

УДК 615.849.19

И.А. Запорожко, В.И. Зубчук, канд. техн. наук

## Возрастные нормы в пульсовой диагностике

Рассматриваются вопросы оценки функционального состояния человека по данным измерений физиологических параметров для разных возрастных групп. Важнейшими из множества объективных параметров являются показатели функционирования сердечно-сосудистой системы (ССС) – артериальное давление (систолическое АДС и диастолическое АДД), частота сердечных сокращений (ЧСС), насыщение крови кислородом ( $pO_2$ ) и динамика распространения пульсовых волн (ПВ). Пульсовые волны, регистрируемые на мелких сосудах конечностей, несут интегральную информацию о состоянии ССС и других органов, связанных с ССС. Поэтому создание компьютерной системы экспресс-диагностики по данным измерений параметров ССС является актуальной задачей. Для выявления патологических отклонений параметров ССС необходимо знать их нормальные значения, которые зависят от возрастных и гендерных факторов. Рассмотрены основные факторы и закономерности возрастных изменений параметров ССС. Проведен анализ данных на нескольких возрастных группах и описана методика регистрации и обработки ПВ для их классификации и распознавания.

Attention was given to a problem of establishing a human functional condition according to physiological parameters measurements of different age groups of people. The most informative parameters are cardiovascular system measurements such as: arterial pressure (systolic and diastolic), heart rate, blood oxygenation and circulation dynamics of pulse waves. Pulse waves, measured on upper extremities vessels, give integral information about condition of cardiovascular system and other related organs. Therefore the creation of express-diagnostic computer system based on analysis of cardiovascular system parameters is an up to date task. Determination of the pathological deviations needs knowledge of the normal parameter values in the context of age and gender. The main factors and mechanisms of cardiovascular system aging and how they are reflected in measured parameters were examined. We made an analysis of several different age groups and described a pulse wave's registration and processing methods.

### Введение

ССС обеспечивает доставку жизненно важных веществ во все участки нашего тела и является основным звеном организма, который отвечает за поддержание гомеостаза. ССС чутко реагирует на все изменения в организме, но в тоже время поддается наибольшему стрессу и разрушению в процессе жизнедеятельности. Поэтому геронтология, решая задачу определения биологического возраста организма, анализирует состояние ССС. Продолжительность жизни определяется в первую очередь как раз состоянием их сердца и сосудов, поэтому смертность от сердечно-сосудистых заболеваний стоит на первом месте. Система кровообращения может рассматриваться как чувствительный индикатор адаптационных реакций целостного организма [1, 2].

### Постановка задачи

Совершенствование существующих методов диагностики остаётся актуальной проблемой и логически обоснованной перспективой развития современной медицины. Поэтому важной задачей является разработка неинвазивных методов экспресс-диагностики, которые бы обеспечивали информативный мониторинг функционального состояния всего организма. Для ее решения необходимо построить модель ПВ здорового человека, выявить зависимость параметров нормальной ПВ от возраста и пола, обосновать выбор дополнительных параметров, которые наряду с пульсовой волной, должны использоваться при экспресс-диагностике. Хотя в широком понимании биологический возраст представляет собой степень возрастных изменений биологических возможностей всех систем организма, в данном исследовании упор делается на сердечно-сосудистую систему, как связующее звено всех систем. Предполагается что возрастные изменения других систем, так или иначе, отражаются и на состоянии сердечно-сосудистой системы.

### Сердечнососудистая система как регулятор гомеостаза

Регуляция кровообращения происходит на всех уровнях ССС, начиная от капилляров, заканчивая сердцем, которое своей работой мо-

жет контролировать степень артериального давления и ЧСС. На приведенной на рис. 1 схеме наглядно обобщается схема замкнутой системы регуляции. Таким образом, регуляция кровообращения происходит как с участием центральной нервной системы, так и без неё, и ответные реакции на изменения в организме осуществляются ССС как локально, так и централизовано. В такой системе можно выделить виды регуляции: автономную, симпатическую, парасимпатическую и гуморальную, которые так или иначе, связаны между собой. [3,5]

Так как все системы организма с возрастом претерпевают изменения, логично полагать, что для каждого возраста существуют свои нормы показателей, по которым можно было бы количественно оценивать состояние здоровья человека. Рассмотрим, как с возрастом меняется состояние ССС.

