

УДК 621.396.9:616-073

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИНХРОННОЙ ПУЛЬСОМЕТРИИ**В.В. Бороноев, Е.В. Сторчун**

В статье приведены методические особенности пульсовой диагностики по канонам тибетской медицины, а также результаты исследования характеристик пульсовых сигналов и их повторяемости в различных условиях. Получены оценки необходимой длительности процесса регистрации пульсовых сигналов.

Ключевые слова: *пульсометрия, пульсовая диагностика, пульсовый сигнал.*

PROCEDURAL CHARACTERISTICS OF SYNCHRONOUS PULSIMETRY**V.V. Boronoyev, E.V. Storchun**

The article presents the procedural characteristics of pulse diagnostics according to the rules of Tibetan medicine as well as the results of pulse signals studying and their reproducibility in different conditions. The estimations of the required pulse signals lengths have been obtained.

Keywords: *pulsimetry, pulse diagnostics, pulse signal.*

Разработке методов функциональной диагностики с использованием пульсовых сигналов уделяется много внимания в научной и практической медицине: скорость (время) распространения пульсовой волны, контурный и спектральный анализ пульса, энтропийные оценки и т.д. В то же время процессы взаимодействия в биотехнической системе «артерия – мягкие ткани – преобразователь», которые влияют на величину и спектр пульсового сигнала, изучены недостаточно. Особенно это касается методологии полисфигмометрии по канонам восточной медицины, где три зоны регистрации пульса лучевых артерий расположены на участках последних протяженностью ~ 3,8 см.

Возможность получения системных оценок функционального состояния организма человека методами пульсовой диагностики по канонам восточной медицины определило создание пульсодиагностического комплекса [1, 2], в основу работы которого была положена синхронная регистрация пульсовых сигналов в дистальных зонах лучевых артерий.

Методика измерения пульса

В соответствии с канонами пульсовой диагностики тибетской медицины состояние внутренних органов человека исследуется в строго определенных зонах лучевых артерий. Таких зон всего шесть – по три на каждой руке, они получили названия «цон», «кан» и «чаг». Соответствие зон и обследуемых органов мужчин приведено в таблице 1, для женщин оно сохраняется в зонах «кан», «чаг» и меняется местами в зоне «цон».

Таблица 1

Палец врача	На левой руке пациента (мужчины)	На правой руке пациента (мужчины)
Указательный (в точке «цон»)	Сердце – тонкая кишка	Легкие – толстая кишка
Средний (в точке «кан»)	Селезенка – желудок	Печень – желчный пузырь
Безымянный (в точке «чаг»)	Левая почка – самсеу	Правая почка – мочевой пузырь

Каждый из двенадцати перечисленных выше пульсов врач обследует на поверхностном и глубинном уровнях, прижимая лучевую артерию к кости. Отметим, что в процессе измерения пульса положение уровня запястья руки человека должно соответствовать уровню сердца в сидячем или лежащем положении, т.к. изменение уровня запястья руки по высоте на $\pm (30\div 40)$ см относительно сердца меняет амплитуду пульсовой волны в 3÷4 раза [3]. Кроме того, при понижении уровня руки относительно сердца уменьшается длительность интервала «подъем–инцизура» [4].

Первым этапом при измерении пульсовой волны является определение месторасположения зон пальпации для последующей установки на них датчиков пульса. Так, зона «цон» расположена на лучевой артерии в углублении между дистальным концом лучевой кости и его диафизом, что соответствует требованиям пульсовой диагностики тибетской медицины; зона «кан» – проксимальнее зоны «цон» на расстоянии ~ 20 мм; третий датчик устанавливается проксимально на таком же расстоянии от второй точки (зона «чаг»). Топология расположения зон лучевой артерии, на которые устанавливаются датчики пульса, изображена на рисунке 1.



Рис. 1. Топология зон пальпации на лучевых артериях рук человека

Сила прижима каждого датчика регулируется и контролируется по максимальной амплитуде пульсового сигнала и возрастает от первой зоны к третьей из-за увеличения глубины залегания лучевых артерий. Таким образом, в отличие от известных европейских способов измерения пульса [5-8] в тибетской медицине учитывается анатомическая особенность расположения лучевых артерий человека.

