

А. Д. Светличный, Л. Д. Рагунович
**ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕНИ ПРОВЕДЕНИЯ ПУЛЬСОВОЙ
ВОЛНЫ ОТ ДЛИНЫ И РАЗВЕТВЛЁННОСТИ АРТЕРИЙ**

Научный руководитель: д-р мед. наук, проф. А. И. Кубарко
Кафедра нормальной физиологии
Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск

A.D. Svetlichnyi, L.D. Ragunovich
**MEASUREMENT OF DEPENDENCE OF CONDUCT PULSE WAVE TIME TO
THE LENGTH AND BRANCHING OF ARTERIES**

Tutor: professor A.I. Kubarko
Department of normal physiology
Belarusian State Medical University, Minsk

Резюме. Настоящее исследование посвящено разработке приспособлений и алгоритма синхронной регистрации пульсовых колебаний, фотоплетизмограммы (ФПГ) и электрокардиограммы (ЭКГ) для измерения времени проведения пульсовой волны в различных артериях относительно зубца R на ЭКГ.

Ключевые слова: пульсовая волна, электрокардиография, фотоплетизмография, гемодинамика.

Resume. This article is devoted to the development of the devices and algorithms for synchronous registration of pulse oscillations, photoplethysmogram and electrocardiogram (ECG) for measuring the delay of a pulse wave in different arteries relative to the R spike on ECG.

Keywords: Pulse wave, electrocardiography, photoplethysmography, hemodynamics.

Актуальность. Для диагностики возрастных изменений и заболеваний сосудов используют ультразвуковые, МРТ, электрофизиологические и другие методы исследований, каждый из которых позволяет оценить определенный круг параметров состояния стенки сосудов. Широкое распространение для оценки жесткости стенок крупных артериальных сосудов получил метод регистрации скорости распространения пульсовой волны [1]. Этот метод входит в число неинвазивных, надежных и объективных методов качественной оценки состояния стенки артериальных сосудов [2]. Регистрация пульсовых колебаний артерий и расчет времени проведения пульсовой волны проводятся с использованием механочувствительных датчиков, апплицируемых в области проекции артериальных сосудов на поверхности тела или датчиков, регистрирующих изменение кровенаполнения ткани во время систолы и диастолы сердца [3].

Цель: разработка приспособлений и алгоритма синхронной регистрации пульсовых колебаний и электрокардиограммы для измерения времени запаздывания пульсовой волны в различных артериях относительно зубца R на ЭКГ.

Материал и методы. В данном исследовании проведено измерение времени запаздывания пульсовой волны относительно зубца R на ЭКГ у 75 здоровых студентов в возрасте 18-23 лет. Регистрировались пульсовая волна, ЭКГ, ФПГ.

Запись ЭКГ во 2-ом отведении проводилась оригинальным прибором, созданным на основе микросхемы AD8232, запись ФПГ – фотоплетизмографом ФПГ-02. Пуль-

совые колебания (сфигмограмма) регистрировались с помощью механочувствительных датчиков и усилителей сигналов SONY PHX-1. Усиленные аналоговые сигналы датчиков, ЭКГ, ФПГ подавались на вход многоканального аналого-цифрового преобразователя и далее регистрировались компьютером с использованием оригинального программно-аппаратного комплекса Lines.

Механочувствительные датчики накладывались на поверхность кожи в области проекции пульсации таких сосудов как: общей сонной, лицевой, височной, лучевой артерий. Для регистрации пульсовых колебаний глазной артерии, передающихся на глазное яблоко, были созданы специальное приспособление на основе VR-очков, а также специальная пневматическая система для фиксации механочувствительных датчиков на закрытом верхнем веке глаза.

Для регистрации пульсовой волны ветвей сосудов глазной артерии в межбровной области кожи лба и ветвей сосудов дистальной фаланги указательного пальца использовались ФПГ датчики. Для измерения влияния длины сосудов и сети коллатералей на время проведения пульсовой волны проводилось сдавливание лучевой артерии с тем, чтобы кровоток через сосуды фаланги указательного пальца обеспечивался коллатеральными сосудами запястья и ладонной дугой из локтевой артерии.

Регистрация проводилась следующим образом:

1. Каждый испытуемый знакомился с целью исследования, инструктировался о поведении во время записи и находился в положении лёжа в течение 15 минут до начала записи;

2. За это время устанавливались датчики как описано выше, производились записи калибровочных сигналов и исследуемых показателей.

3. Анализ результатов проводился с помощью оригинальной программы Resview после извлечения соответствующих файлов из памяти компьютера. Статистическая обработка проводилась с помощью программы Statistica-10.

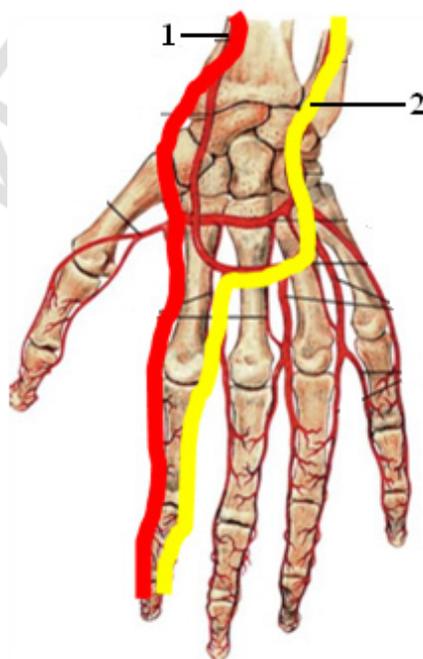
Результаты и их обсуждение.