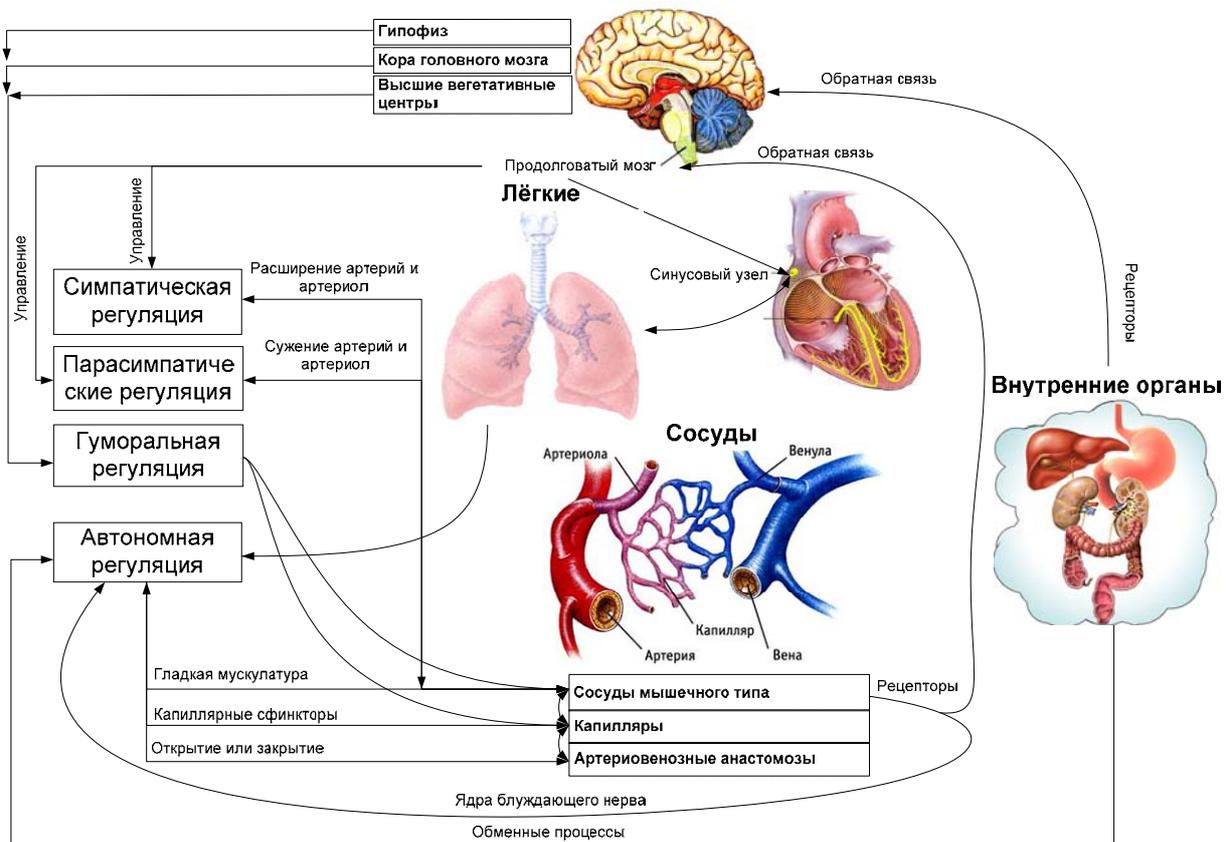
**Физиологические особенности старения ССС**

Наиболее существенные возрастные изменения появляются в организме в 50–60 лет. Сокращается сила сердечной мышцы, понижается эластичность стенок сосудов, уменьшается скорость течения крови в сосудах. У пожилых людей значительно уменьшается количество

действующих капилляров. Формируются новые приспособительные реакции (увеличение межкапиллярных анастомозов, замедление капиллярного кровотока). Если крупные сосуды теряют свою эластичность и одновременно увеличивается периферическое сопротивление мелких сосудов, то повышается артериальное давление.