Физиологическая интерпретация соответствия месторасположения зон пальпации внутренним органам человека

Согласно [9], техника пульсовой диагностики в тибетской медицине основана на модельном воспроизведении в пределах короткого участка сосудистого русла лучевой артерии запястья руки человека гемодинамической ситуации, соответствующей трем разным сосудистым частям тела, разделенным между собой по признаку отдаленности от источника пульсовой волны – сердца. Топографически относительно вертикальной оси тела человека эти части условно разделены горизонтальными линиями на верхнюю, среднюю и нижнюю (рис. 1). К верхней части относятся плотные органы, расположенные выше диафрагмы (сердце, легкие); к средней – органы от диафрагмы до пупка (селезенка, печень); к нижней – часть тела ниже пупка (почки). Это деление на части (по вертикали) является общим для восточной, в частности, китайской и тибетской медицины. Однако в тибетской медицине соответствие точек пальпации на лучевой артерии обеих рук человека его внутренним органам представляется нам более логичным, так как здесь учтена осевая симметрия: на левой руке с пальпируемыми зонами соотнесены органы, расположенные с левой стороны оси – сердце, селезенка, левая почка; на правой руке – органы, расположенные с правой стороны оси – легкие, печень и правая почка.

У женщин, как было отмечено выше, точки пальпации сердца и легких меняются местами в сравнении с зонами пальпации этих же органов у мужчин. Наблюдая у женщин грудное дыхание, а у мужчин брюшное и зная топографию сердца и основных его магистральных сосудов, врачи древности сделали вывод, что брюшной тип дыхания сопровождается опусканием диафрагмы и поворотом оси сердца в горизонтальное положение, что способствует изменению движения ударной волны крови преимущественно влево. При грудном типе дыхания, сопровождающемся поднятием диафрагмы, ось сердца переходит почти в вертикальное положение и выброс крови направляется вправо. Эти наблюдения могли послужить основой формирования представления о левонаправленном сердце у мужчин и правонаправленном у женщин и полностью соответствуют современным физиологическим представлениям об особенностях системы кровообращения человека.

Органы, находящиеся топографически более отдалено от сердца, тестируются на лучевой артерии (табл. 1) проксимальнее, а органы, расположенные на более близком расстоянии – дистальнее. Применяя различную степень нажатия на точки, эксперт, по нашему мнению, моделирует гемодинамическую ситуацию, которая определяется сосудистым сопротивлением, возрастающим по мере отдаленности органа от сердца. Поэтому на проксимальные точки оказывается максимальное воздействие, на дистальные – минимальное. Как было сказано выше, различная степень прижима датчика к артерии объясняется большей глубиной залегания артерии в мышечном ложе в проксимально-дистальном направлении. Помимо динамических характеристик сосудистой стенки определяются и реологические свойства самой крови: объемный кровоток, закономерность распределения тока крови по всей ширине сосуда, наличие турбулентных характеристик.

Тибетская медицина заимствовала из китайской двенадцати-позиционную методику пульсовой диагностики, несколько изменив значения позиций, исходя из аюрведических и тантрийских представлений о природе органов и бинарных противопоставлений «жар-холод» и «правое-левое». Плотные органы, которые в китайской медицине считаются «холодными», или «иневыми», и диагностируются в нижнем регистре, в тибетской медицине трансформировались в «горячие» и, соответственно, перешли в верхний регистр. Орган «хозяин сердца» исчез, уступив свою позицию мочевому пузырю. Однако, согласно китайской медицине, все перемены позиций органов на лучевых артериях рук произошли в пределах одного топографического участка тела человека с сохранением состава органов на каждом участке. Парадокс состоит в том, что, судя по данным современной литературы, ценность диагностической информации в китайской и тибетской медицине равнозначна. Следовательно, можно предположить, что вариация позиций в пределах одного топографического участка тела человека не имеет принципиального значения.

