

ВОЗРАСТНЫЕ И ГЕНДЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПУЛЬСОМЕТРИИ

И.А. Запорожко, В.И. Зубчук, Е.А. Настенко, Е.К. Носовец

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Рассмотрены 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 (SpO_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.

Ключевые слова: старение, артериальное давление, пульсоксиметрия, сердечно-сосудистая система, геронтология, преобразование Фурье, пульсовая волна.

Совершенствование существующих методов диагностики остается актуальной проблемой и важным направлением развития современной медицины. Поэтому представляется целесообразной разработка неинвазивных методов экспресс-диагностики, которые бы обеспечивали информативный мониторинг функционального состояния всего организма. Одним из интегральных показателей функционального состояния человека в норме и при патологических отклонениях является динамика транспорта крови в сосудах, отображаемая формой и параметрами ПВ. Для выявления каких-либо отклонений необходимо прежде всего 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.

Регуляция кровообращения происходит на всех уровнях ССС, начиная от капилляров и заканчивая сердцем, которое своей работой может контролировать степень артериального давления. На приведенной на рис. 1 схеме обобщается изложенное в виде элементов замкнутой системы регуляции.

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.

Физиологические особенности старения ССС. По мере старения организма человека постепенно атрофируется и уменьшается мышечный слой сосудов, значительно уменьшается количество действующих капилляров на единицу площади. Сосуды все более и более “закупориваются” известковыми отложениями, и возрастает периферическое сосудистое сопротивление. Это ведет к некоторому повышению артериального давления. Ослабляются условные и безусловные рефлексы регуляции кровообращения, тем самым изменяется способ поддержания артериального давления. Замедляется частота сердечных сокращений вследствие замедления обменных процессов.

Что касается гендерных особенностей старения, то выделяют отличия в изменении уровня артериального давления с возрастом. У мужчин наблюдается повышение уровня