Взаимоотношение возраста и артериального давления рассматривается различными авторами с двух точек зрения. Одни из них указывают, что с годами артериальное давление значительно повышается, другие считают это увеличение незначительным [6].

Данные Д. Ф. Чеботарева и соавт. (1965), полученные при массовом обследовании лиц в возрасте старше 60 лет, дают возможность в определенной степени объяснить противоречивость этих двух точек зрения. Например, у людей с физиологическим старением артериальное давление существенно не изменяется и равно 150/90 мм рт. ст. Примерно у 8—9 % людей старше 80 лет отмечается даже артериальная гипотония. Более того, средний уровень артериального давления у лиц с умеренным и выраженным атеросклерозом также приближается к таковому у здоровых людей пожилого и старческого возрастов.



**Рис. 1. Общая схема регуляции сердечно-сосудистой системы**

Вместе с тем при индивидуальном анализе в группе лиц с атеросклеротическим процессом часто встречаются лица с повышенным артериальным давлением. Следовательно, возрастной фактор оказывает незначительное влияние на артериальное давление, но присоединение патологии провоцирует развитие гипертонии. [6]

При старении изменяется характер регуляции кровообращения. Рефлекторные реакции сердечно-сосудистой системы становятся более инертными, что связано с ослаблением вегетативной иннервации сердца и сосудов. На фоне общего снижения вегетативного тонуса формируется относительное преобладание симпатической регуляции сердечной деятельности.

Для пожилых и старых людей нормальным является правильный синусовый ритм сердца. Однако частота сердечных сокращений с возрастом несколько уменьшается.

Таким образом, измерение ЧСС и АД даёт полезную информацию о процессе старения и о наличии патологий. Из вышеизложенного следует, что повышение АД с возрастом может свидетельствовать о патологии, и возрастные нормы данного показателя, так же как и ЧСС ещё требуется исследовать.

Что касается гендерных особенностей старения, то выделяют отличия в изменении уровня артериального давления с возрастом. У мужчин наблюдается повышение уровня АД, по сравнению с женщинами того же возраста [8]. Так же различия наблюдались и при измерении ЧСС. Биологический возраст мужчин и женщин, если опираться на ССС, должен оцениваться относительно отдельных гендерных норм, так как возрастные изменения могут проходить по разным принципам и в разные периоды.

### Информативность сфигмограммы

В пульсовой кривой (сфигмограмме) аорты и крупных артерий (рис. 2) различают две основные части — подъем и спад [3]. Подъем кривой — анакрота — возникает вследствие повышения АД и вызванного этим растяжения, которому подвергаются стенки артерий под влиянием крови, выброшенной из сердца в начале фазы изгнания. В конце систолы желудочка, когда давление в нем начинает падать, происходит спад пульсовой кривой — катакрота. В тот момент, когда желудочек начинает расслабляться и давление в его полости становится ниже, чем в аорте, кровь, выброшенная в артериальную систему, устремляется назад к желудочку; давление в артериях резко падает и на пульсовой кривой крупных артерий появляется глубокая выемка — инцизура. Движение крови обратно к

сердцу встречает препятствие, так как полулунные клапаны под влиянием обратного тока крови закрываются и препятствуют поступлению ее в сердце. Волна крови отражается от клапанов и создает вторичную волну повышения давления, вызывающую вновь растяжение артериальных стенок. В результате на сфигмограмме появляется вторичный, или дикротический, подъем. Формы кривой пульса аорты и отходящих непосредственно от нее крупных сосудов, так называемого центрального пульса, и кривой пульса периферических артерий несколько отличаются.