При изучении пульсовой диагностики тибетской медицины необходимо помнить о существовании в ее рамках двух разных традиций с самостоятельными гносеологическими посылками, очерчивающих разные контуры функциональных систем. Из этого следует вывод, что информация, полученная тибетским врачом при пульсодиагностике, может быть интерпретирована им в русле аюрведической медицины – с упором на состояние *ветра, желчи и слизи* или же в русле китайской медицины – с детализацией состояния органов.

Генетические программы пульса организма тесно коррелируют с биоритмологическими режимами его функционирования, в то же время характеристики пульса лабильно изменяются при физиологических и патологических изменениях. Эти достоинства пульсовой диагностики справедливо выдвигают ее на ведущее место среди остальных методов диагностики тибетской медицины. Кроме того, для физиологического обоснования инструментального метода диагностики по пульсу при интерпретации результатов измерения пульсограмм необходимо учитывать принцип биологических коммуникаций в организме человека, обеспечивающих взаимосвязь всех его компонент между собой и с окружающей средой. Это является фундаментальным положением тибетской медицины, объединившим основы индийской и китайской медицины в таком важном ее разделе, как диагностика. Нарушение физиологической нормы в свете этой теории мыслилось как блокада путей коммуникации. В структуру биокommunikаций входят все реально существующие анатомические образования, обеспечивающие доставку и выведение субстратов любого рода: кровеносные сосуды, желудочно-кишечный тракт, все отверстия органов чувств, бронхиальное дерево и т.д. Структура коммуникаций в тибетской медицине имеет единую конечную цель – обеспечить гомеостаз в организме человека – и подчинена универсальным законам их функционирования. Поэтому, тестируя любой из путей коммуникаций как внутри организма, так и на ее выходах, тибетские врачи получали адекватные, по их мнению, представления о состоянии всей структуры коммуникаций. И поскольку развитие тибетской медицины протекало в условиях, когда не было возможности проведения лабораторных методов диагностики, подбор диагностических методов ориентировался на тестирование реально поддающихся объективному наблюдению фактов клинической феноменологии, одной из которых является метод диагностики по пульсу.

Результаты исследований

Зависимость показателя K_p от взаимодействия преобразователя с зоной регистрации пульсового сигнала. Регистрация пульсовых сигналов инструментальными средствами возможна в различных системах координат, но наиболее устойчивой относительно двигательных артефактов является система, связанная с телом обследуемого. В последнем случае возникает проблема силового контакта преобразователя с зоной регистрации вследствие закрепления последнего на биообъекте и возможного изменения прижима в ходе обследования.

Для оценки пульсовых сигналов (получения диагностических оценок) в комплексе [1] используются показатель K_p , который представляет отношение мощности пульсового сигнала в диапазоне частот (0,5-10) Гц и (10-40) Гц. Исследование проводилось с использованием преобразователя силы (жесткость 6400 ± 400 Н/м) пьезоэлектрического типа, чувствительность канала $9 \pm 0,6$ В/Н. Показатель K_p определялся с помощью комплекса [1]. Были обследованы отдельные зоны практически здоровых людей в возрасте 19-47 лет мужского и женского пола. Для заданного значения деформации зоны производилась одновременная графическая регистрация пульсового сигнала, по результатам которой определялись пиковое значение и показатель K_p (усредненный по четырем реализациям). Результаты

исследований зоны «цон» левой руки (в терминах тибетской медицины) проиллюстрированы на рисунке 2.