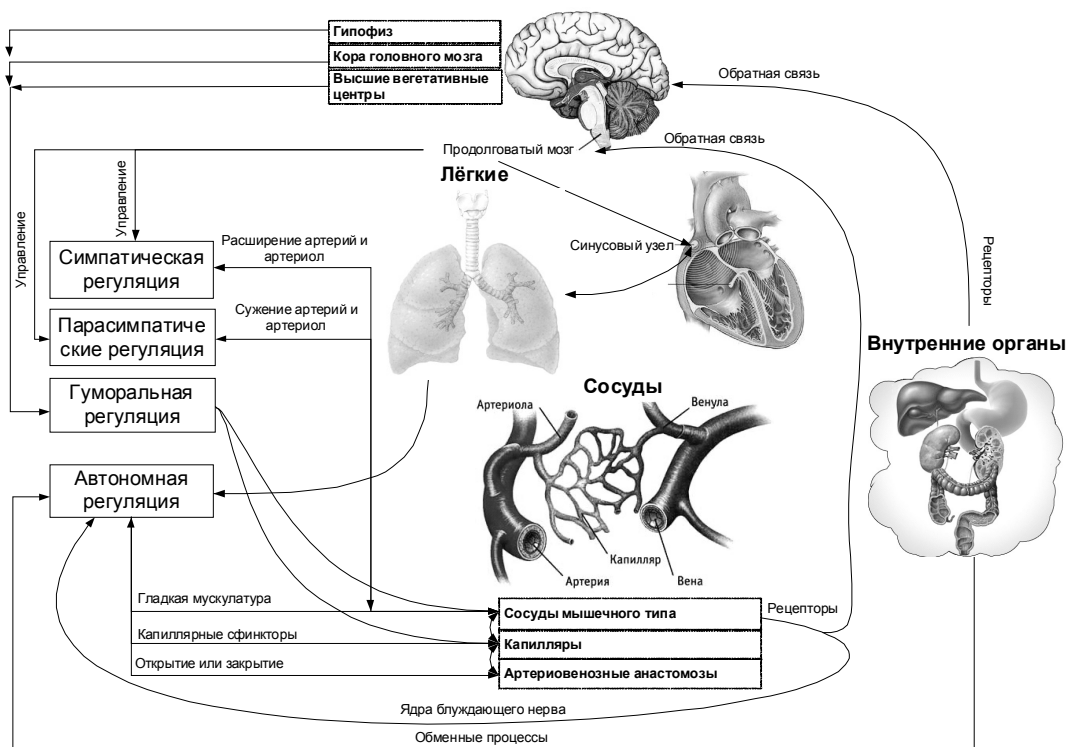


Рис. 1. Общая схема регуляции сердечно-сосудистой системы

АД по сравнению с женщинами того же возраста [1]. Так же различия наблюдались и при измерении ЧСС. Биологический возраст мужчин и женщин, определяемый, в частности, по параметрам ССС, должен оцениваться с учетом возрастных и гендерных норм, поскольку возрастные изменения могут проходить по разным принципам и в разные периоды.

Цель работы – исследовать информативность пульсовой волны артериального давления для оценки системы кровообращения.

Информативность сфигмограммы. В пульсовой кривой (сфигмограмме) аорты и крупных артерий различают две основные части — подъем и спад [2]. 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



Рис. 2. Пример одного периода ПВ

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.

Показатели старения при анализе сфигмограмм. По свидетельствам многих авторов [3, 9], пульсовая волна, регистрируемая на верхней конечности у молодых людей, характеризуется быстрым подъемом, довольно острой ершиной и наличием дополнительных волн на нисходящей части кривой. В старших возрастных группах такая картина наблюдается в единичных случаях. Кривая сфигмограммы у пожилых 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 нормы, соответствующей его возрасту.

Результаты и обсуждения. Система экспресс-диагностики, разработанная на кафедре биомедицинской инженерии НТУУ «КПИ» [6–9], позволяет проводить анализ форм ПВ. Регистрируя с помощью оптического датчика пульсовые волны на пальцах обследуемого, мы получаем информацию о работе капилляров, эластичных сосудов и сердца. При этом регистрируется также частота пульса, насыщение крови кислородом, а также систолическое и диастолическое артериальное давление. На начальном этапе накапливаются и статистически обрабатываются параметры людей без явных патологий и строятся модели возрастных норм. Используя эти данные и выявленные закономерности их изменений с возрастом, можно оценить биологический возраст человека.

Регистрация пульсовых волн осуществляется на сосудах указательных пальцев обеих рук при помощи пульсоксиметра UtasOxi 200 [5]. Пульсоксиметр позволяет регистрировать ПВ, которая представляет собой суммарное изменение кровотока в данной области с участием капилляров и более крупных сосудов.

Пульсовые волны после регистрации усредняются по выбранному ансамблю к форме, нормированной по амплитуде и длительности, а амплитудно-временные параметры ПВ обследуемого сохраняются в данных АДС, АДД и ЧСС [6–11].

Проведен анализ форм пульсовых кривых у пяти возрастных групп мужчин 16–20, 20–30, 30–50, 50–60, 60–70 лет и четырех возрастных групп женщин 16–20, 20–30, 30–50, 50–60 лет. Количество обследований в каждой группе различно, более многочисленные

группы для женщин и для мужчин относятся к возрасту 16–20 лет. Так как эти волны усреднены по амплитуде и времени, по вертикальной и горизонтальной оси мы видим значения, которые получаются после сведения ПВ в единичный интервал времени и амплитуды. На рис. 3–11 приведены нормированные по амплитуде и длительности ПВ указанных групп обследуемых.

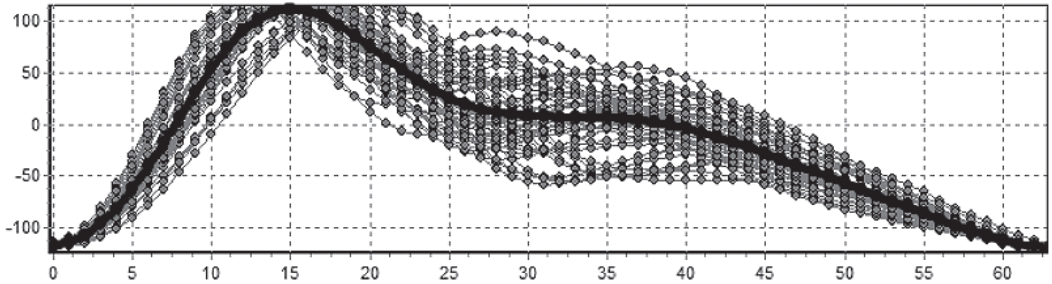


Рис. 3. ПВ мужчин 16–17 лет (жирной линией выделена усредненная ПВ)