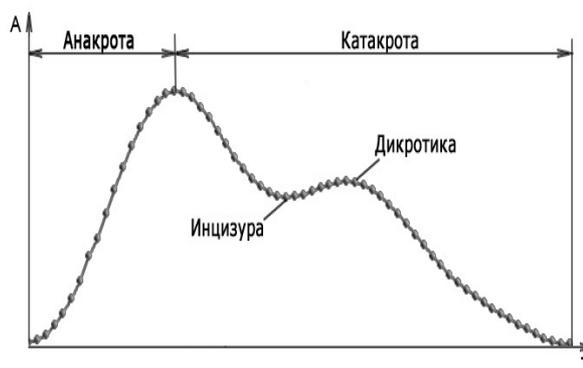


Рис. 2. Пример периода ПВ, снятой пульсоксиметром, где А – амплитуда, Т - время

### Показатели старения при анализе сфигмограмм

По свидетельствам многих авторов [6,9] пульсовая волна, регистрируемая на верхней конечности у молодых людей, характеризуется быстрым подъемом, довольно острой вершиной и наличием дополнительных волн на нисходящей части кривой. В старших возрастных группах такая картина наблюдается в единичных случаях. Кривая сфигмограммы у пожилых и старых людей отличается медленным подъемом с закругленной вершиной, часто аркообразной формы. Наряду с этим наблюдается сглаженность или отсутствие дикротической волны на нисходящей части сфигмограммы. Расположение ее соответствует верхней или средней части кривой, тогда как у молодых людей — обычно нижней трети. Рассмотренные факторы являются предпосылкой использования сфигмограмм для определения биологического возраста человека, а также распознавания патологий на основе анализа отличий сфигмограммы обследуемого от возрастной нормы.

### Результаты исследований

Разрабатываемая система экспресс-диагностики, позволяет проводить анализ форм ПВ. Пульсовая волна регистрируется с помощью

пульсоксиметра. Она несет информацию о работе капилляров, эластичных сосудов и сердца. При этом анализируется также частота пульса, параметры насыщения крови кислородом, а также измеряется систолическое и диастолическое артериальное давление. На данном этапе собираются нормы здоровых людей и строятся модели возрастных норм. Используя эти данные можно оценить биологический возраст человека по этим показателям.

Регистрация пульсовых волн осуществляется на сосудах указательных пальцев обеих рук при помощи пульсоксиметра UtasOxi 200 [18]. Он позволяет регистрировать пульсовую волну, которая представляет собой суммарное изменение кровотока в данной области. Можно полагать, что датчик показывает совместную работу капилляров и более крупных сосудов.

Пульсовые волны после регистрации, усредняются по выбранному ансамблю к нормированной по амплитуде и длительности форме, как было описано ранее в предыдущих статьях [12,13,14, 15,16,17].

На рис. 3, 4, 5 представлены измеренные и усреднённые ПВ нескольких возрастных групп. Так как эти волны усреднены по осям А и Т мы видим значения, которые получаются после сведения волны в некий заранее предопределённый интервал времени и амплитуды. Координаты здесь не несут информации о реальном времени и амплитуде.

Если сопоставить полученные усредненные кривые, можно отметить то отличие ПВ разных возрастных групп (рис. 6). Основной отличительной особенностью является форма дикротической волны, исчезновение которой с возрастом описывалось другими учёными [6, 9].

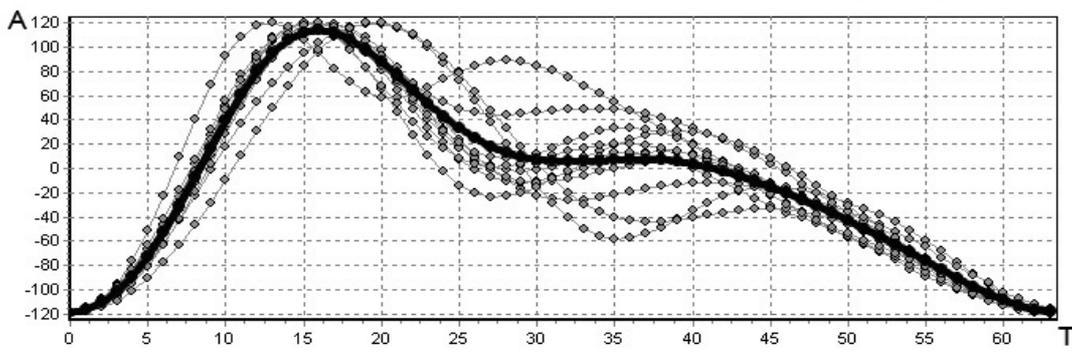


Рис. 3. Пульсовые волны мужчин 16-17 лет (жирной выделена усреднённая ПВ)