В таблице 1 представлены результаты измерений времени распространения пульсовой волны в артериальных сосудах различных частей тела. Из приведенных данных видны различия во времени проведения пульсовой волны сосудами различной длины, которые свидетельствуют о зависимости времени проведения от длины сосуда. Так, минимальное время проведения волны отмечается для общей сонной артерии – 154 ± 17 мс и, по мере удлинения сосудов оно возрастает, достигая 326 ± 28 мс для сосудов дистальной фаланги указательного пальца. Однако, при примерно одинаковой длине сосудов глазной артерии, когда время проведения пульсовой волны регистрировалось в межбровной области кожи лба и на глазном яблоке, время проведения оказалось разным и для ветвей сосудов глазной артерии, формирующих хориоидальную оболочку и сеть сосудов центральной артерии. Для сетчатки оно составило 189 ± 23 мс, а для ветвей сосудов межбровной области – 299 ± 36 мс ($p < 0.05$). Можно предположить, что полученная разница во времени проведения пульсовой волны – 110 мс, вероятно, является следствием неодинаковой разветвленности исследованных артериальных сосудов и их диаметра.

Табл. 1. Время проведения пульсовой волны в артериальных сосудах различных частей тела

Наименование сосудов	Время проведения пульсовой волны (мс).
Общая сонная артерия	154±17
Ветви глазной артерии, кровоснабжающие сетчатку	189±23
Лицевая артерия	168±15
Височная артерия	182±25
Лучевой артерия	242±24
Ветви глазной артерии межбровной области	299±36
Ветви артерий дистальной фаланги указательного пальца до и после сдавления лучевой артерии (в скобках)	326±28 (365±33)

Для проверки предположения о зависимости времени проведения пульсовой волны не только от длины, но и от степени разветвленности артериальных сосудов было измерено время проведения волны до дистальной фаланги указательного пальца в нормальных условиях, когда кровоток к ней обеспечивается в основном из лучевой артерии (1 на рис. 1) и в условиях сдавления лучевой артерии, когда кровоток идет от локтевой артерии через коллатеральные сосуды запястья и ладонной дуги (2 на рис. 1). Как это видно из рисунка 1, длина и разветвленность сосудов в последнем случае увеличиваются. Измерение времени проведения пульсовой волны показало, что в этих условиях оно возросло с 326 ± 28 мс до 365 ± 33 мс, т. е. на 38 мс.

**Рис. 1** – Схематическое представление кровотока по ветвям сосудов лучевой и локтевой артерий

В таблице 2 приведены результаты измерений времени проведения пульсовой волны для одних и тех же сосудов с левой и правой сторон тела и времени проведения

при повторном измерении через неделю (данные в скобках). Как видно из данных приведенных в таблице 2 время проведения для симметричных сосудов практически совпадает. Более того, результаты измерений времени проведения пульсовой волны остаются теми же при повторных измерениях через неделю. Это свидетельствует, с одной стороны о том, что время проведения пульсовой волны является объективным устойчивым показателем состояния стенок сосудов и их морфологических характеристик, а с другой – что примененный метод измерения позволяет получать воспроизводимые результаты.

Табл. 2. Время проведения пульсовой волны симметричными ветвями артерий при первом и повторном измерениях

Испытуемый	правая общая сонная артерия	правая глазная артерия	левая общая сонная артерия	левая глазная артерия
К. В.	160(158)	172(173)	159(159)	173(172)
В. Е.	143(145)	180(182)	142(140)	181(180)
К. Д.	159(158)	189(189)	169(170)	191(190)
М. Н.	124(125)	150(148)	125(126)	171(170)
Т. Р.	129(128)	165(165)	127(126)	162(163)

Выводы:

1. Разработанное устройство позволяет регистрировать пульсовые колебания различных артерий и рассчитывать время запаздывания пульсовой волны относительно зубца R на ЭКГ.

2. Применённый алгоритм измерения и анализа записей позволяет получать воспроизводимые данные.

3. Время проведения пульсовой волны зависит от длины исследуемых сосудов и разветвлённости сосудистой сети, однако установление характера этой зависимости требует дальнейшего изучения.

Литература

1. Shirwany, N. A. Arterial stiffness: a brief review / N. A. Shirwany, Z. Ming-hui // *Acta Pharmacologica Sinica*. – 2010. – № 21. – P. 1267–1276.
2. Loach, S. S. Vascular Stiffness: Its Measurement and Significance for Epidemiologic and Outcome Studies / S. S. Loach, R. R. Townsend // *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*. – 2008. – № 3. – P. 184–192.
3. Noninvasive measurements of arterial stiffness: Repeatability and interrelationships with endothelial function and arterial morphology measures / C. J. Huck, U. G. Bronas, E. B. Williamson et al. // *Vascular Health and Risk Management*. – 2007. – № 3. – P. 343–349.