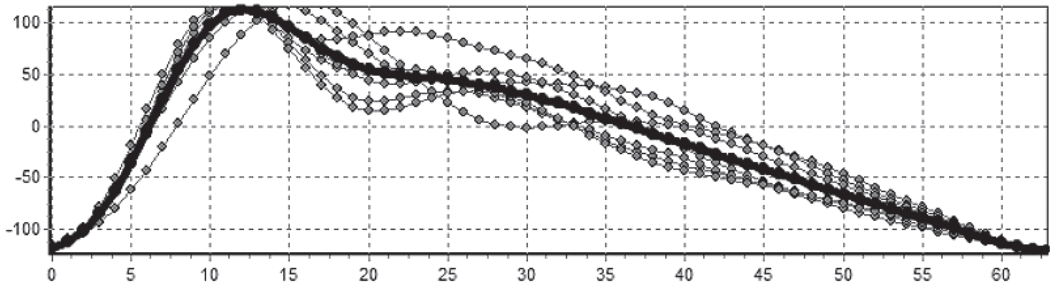


Рис. 4. Пульсовые волны мужчин 20–30 лет

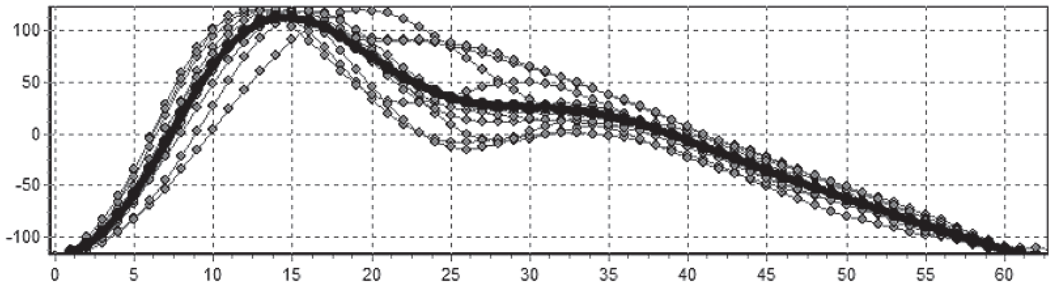


Рис. 5. Пульсовые волны мужчин 30–50 лет

Если сопоставить полученные усредненные кривые, можно отметить отличие ПВ разных возрастных групп (рис. 12, 13). Основной отличительной особенностью является форма дикротической волны, изменение которой с возрастом описывалось авторами ранее [3, 4]. На рис. 12 видно, что у мужчин 60–70 лет она уже практически отсутствует. Вследствие нормирования ПВ по времени, области и амплитуде положение максимума ПВ и крутизна подъема нормированной кривой остаются практически одинаковыми у