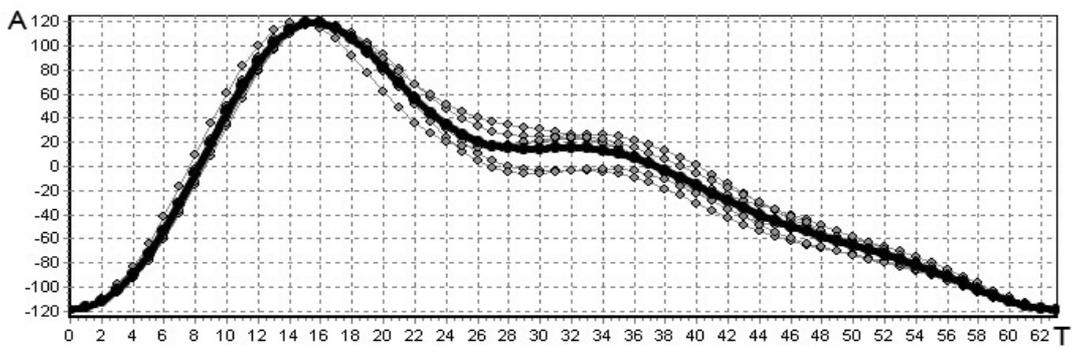


Рис. 4. Пульсовые волны мужчин 50-60 лет

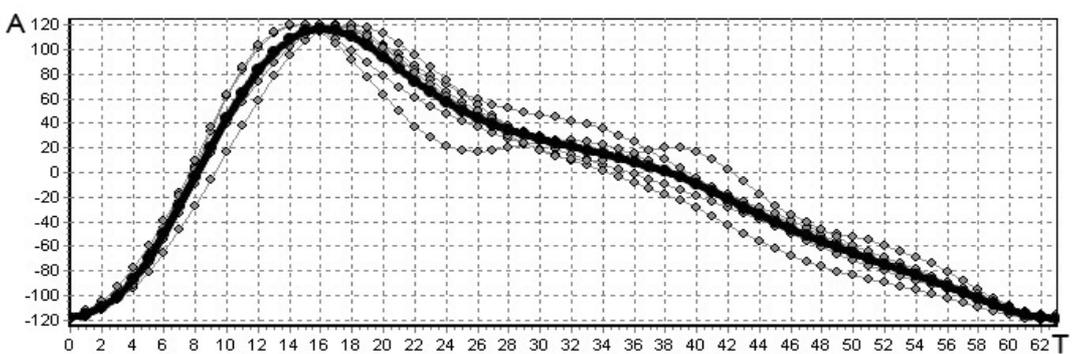


Рис. 5. Пульсовые волны мужчин 60-70 лет

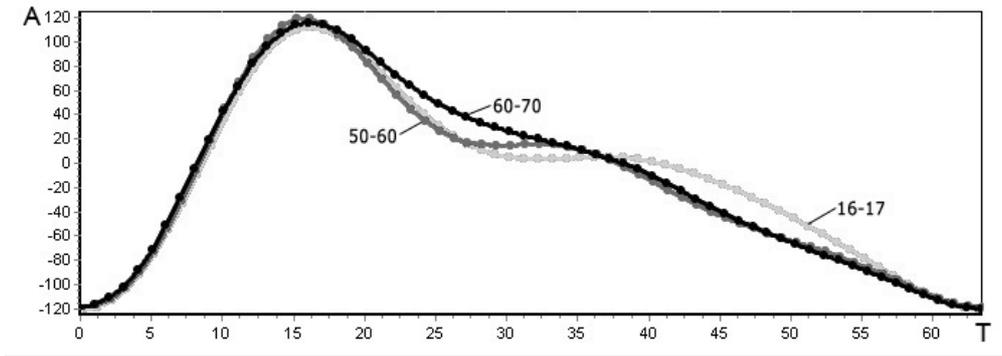


Рис. 6. Сопоставление средних волн для трёх возрастных групп

На графике видно, что у людей 60-70 лет она уже практически отсутствует. Так как усреднением мы выровняли волны во временной области и по амплитуде, тут мы видим, что положение максимальной точки и крутизна подъема кривой остаются пропорционально одинаковыми у всех групп. То есть соотношение анакрыты и катакрыты практически не зависит от возраста и примерно равно 1:3 соответственно, что в некотором роде является неожиданным результатом и требует теоретического объяснения.

