно определяет уровень давления в легочной артерии пациента и передает эти сведения по беспроводной связи в централизованную базу данных, причем врачи получают к ней доступ через специальный сайт [8]. Электромеханический датчик этого устройства изготовлен по технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС) и имеет размеры 3,5х2х15 мм. Анкерные петли из нитинола (немагнитного никель-титанового сплава) удерживают прибор в артерии, где он не мешает кровотоку. Основными преимуществами устройства, по мнению разработчиков, являются относительно простая имплантация с помощью катетеризации правых отделов сердца и отсутствие внешних источников питания, которое производится от внешней антенны, прикрепленной на теле пациента. В 2010г проводилось исследование дистанционного мониторинга 1600 пациентов с хронической сердечной недостаточностью функциональный класс (ФК) III (NYHA). Через 6 мес. отмечено снижение экстренных госпитализаций на 39%, однако снижение смертности не установлено [7, 9]. Важно отметить, что сведения о внутриартериальных осложнениях авторы не учитывали. Основными недостатками датчика являются зависимость от положения пациента (необходимо проводить измерения только в горизонтальном положении пациента), термозависимость, неточность при изменении веса, одышке, отсутствие возможности регистрации нескольких параметров ССС. Ограничивает широкое клиническое применение этого устройства опасность тромбозов (имплантация датчика внутрь крупного сосуда, легочную артерию), а также высокая стоимость (15 тыс. \$, включая расходы на госпитализацию и имплантацию).

Ученые института микроэлектроники A*STAR (Сингапур) разработали в 2012г беспроводной пассивный датчик мониторинга АД [10, 11]. Имплантат встраивается в искусственный сосуд, и питается от портативного внешнего регистратора, который использует индуктивный метод

связи для беспроводной передачи энергии (две миниатюрные катушки в сочетании с увеличенным звуковым усилителем). Отсутствие элемента питания и малое потребление (21,6 мкВт) являются достоинствами устройства. В настоящее время создан прототип устройства, протестированного с тканью толщиной в 5 см. При этом установлена чувствительность к определению давления с разрешением 1172 Па. При этом разработчики заявляют о возможности измерения только АД без других параметров работы ССС. В 2014г был запланирован старт экспериментального исследования на животных [12], однако его результаты пока не опубликованы, что не позволяет судить о недостатках и безопасности метода.

Другим нестандартным решением стало разрабатываемое в настоящее время в Стэнфордском университете (группа Интегрированных биомедицинских систем) имплантируемое устройство, работающее без проводов и батарей в крови человека [13]. Это автономный имплантат, размером с булавочную головку (3х4 мм), антенной 2х2 мм, мощностью 2 Вт и частотой 1,86 Гц без батарейки, способный двигаться внутри сосудистого русла со скоростью 0,53 см/сек, передавая данные о состоянии внутрисосудистого гомеостаза. Устройство находится на стадии научно-исследовательских работ, поэтому точная область применения, а также недостатки пока не установлены.

Из других незарегистрированных новейших технических решений представляет интерес имплантируемая сенсорная система беспроводного мониторинга пациентов с АГ [14]. Эта система представляет собой имплантируемый в бедренную артерию датчик для прямого измерения АД и подкожно телеметрический блок, который беспроводным способом подключен к носимому блоку, выполняющему функции считывания информации с датчика, его управления, записи и визуализации результатов измерений и энергообеспечения всей системы. Система позволяет производить прямое измерение АД в потоке крови в диапазоне 30-300 мм рт.ст. с точностью $\pm 1,0$ мм рт.ст. с частотой дискретизации сигнала 30 Гц и, кроме этого, дополнительно измерять температуру в диапазоне 15-45 °C и частоту сердечных сокращений (ЧСС). Основными недостатками устройства являются большой размер биосенсора (5,6х0,7 мм), вес носимого блока, малое расстояние беспроводного соединения (до 10 см), невозможность оценки состояния сосудистой стенки и, самое главное, опасность внутриартериального тромбоза вследствие внутриартериальной имплантации. Рекомендованная область применения — ургентная медицина с кратковременным контролем за функционированием ССС. Проведены первые успешные доклинические исследования этой системы (датчик имплантировали 5 овцам на 3-5 сут.).

Новейшей работой, демонстрирующей возможность применения метода косвенного (оптического) измерения АД является работа [15]. В состав имплантируемой сенсорной системы входит оптический узел для регистрации фотоплетизмограмм, закрепленный на артерии и одного из двух электрокардиографических электродов, расположенный подкожно, вблизи оптической части сенсора. Физические принципы, используемые для регистрации АД, — зависимость скорости распространения пульсовой волны давления крови по сосудам от уровня давления, при этом сенсор имплантируется на сонную артерию диаметром 4–5 мм. Кроме функции измерения давления система позволяет регистрировать электрокардиограмму, ЧСС, насыщенность крови кислородом, концентрации карбокси- и метгемоглобина, изменения в скорости распространения пульсовой волны. В результате исследования данной системы на одной свинье, находящейся под наркозом, выявлены недостатки в виде необходимости индивидуальной калибровки сенсора после его имплантации и погрешность измерения АД в 6 мм рт.ст. Основными недостатками метода является необходимость проведения сложной операции по установке оптической части сенсора, место имплантации — сонная артерия, повреждение которой чревато инсультом, отсутствует возможность беспроводной связи с персональным компьютером, мобильным телефоном, зависимость от положения — нет данных о работе прибора на движущихся биологических объектах.