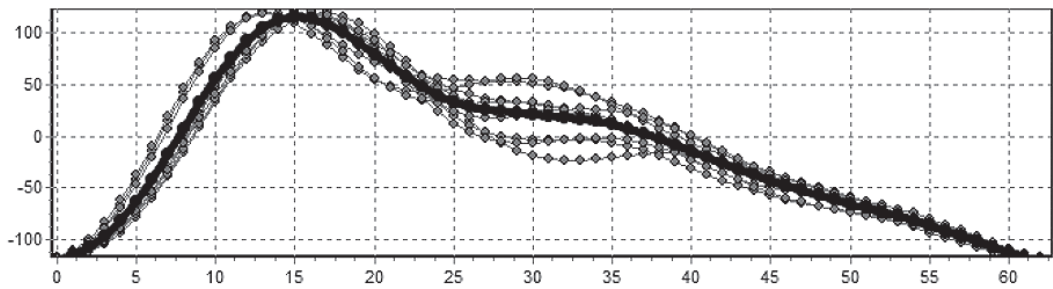


Рис. 6. Пульсовые волны мужчин 50–60 лет

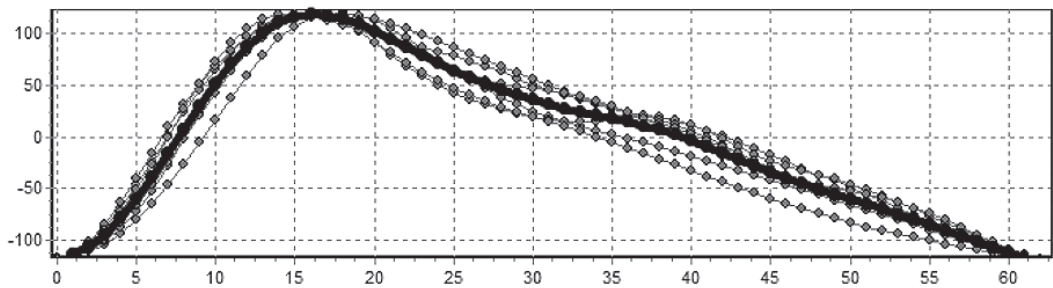


Рис. 7. Пульсовые волны мужчин 60–70 лет

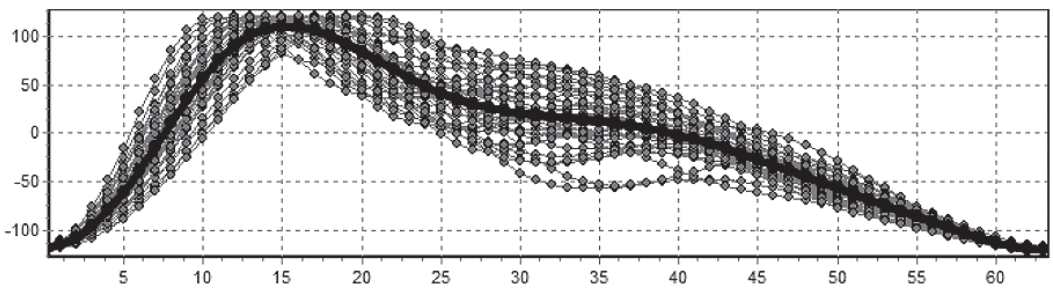


Рис. 8. Пульсовые волны женщин 16–17 лет

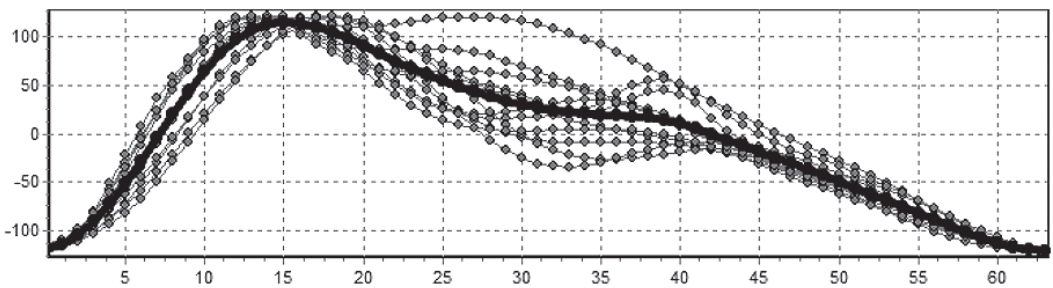


Рис. 9. Пульсовые волны женщин 20–30 лет

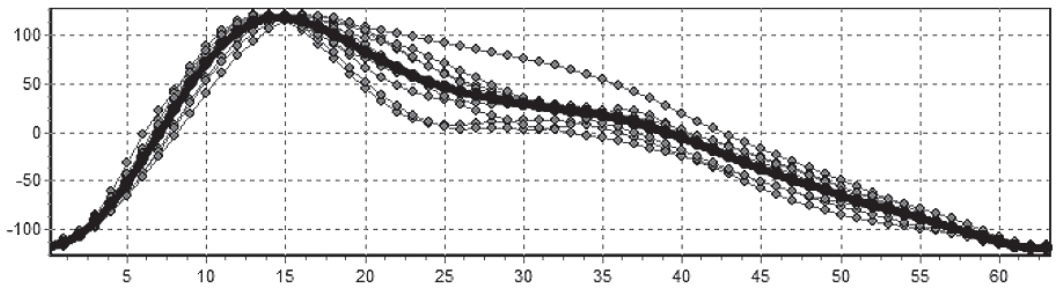


Рис. 10. Пульсовые волны женщин 30–50 лет

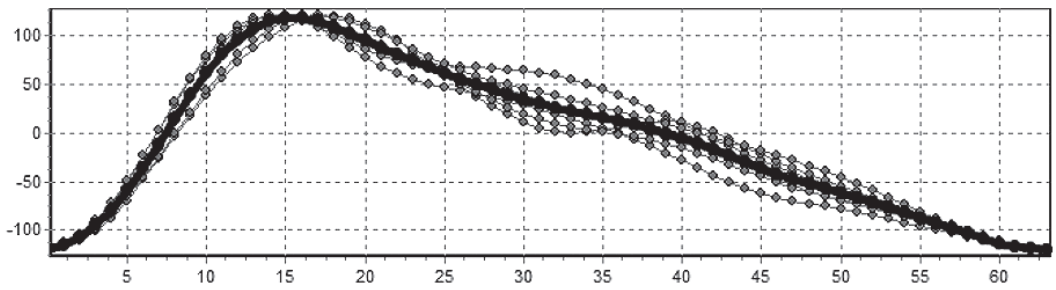


Рис. 11. Пульсовые волны женщин 50–60 лет

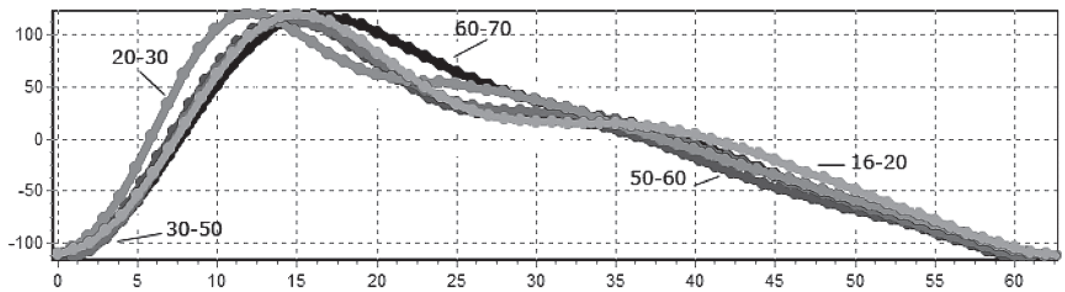


Рис. 12. Сопоставление средних волн всех возрастных групп мужчин