Разложим полученные средние волны возрастных групп в ряд Фурье для оценки их гармонических составляющих. Для каждой кривой получим множество коэффициентов  $a_k$ ,  $b_k$  ряда Фурье согласно формулам:

$$a_k = \frac{2}{T} \sum_{j=1}^N U_j \cos(k\omega_0 j \Delta t) = 2 \sum_{j=1}^N U_j \cos\left(\frac{k2\pi j}{N}\right),$$

$$b_k = \frac{2}{T} \sum_{j=1}^N U_j \sin(k\omega_0 j \Delta t) = 2 \sum_{j=1}^N U_j \sin\left(\frac{k2\pi j}{N}\right)$$

Для количественного сравнения степени различия пульсовых волн мы подсчитали коэффициенты формы:

$$F_a = \frac{a_1}{a_1 - \sum_{i=2}^N a_i} \quad F_b = \frac{b_1}{b_1 - \sum_{i=2}^N b_i}$$

$F_a$ ,  $F_b$  - характеризуют форму периодических кривых, т. е. их отличие от синусоиды. Данные коэффициенты представляют численную оцен-

ку того насколько различны наши волны, и будет ли успешен процесс их распознавания.

Получив оценки для каждой возрастной группы и рассчитав средние показатели ЧСС, АДС, АДД получили такие данные (Таблица 1, рис. 7):

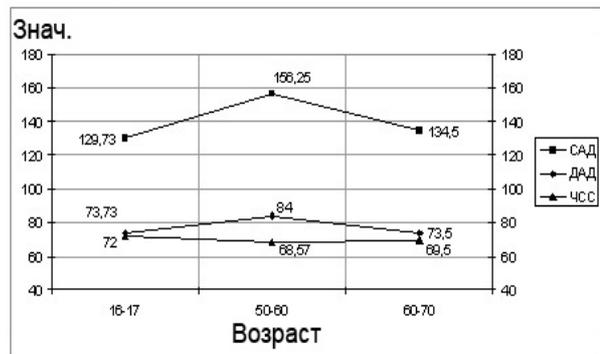


Рис. 7. График изменения показателей АДС, АДД, ЧСС в возрастных группах

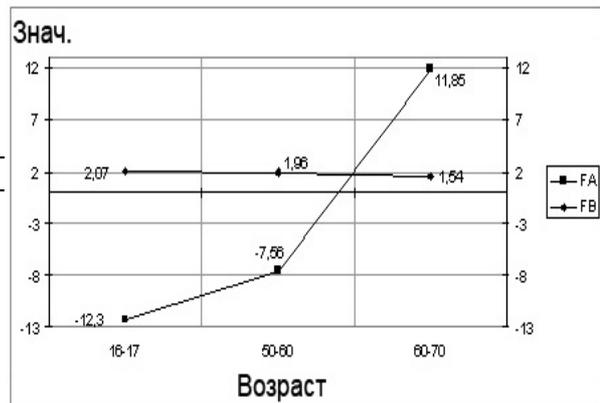


Рис. 8. График изменения коэффициентов формы FA, FB

Таблица 1

Возраст	АДС	АДД	ЧСС	Fa	Fb
16-17	129,73	73,73	72	-12,3	2,07
50-60	156,25	84	68,57	-7,56	1,96
60-70	134,5	73,5	69,5	11,85	1,54