Авторская российская разработка устройства для длительного инвазивного дистанционного контроля состояния и критических изменений ССС у пациентов с коморбидностью

Тесное сотрудничество команды медицинских и технических специалистов из разных организаций, в т.ч., на площадке ООО “Медицинские технологии”, привело к разработке технического решения для создания инвазивного биосенсора постоянного дистанционного мониторинга функционального состояния ССС, в частности, АД, с функцией оповещения о критических изменениях в ССС. Передача результатов на внешнее устройство (трансмисмиттер) для непрерывной трансляции данных на сервер медицинского учреждения в режиме реального времени использует сотовые каналы связи.

Создан макет системы, состоящей из конденсатора переменной емкости с измеренной базовой емкостью, составляющей 4 пФ и радиочастотного модуля, предназначенного для работы в полосе 433 МГц. Этот диапазон частот предназначен для передачи данных на трансмиттер. Беспроводная передача электропитания осуществляется на частоте 13,56 МГц. Отклик АД моделируется путем измене-

ния переменной емкости на несколько пФ относительно опорной емкости. Время для достижения порогового значения триггера Шмитта прямо пропорционально емкости конденсатора, следовательно, для переменного и опорного конденсаторов время будет разным. Это необходимо для конвертации сигнала в импульс в модуле интерфейса датчика. Далее сигнал оцифровывается и передается в виде импульса на внешнее устройство (трансмисмиттер) или сохраняется в памяти имплантата.

В качестве устройства для измерения АД служит твердотельный имплантируемый емкостной датчик давления. Данное устройство представляет собой резонансный контур, состоящий из осциллятора с чувствительным к изменению давления элементом (гибким конденсатором). Емкость датчика АД является функцией давления окружающей среды, в которой он находится. Имплантированный чип соединен с внешним приемо-передающим устройством (радио-трансмисмиттером). По изменению резонансной частоты между трансмиттером и имплантатом можно сделать вывод о состоянии АД пациента. Разрабатывается реализация мультипараметричности регистрируемых физиологических значений, не только систолическое, диастолическое и пульсовое АД, но и ритм сердечных сокращений и ЧСС, скорость передачи пульсовой волны. Для этого датчик (биосенсор) мониторинга физиологических параметров ССС должен включать в себя несколько (не менее двух) чувствительных элементов.

Датчик АД создан по технологии изготовления МЭМС, обеспечивающей миниатюризацию компонентов. Благодаря своим размерам, имплантация микродатчика для мониторинга физиологических параметров ССС малоинвазивная. Трансмисмиттер, осуществляющий регистрацию, первичную обработку и вычисление физиологических параметров ССС, будет оборудован необходимым набором интерфейсов для передачи цифровых данных на компьютер лечебно-профилактического учреждения и/или лечащего врача. Будут использованы такие сетевые системы связи как WiFi или GPRS (General Packet Radio Service) — пакетная радиосвязь общего пользования, представляющая надстройку над технологией мобильной связи GSM, осуществляющая пакетную передачу данных. GPRS позволит пользователю мобильного устройства производить обмен данными с другими устройствами в сети GSM и с внешними сетями, в т.ч. Интернет. Кабельная линия USB позволит передать данные на компьютер лечебно-профилактического учреждения и/или лечащего врача и, при необходимости, осуществить заряд аккумулятора трансмиттера.

Проведено исследование конвертирования полученных данных в мм рт.ст. Для эксперимента был использован макет датчика АД, подключенный к блоку питания через индуктор. Выходное напря-

жение составляло 5 В. Для получения временной развертки сигнала использовался цифровой осциллограф. Были измерены емкостные значения в диапазоне 4–20 пФ. Значение опорного конденсатора равнялось 5 пФ, результирующая частота осцилляторов составила 1 кГц. Для проверки и тестирования емкостно-временной цепи импульс передавался на приемник.

Таким образом, результаты технических испытаний говорят о том, что длина сигнала меняется в зависимости от изменения емкости конденсатора, и может быть конвертирована в мм рт.ст. для измерения изменения АД.