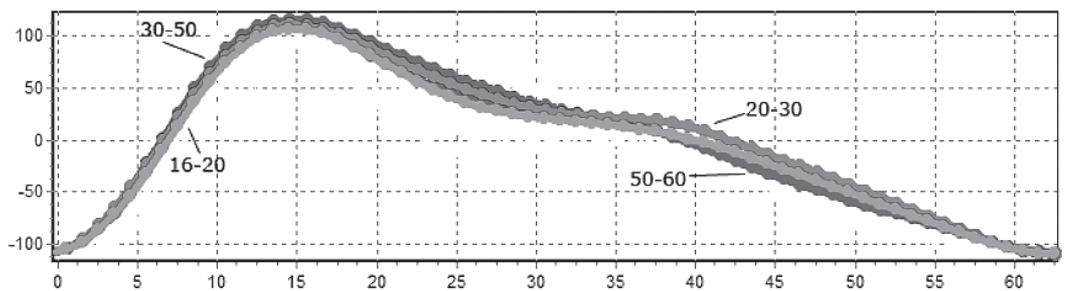


Рис. 13. Сопоставление средних волн всех возрастных групп женщин

всех групп, особенно это отмечается у женщин (рис. 13). То есть соотношение анакроты и катакроты практически не зависит от возраста и примерно равно 1:3, что в некотором роде является неожиданным результатом и требует теоретического объяснения.

При сравнении волн мужчин и женщин во всех возрастных группах видны общие закономерности, но есть и небольшие отличия, которые требуют дальнейшего уточнения на большей выборке данных. На рис. 14–17 приведены ПВ, усредненные для групп мужчин и женщин соответствующих возрастов.