## Выводы

Приведенные исследования показали некоторые закономерности изменения формы ПВ с возрастом. Можно утверждать, что наряду с классическими показателями, такими как ЧСС и АД, ПВ позволяет оценить функциональное состояние организма. При анализе формы пульсовой волны было обнаружено, что основные изменения, связанные со старением, видны в каткротической фазе (после максимального пика). Коэффициенты формы  $FA$ ,  $FB$  показывают, что больший разброс показателей для анализа формы дают коэффициенты  $a_k$  ряда Фурье; информативность коэффициентов  $b_k$  проявляется в меньшей степени. Вычисленные коэффициенты формы подтверждают значительные численные отличия форм пульсовых волн для приведенных возрастных групп, хотя сам характер зависимости возраста и формы пульсовой ещё требует уточнения на большей выборке.

## Литература

1. Парин В.В., Баевский Р.М., Волков Ю.Н., Газенко О.Г. Космическая кардиология. Л.: Медицина, 1967. 206 с.
2. Ч.Ц. Цыдыпов, Пульсовая диагностика тибетской медицины: Сб. Статей, Отв. ред. - Новосибирск: Наука, 1988, 133 с.
3. Г.Ф.Коротько, В.М.Покровской, Физиология человека Том 1, Издательство «Медицина». 1997.
4. Д. Морман, Л. Хеллер, Физиология сердечно-сосудистой системы, Издательство «Питер», 2000, 256 с.
5. Черниговский В. Н. Вопросы нервной регуляции системы крови, М., 1953
6. УДК 612.13—053.88/9:615.838 Бальнеотерапия и возраст/Ус А. Д.— Киев : Наук, думка, 1985.— 136 с.
7. А.В. Писарук, В.Б. Шатило, Возрастные изменения суточных ритмов сердечно-сосудистой системы: связь с ритмами энергетического обмена, Вук. Med. Herald. – 2006. – Vol.10, №4.- P.129-131.
8. Светлова Л. И. Омолаживающая гимнастика для сердца и сосудов. Изд. Питер. 2010 год, 176 стр.
9. Jane F. Reckelhoff, Gender Differences in the Regulation of Blood Pressure, Hypertension 2001;37;1199-1208
10. Коркушко О.В. Сердечно-сосудистая система и возраст, М., 1983.
11. Коркушко О.В. , А.В. Писарук, В.Ю. Лишневская, Возрастные патологические изменения variability сердечного ритма. Институт геронтологии АМН Украины, Киев. Вестник Аритмологии № 14, 1999
12. Зубчук В.И., Делавар К-М., Запорожко І.О., Скорик О. В., Ткаченко В.Л., Динамічна пульсова діагностика, «Електроніка і зв'язь». Тематический выпуск «Електроніка і нанотехнології», ч.2, 2009 – стр. 252-257.
13. Зубчук В.И., Яценко В.П., Делавар К-М, Скорик О. В., Запорожко І.А., Нейронные сети в системе пульсовой диагностики – Електроніка і зв'язь Тематический выпуск «Проблеми електроніки» ч.3, 2007 – с. 58-61.
14. Зубчук В.И., Яценко В.П., Делавар К-М, Скорик О. В., Запорожко І.А., Крещук В.А., Специализированная база данных системы пульсовой диагностики – Електроніка і зв'язь Тематический выпуск «Проблеми електроніки» ч.2, 2007 с. 108-111.
15. Зубчук В.И., Делавар К-М., Запорожко І.А. и др. Экспресс-диагностика по данным пульс-оксиметрии – Електроніка і зв'язь 2008–с. 145-150.
16. Zubchuk V.I., Zaporozhko I.A., Scoric A.V., Recognition methods of polymetric human information research, Proceeding of 21 International CODATA conference “Scientific Information for Society – from Today to the Future”. Ukraine, Kyiv, 2008 – p. 332-337.
17. Зубчук В.И., Делавар К-М., Запорожко І.О. Скорик О.В., Проблемы экспресс-диагностики по данным пульсометрии, Збірник тез та доповідей XV Міжнародної конфер. “Інформотерапія: теоретичні аспекти та практичне застосування”. Київ, 16-18.10.2009 – с. 28.
18. [www.utasco.com](http://www.utasco.com)