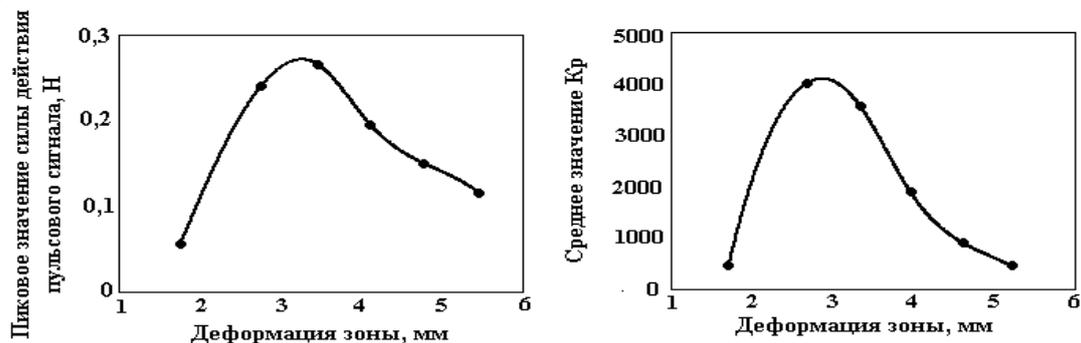


Рис. 2. Зависимость пиковых значений силы действия пульсового сигнала и показателя K_p от деформации зоны регистрации («цон» левой руки)

Полученные результаты (рис. 2) показывают зависимость величины и спектра пульсового сигнала от уровня взаимодействия преобразователя с зоной регистрации (участок поверхностно расположенной артерии, мягкие ткани, отделяющие последнюю от преобразователя и т.д.). Методологически это означает необходимость соблюдения некоторых условий синхронной регистрации пульса, в частности, равенства пиковых значений пульсовых сигналов разных зон.

Исследование повторяемости результатов определения K_p . Как известно, к показателям качества измерений относится повторяемость результатов. На практике обеспечение необходимого качества измерений медицинской техники делает возможным мониторинг физиологических показателей организма человека – контроль процесса лечения (динамики заболевания). Повторяемость результатов определялась путем проведения синхронных измерений шести показателей K_p (по количеству зон диагностики лучевых артерий) с помощью комплекса [1] в одинаковых и различных условиях. В одинаковых условиях она оценивалась по данным восьми последовательных обследований одного волонтера без изменения положения устройств формирования пульсовых сигналов на теле человека.

Длительность реализаций пульсового сигнала (определение K_p) составляла 4 с. Предварительная статистическая обработка результатов заключалась в оценке стохастичности (критерий Аббе) и закона распределения (графический метод). Результаты определения K_p были стохастическими с законом распределения близким к нормальному.

Повторяемость результатов оценивалась коэффициентом вариации (K_v):

$$K_v = \frac{\sigma}{M} * 100 \%,$$

где σ , M – зональное среднее квадратическое отклонение и среднее значение K_p .

Исследование было проведено в той же группе волонтеров. По данным отдельных восьми наблюдений, наибольший коэффициент вариации K_v , нормированных на среднее по 6 зонам значение K_p , составил в группе обследованных 26,5%, что дает основания считать длительность окна реализации в 4 с недостаточной. Такая изменчивость показателя K_p делает маловероятной возможность сопоставления результатов обследования, полученных в разное время.

Коэффициент вариации K_v уменьшался при усреднении результатов по нескольким наблюдениям. На рис. 3 представлены графики аппроксимирующих зависимостей коэффициента вариации K_v от количества наблюдений, по которым проводилось усреднение. Возможность мониторингирования состояния функциональных систем организма человека с помощью комплекса [1] связана с повторяемостью показателей K_p , полученных в различных условиях. Ее оценка в соответствии с принятой практикой включала повторение алгоритма обследования одним и разными операторами с изменением условий, которые не влияют на состояние обследуемого. К последним в контактных методах диагностики относится, в частности, повторение процедуры установки контакта медицинских преобразователей с биообъектом.

Повторяемость показателей K_p в различных условиях оценивалась по результатам, полученным одним оператором в процессе четырех обследований (с повторением каждый раз процедуры установки устройств формирования пульсовых сигналов на теле обследованного) и однократного независимого обследования тремя операторами. При этом данные каждого обследования усреднялись по че-

тырем реализациям (длительностью 4 с). Значения коэффициента вариации K_B , полученные одним оператором, не превышали 14%, тремя операторами – 16%.