Приводится оценка гармонических составляющих представленных выше средних волн возрастных групп. Разложив полученные средние волны возрастных групп в ряд Фурье, имеем для каждой кривой 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 рассчитываются коэффициенты формы:

$$F_m = \frac{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{\sum_{i=2}^N \sqrt{a_i^2 + b_i^2}}$$

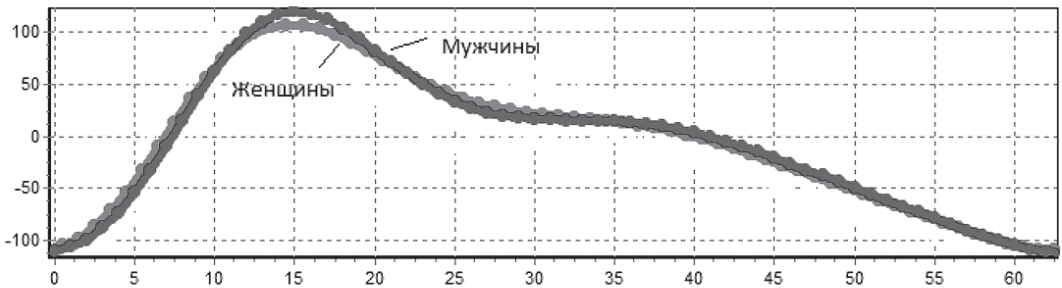


Рис. 14. Сопоставление средних волн мужчин и женщин 16–20 лет

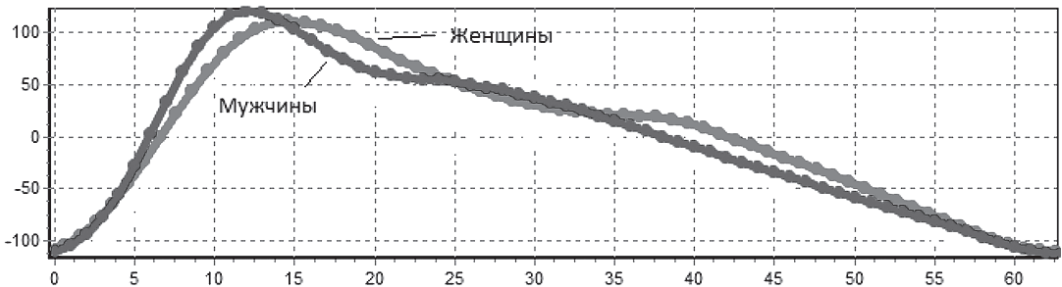


Рис. 15. Сопоставление средних волн мужчин и женщин 20–30 лет

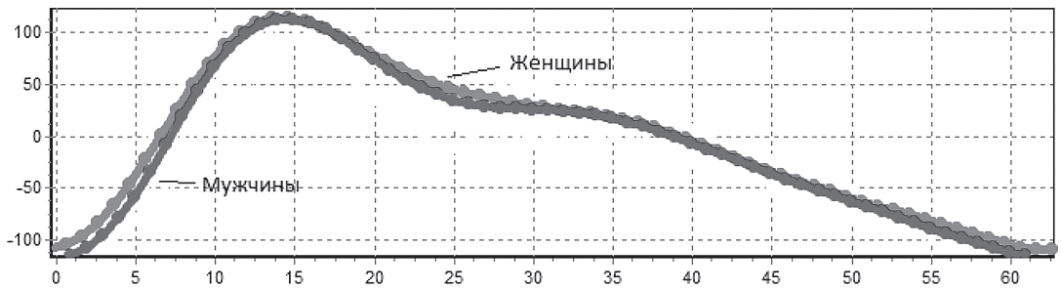


Рис. 16. Сопоставление средних волн мужчин и женщин 30–50 лет

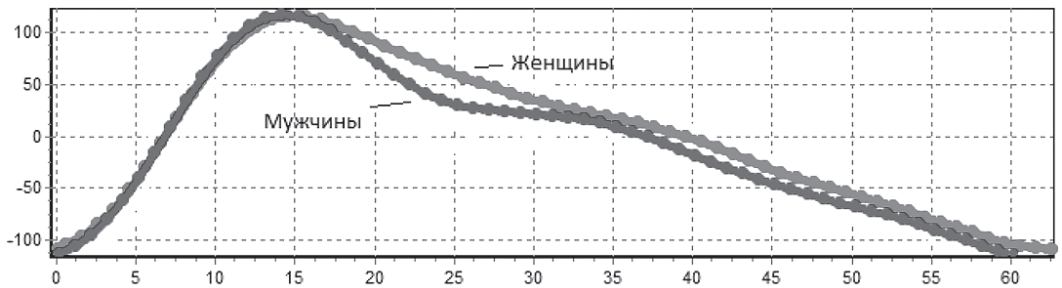


Рис. 17. Сопоставление средних волн мужчин и женщин 50–60 лет

F_m — характеризуют форму периодических кривых, т. е. их отличие от синусоиды. Данные коэффициенты позволяют произвести численную оценку того, насколько различны наши волны и будет ли успешен процесс их распознавания.