Заключение

Очевидно значение АД как основного предиктора развития сердечно-сосудистых катастроф, что объясняет интерес к созданию устройств для постоянного дистанционного мониторинга АД у людей, относящихся к группам высокого риска. Представленные новейшие мировые разработки для длительной диагностики состояния ССС, главным образом контроля уровня АД, демонстрируют возможность реализации медико-социальных запросов. Анализ слабых и сильных сторон новейших разработок таких систем и результаты исследований свидетельствуют о перспективности раз-

рабатываемого российского макета системы, в которой реализован метод беспроводной передачи сигнала и электропитания. Первые успешные результаты испытаний отечественного макета емкостного датчика АД, изменяющего длину сигнала за счет имитированного изменения давления, позволяют сделать следующий шаг исследования эффективности и безопасности на животных. Предполагается, что подобное устройство в режиме реального времени будет непрерывно регистрировать информацию о состоянии ССС человека. При критических изменениях АД предусмотрены сигналы оповещения о необходимости принятия медицинских решений, в т.ч. оказания экстренной помощи. Это позволит повысить эффективность профилактической и медицинской помощи пациентам с сердечно-сосудистой патологией, увеличит продолжительность жизни населения, сократив при этом затраты бюджета, и не потребует дополнительного привлечения к программе диспансерного наблюдения высококвалифицированных специалистов.

Благодарности. Работа проводится при финансовой поддержке государства в лице Министерства образования и науки Российской Федерации (грант 2014-14-579-0084-6272).

Литература

- Young J. The global epidemiology of heart failure. Medical Clinics of North America 2004; 88: 1135-43.
- Roger VL, Grenfell R, Lee R, et al. The hidden epidemic of hypertension. Heart Lung Circ. 2014; 23(4): 381-3.
- Oganov RG, Timofeeva TN, Koltunov IE, et al. Arterial hypertension epidemiology in Russia; the results of 2003-2010 federal monitoring. Cardiovascular Therapy and Prevention 2011; 10(1): 3-7. Russian (Оганов Р.Г., Тимофеева Т.Н., Колтунов И.Е. и др. Эпидемиология артериальной гипертензии в России. Результаты федерального мониторинга 2003-2010 гг. Кардиоваскулярная терапия и профилактика 2011; 10(1): 3-7).
- Oganov RG. Unfulfilled expectations and paradoxes of Preventive Cardiology. Cardiovascular Therapy and Prevention 2009; 8(7): 4-9. Russian (Оганов Р.Г. Несбывшиеся надежды и парадоксы профилактической кардиологии. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2009; 8(7): 4-9).
- Oganov RG, Belenkov YN. Cardiology. National leadership. M.: GEOTAR-Media, 2010; 1232 p. Russian (Оганов Р.Г., Беленков Ю.Н. Кардиология. Национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010; 1232 с).
- Oganov RG, Kalinina AM, Shalnova SA. Prevention of cardiovascular diseases. Guidance of a specialist library. M.: GEOTAR-Media, 2009; 216 p. Russian (Оганов Р.Г., Калинина А.М., Шальнова С.А. Профилактика сердечно-сосудистых заболеваний. Руководство, Библиотека врача-специалиста. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009; 216 с).
- St. Jude Medical acquires CardioMEMS and announces FDA approval of heart failure (HF) monitoring technology. Date Views 10.06.2014 www.cardiomems.com/content.asp?display=news&view=20.
- The CardioMEMS Champion™ HF Monitoring System for Patients with NYHA Class III Heart Failure Executive Summary for the Circulatory Systems Device Panel Advisory Committee. (8 December 2011). Date Views 25.06.2014 www.fda.gov/downloads/AdvisoryCommittees/CommitteesMeetingMaterials/MedicalDevices/MedicalDevicesAdvisoryCommittee/CirculatorySystemDevicesPanel/UCM281514.pdf.
- Abraham WT, Adamson PB, Bourge RC, et al.; CHAMPION Trial Study Group. Wireless pulmonary artery haemodynamic monitoring in chronic heart failure: a randomised controlled trial. Lancet. 2011; 377(9766): 658-66.
- No batteries required. Microscale medical sensors inserted under the skin can be powered wirelessly by an external handheld receiver. (Published online 27 March 2013). Date Views 25.08.2014. www.research.a-star.edu.sg/research/6651.
- Wireless device powers implanted blood-pressure sensor, eliminating batteries. (Published online 29 March 2013). Date Views 25.08.2014. www.kurzweilai.net/wireless-device-powers-implanted-blood-pressure-sensor-eliminating-batteries
- Cheong JH, Ng SS, Liu X, et al. An inductively powered implantable blood flow sensor microsystem for vascular grafts. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2012; 59(9):2466-75.
- Pivonka D, Yakovlev A, Poon F, Meng T. A mm-Sized Wirelessly Powered and Remotely Controlled Locomotive Implant. (Published online May 2013). Date Views 17.08.2014 www.stanford.edu/~adapoon/papers/tbcas12.pdf.
- Cleven NJ, Müntjes JA, Fassbender H, et al. A novel fully implantable wireless sensor system for monitoring hypertension patients. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2012; 59(11): 3124-30.
- Fiala J, Bingger P, Ruh D, et al. An implantable optical blood pressure sensor based on pulse transit time. Biomedical Microdevices. 2013; 15(1): 73-81.