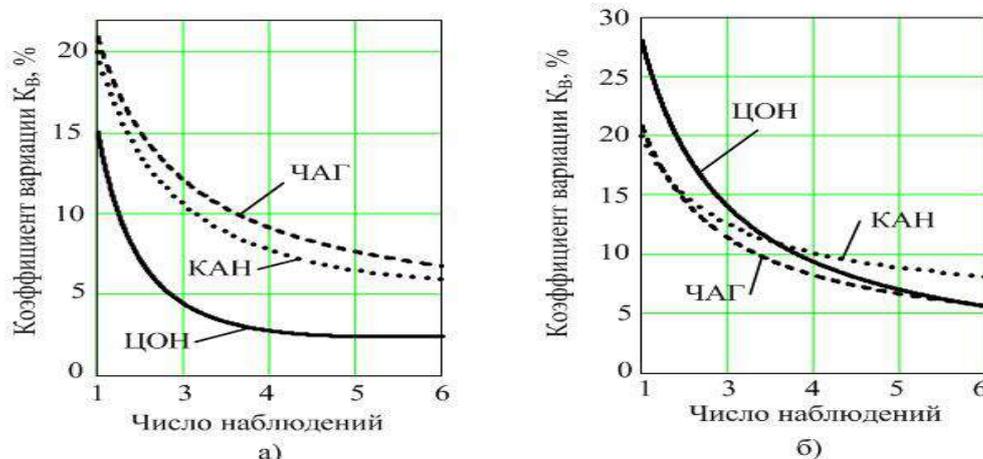


Рис. 3. Зависимость коэффициента вариации K_B от количества наблюдений, по которым проводилось его усреднение: а) зоны «цон», «кан» и «чаг» левой руки; б) соответствующие зоны правой руки

Исследование влияния дыхания и положения тела на результаты определения K_p . Представленные в табл. 2 значения коэффициентов вариации K_B были получены путем усреднения значений K_p по пяти реализациям на одном обследованном.

Таблица 2

Зависимость коэффициента вариации K_B от положения тела и состояния дыхательного аппарата обследуемого

Положение тела	Состояние аппарата дыхания	Коэффициент вариации K_B , %					
		левая рука			правая рука		
		«цон»	«кан»	«чаг»	«цон»	«кан»	«чаг»
Лежа	с задержкой дыхания	6	5	10	5	5	6
	без задержки дыхания	5	8	9	4	6	4
Сидя	с задержкой дыхания	2	5	8	8	2	2
	без задержки дыхания	8	4	11	1	0,5	3

Заключение

Полученные результаты позволяют предварительно определить следующие условия мониторинга методом многозонной пульсометрии.

Регистрация пульсовых сигналов должна происходить при условии равенства их пиковых значений в разных зонах.

Результаты исследования повторяемости K_p свидетельствуют о недостаточной длительности обследования продолжительностью 4 с, что согласуется с рекомендациями [10], где указывается на:

- продолжительность измерения пульса для экспресс-оценки состояния внутренних органов человека в течение 15 ударов. Считается, что за 15 ударов пульса врач в состоянии зафиксировать отклонения состояния внутренних органов от нормы с указанием на их общий характер. Для детальной оценки состояния внутренних органов и постановки диагноза необходимо исследовать 100 ударов пульса, что соответствует времени «усталости» артерии (равному $1,5 \div 2$ минутам), ведущей к нарушению кровотока.

- зависимость показателя K_p от положения тела и функционального состояния аппарата дыхания обследуемого требует дальнейших исследований.

Литература

1. Автоматизированный пульсодиагностический комплекс тибетской медицины (АПДК) // Важнейшие законченные науч.-иссл. и опытно-конструктивные работы ин-тов СО РАН / Мин-во науки и техн. политики РФ, СО РАН. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996. – С. 300-301.
2. Азаргаев Л.Н., Бороноев В.В., Поплаухин В.Н., Сторчун Е.В. Устройство для измерения пульса // Патент РФ № 2085111. – Оpubл. 27.07.97, БИ. № 21.
3. Орлов В.В. Плетизмография. – М.: Медицина, 1970. – 208 с.