Таблица 1
Коэффициенты формы
 F_m возрастных групп
мужчин

Возраст	F_m
10–20	0,728284
20–30	0,779498
30–50	0,776749
50–60	0,785081
60–70	0,832821

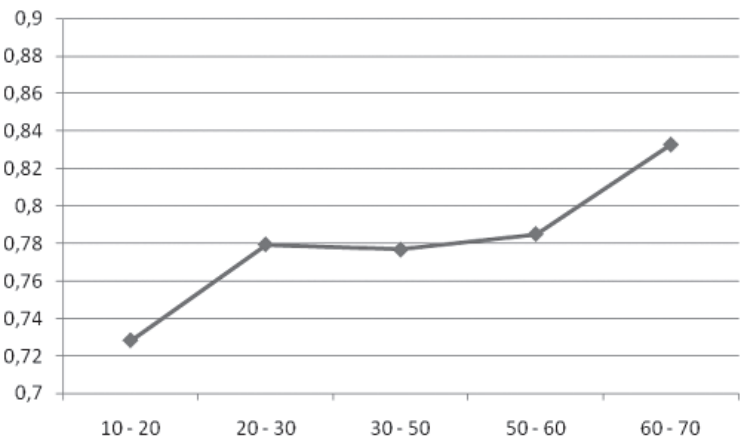


Рис. 18. График коэффициентов форм F_m возрастных групп мужчин

Таблица 2
Коэффициенты формы F_m возрастных групп женщин

Возраст	F_m
10–20	0,76850912
20–30	0,78343212
30–50	0,80082542
50–60	0,82179709

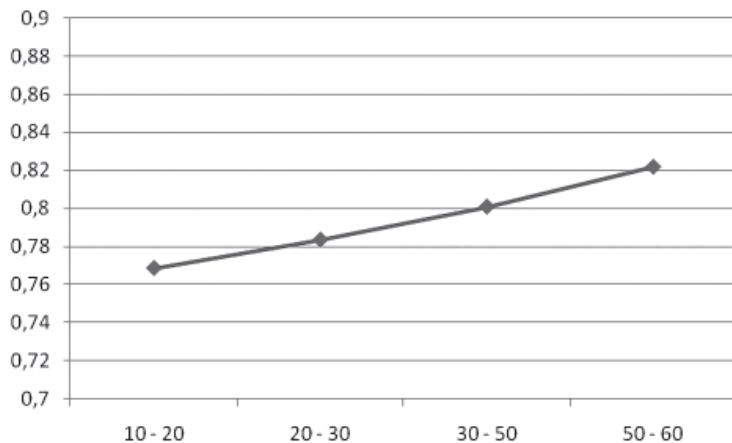


Рис. 19. График коэффициентов форм F_m возрастных групп женщин

Графики, приведенные на рис. 18,19, показывают зависимость между формой пульсовой волны и возрастом. Для повышения статистической достоверности полученных зависимостей необходимо дальнейшее накопление данных по возрастным группам. Тем не менее полученные зависимости дают возможность составить первоначальное представление о возрастных и гендерных отличиях пульсовых волн.