4. Аветикян Ш.Т. Длительность интервалов подъем-инцизуры артериального пульса в центральном и периферическом отделах сосудистой системы при различных положениях человека // Физиология человека. – 1984. – Т.10, №2. – С. 24-27.
5. Schnorrenberger C.C. Zehrbuch der chinesischen Medizin für westliche Ärzte. – Stuttgart: Hippokrates Verlag, 1979. – 636 s.
6. Pack H.S. Electronic pulse feeling device for practice of diagnosis in oriental medicine // Patent USA. №4066066. – Publ. 03.01.1978.
7. Laub J.H. A new non-invasive pulse wave recording instrument for the acupuncture clinic // Amer. J. of Acupuncture. – 1983. – V.11, №3. – P. 255-259.
8. Киле А.Н., Кушниренко Б.А., Милицын Б.Л. Специализированный датчик пульса // Модели экосистем и методы определения их параметров. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 30-36.
9. Дашиев Д.Б. Материалы тибетских источников по пульсовой диагностике // Пульсовая диагностика тибетской медицины. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 33-41.
10. Атлас тибетской медицины: свод иллюстраций к тибетскому медицинскому трактату XVII в. – М.: Галарт, 1994. – 592 с.

Бороноев Виталий Васильевич, доктор технических наук, профессор, отдел физических проблем, БНЦ СО РАН. 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, тел. 8(3012)434694, e-mail: vboronojev2001@mail.ru

Сторчун Евгений Владимирович, профессор, кафедра электронных средств информационно-компьютерных технологий, Национальный университет «Львовская политехника». 79013, Львов, ул. Бандеры, 12, Украина, тел. (032) 2582506, e-mail: storchun_ev2@mail.ru

Boronojev Vitaliy Vasilievich, doctor of engineering, professor, department of physical problems, Buryat Scientific Center, SB RAS.

Storchun Evgeniy Vladimirovich, professor, department of electronic means of informational-computer technologies, National University «Lvovskaya politechnika».

УДК 538.9 539.6

ПОТЕНЦИАЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТОМОВ КРЕМНИЯ

Е.И. Герман, Ш.Б. Цыдыпов, В.Н. Парфенов, А.А. Гладких

Предложен достаточно простой в вычислениях потенциал взаимодействия для атомов кремния, применимый для моделирования фазовых переходов кремния методом молекулярной динамики.

Ключевые слова: потенциал межмолекулярного взаимодействия, метод молекулярной динамики, радиальная функция распределения.

POTENTIAL OF SILICON ATOMS INTERACTION

E.I. German, Sh. B. Tsydyпов, V.N. Parfyonov, A.A. Gladkih

A potential of silicon atoms interaction which is fairly simple for calculation and applicable for modeling silicon phase transitions using molecular dynamics is suggested.

Keywords: molecular interaction potential, molecular method of dynamics, radial distribution function.

В настоящее время большой интерес в науке уделяется технологиям синтеза наноструктур различных материалов. Большую значимость для проектирования и прогнозирования конкретных видов структур представляет компьютерный эксперимент, основанный на численном решении уравнений движения частиц системы при известном потенциале их взаимодействия. Однако сегодня не до конца ясны природа и характер межатомного и межмолекулярного взаимодействия [1]. Например, атомы углерода могут образовывать множественные ковалентные связи с соседними атомами в решетке. Именно учет характера гибридизации в соединениях углерода приводит к сложности вывода формулы оптимального потенциала межатомного взаимодействия.

В данной работе предпринята попытка численного моделирования атомов кремния, являющегося одним из широко используемых химических элементов. Кремний по химическим свойствам схож с углеродом, но ему свойственна степень гибридизации sp^3 , благодаря чему атом кремния в кристалле может образовывать ковалентную связь с четырьмя ближайшими соседями [2]. Поэтому, ограничившись в первом приближении потенциалом двухчастичного взаимодействия атомов кремния, будем искать его как сумму двух составляющих:

$$V(r) = V_{\text{ковал}}(r) + V_{\text{В-В}}(r), \quad (1)$$