Выводы

1. Форма пульсовой волны как у мужчин, так и у женщин закономерно изменяется с возрастом даже при отсутствии явных патологий.
2. Можно утверждать, что наряду с классическими показателями, такими, как ЧСС и АД, пульсовые волны позволяют оценивать функциональное состояние организма.
3. Коэффициенты формы ПВ могут служить одним из показателей биологического возраста человека.
4. Усредненные для возрастных групп ПВ могут быть использованы в качестве эталонов при решении задач дифференциальной диагностики по данным пульсометрии.

Литература

1. Светлова Л.И. Омолаживающая гимнастика для сердца и сосудов / Светлова Л.И. — К.: Питер, 2010. — 176 с.
2. Коротько Г.Ф. Физиология человека. Том 1 / Г.Ф. Коротько, В.М. Покровский. — К.: Медицина, 1997. — 448 с.
3. Ус А.Д. Бальнеотерапия и возраст / Ус А.Д. — К.: Наукова думка, 1985. — 136 с.
4. Jane F. Reckelhoff Gender Differences in the Regulation of Blood Pressure /4 Jane F. Reckelhoff // Hypertension. — 2001. — № 37. — С. 1199–1208.
5. Технические характеристики пульсоксиметра *ЮТАСОКСИ-200*: www.utasco.com
6. Динамічна пульсова діагностика / Делавар К.-М., Запорожко І.О., Зубчук В.І., Скорик О.В., Ткаченко В.Л. // *Електроніка і зв'язь, Тематический выпуск «Електроніка і нанотехнології»*. — 2009. — Ч. 2. — С. 252–257.

7. Нейронные сети в системе пульсовой диагностики / Зубчук В.И., Яценко В.П., Делавар К.-М., Скорик О.В., Запорожко И.А. // Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». – 2007. – Ч. 3. – С. 58–61.
8. Специализированная база данных системы пульсовой диагностики / Зубчук В.И., Яценко В.П., Делавар К.-М., Скорик О.В., Запорожко И.А., Крещук В.А. // Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». – 2007. – Ч. 2. – С. 108–111.
9. Экспресс-диагностика по данным пульс-оксиметрии / Делавар К.-М., Запорожко И.А., Зубчук В.И. и др. // Электроника и связь. – 2008. – С. 145–150.
10. Recognition methods of polymeric human information research / Zaporozhko I.A., Zubchuk V.I., Scorik A.V. // Proceeding of 21 International CODATA conference “Scientific Information for Society – from Today to the Future”. – Ukraine, Kyiv, 2008. – P. 332–337.
11. Проблеми експрес-діагностики по даним пульсометрії: Збірник тез та доповідей XV Міжнародної конфер. “Інформотерапія: теоретичні аспекти та практичне застосування” / Делавар К.-М., Запорожко І.О., Зубчук В.І., Скорик О.В. – К., 2009. – 28 с.

ВІКОВІ ТА ГЕНДЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ ПУЛЬСОМЕТРІЇ

І. О. Запорожко, В. І. Зубчук, Є. А. Настенко, О.К. Носовець

Розглядаються питання оцінки функціонального стану людини за даними вимірювання фізіологічних параметрів для різних вікових груп. Найважливішими з множини об'єктивних параметрів є показники функціонування серцево-судинної системи (ССС) – артеріальний тиск (систолический і діастолічний), частота серцевих скорочень, насиченість крові киснем і динаміка розповсюдження пульсових хвиль. Пульсові хвилі, що реєструються на дрібних сосудах кінцівок, несуть інтегральну інформацію щодо стану ССС і інших органів, пов'язаних із ССС. Тому створення комп'ютерної системи експрес-діагностики за даними вимірювання параметрів ССС є актуальним завданням.

Ключові слова: старіння, артеріальний тиск, пульсоксиметрія, серцево-судинна система, геронтологія, перетворення Фур'є, пульс.

AGE AND GENDER PECULIARITIES OF A PULSE MEASUREMENT

I. A. Zaporozhko, V. Ie. Zubchuk, E. A. Nastenko, E. K. Nosovets

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 cardiovascular system condition and condition of other related organs. Therefore the creation of express-diagnostic computer system based on analysis of cardiovascular system parameters is an up to date task.

Key words: aging, arterial pressure, pulseoximetry, cardiovascular system, gerontology, Fourier transform, pulse.