

УДК 616.379-008.64

DOI: 10.22141/2224-0721.13.3.2017.104121

Воробьев Л.В.

Лечебно-диагностический центр «Виком-мед», г. Кременчуг, Украина

Возможности фотоплетизмографии в ранней диагностике диабетической ангиопатии нижних конечностей

For cite: Mezhdunarodnyi Endokrinologicheskii Zhurnal. 2017;13:208-14. doi: 10.22141/2224-0721.13.3.2017.104121

Резюме. Актуальность. В большинстве случаев сахарного диабета (СД) осложнение в виде диабетической ангиопатии нижних конечностей диагностируется достаточно поздно, при появлении уже клинических проявлений сосудистой патологии. Оздоровительные мероприятия на этом этапе носят паллиативный характер, не останавливая саму патологию. В этой связи становится актуальной диагностика начальных проявлений диабетической ангиопатии на доклиническом этапе. **Цель исследования:** выявить различие в состоянии микроциркуляции в верхних и нижних конечностях у больных СД для возможности диагностики начальных стадий диабетической ангиопатии нижних конечностей с помощью метода фотоплетизмографии. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие три группы людей: здоровые лица, больные СД до 5 лет и больные СД более 10 лет, которым проводилась фотоплетизмография ногтевого ложа пальцев кисти и пальцев стопы. **Результаты.** Выявлено отсутствие разницы в состоянии микроциркуляции в руках и ногах здоровых людей. Выявлена достоверная разница в состоянии микроциркуляции верхних и нижних конечностей при СД, увеличивающаяся по мере срока заболевания диабетом и декомпенсации углеводного обмена, что позволяет использовать фотоплетизмографию ногтевого ложа пальцев кистей и стоп для диагностики ранних этапов формирования диабетической ангиопатии нижних конечностей. **Выводы.** Одним из ранних признаков начала диабетической ангиопатии служит появление асимметрии в микроциркуляции между кистями и стопами, выявляемое фотоплетизмографией. Выявление диабетической ангиопатии на доклиническом этапе открывает возможности для активной и эффективной профилактики сосудистых осложнений при СД, предупреждая развитие синдрома диабетической стопы. **Ключевые слова:** сахарный диабет; диабетическая ангиопатия нижних конечностей; фотоплетизмография ногтевого ложа; асимметрия микроциркуляции в кистях и стопах

Введение

Сахарный диабет (СД) является одним из наиболее распространенных заболеваний, занимая основное место в структуре эндокринной патологии. В европейских странах распространенность СД составляет 3–10 % всего населения, а среди лиц с факторами риска и у пожилых достигает 30 % от всего населения [1]. В 2011 году в Украине количество зарегистрированных больных СД составляло 1 221 300 человек (около 2,7 % всего населения). В то же время скрининговые исследования показывают, что их число втрое превышает официальные данные. Распространенность диабетической гангрены в Украине составляет 20,1 на 100 тыс. населения [2].

В структуре осложнений СД имеется патология в виде диабетической ангиопатии. Диабетические

ангиопатии включают в себя поражение не только крупных артерий, но и сосудов среднего и мелкого калибра (макроангиопатия), а также капилляров, артериол и венул (микроангиопатия). Диабетическая ангиопатия — следствие повреждения микроциркуляторного русла из-за повышенного внутрисосудистого давления и повышенной скорости пульсовой волны, обусловленного патологией вышележащих артерий. Наиболее серьезные последствия имеют диабетические ангиопатии, вызывающие в комплексе поражение нижних конечностей — так называемый синдром диабетической стопы (СДС). Распространенность СДС повышается с возрастом и достигает пика (28 %) к 65–75 годам [3].

Повышение жесткости сосудистой стенки при СД является следствием генетических, метаболических

и гормональных нарушений, причем увеличение жесткости сосудов у больных СД развивается раньше, чем клинические проявления ангиопатии [4, 5–10]. Клинические проявления ангиопатии конечностей в большинстве случаев представлены только поражением сосудов нижних конечностей при отсутствии клинических проявлений в руках.

Современные методы диагностики артериальной патологии, такие как ангиография и доплерография, обеспечивают визуализацию, уточняют характер и локализацию патологии крупных, средних, мелких сосудов. В то же время они не позволяют диагностировать первую и вторую стадии ишемии нижних конечностей по Фонтейну, не предназначены для оценки микроциркуляторного русла и проведения различных функциональных проб с выявлением функционального компонента в общей картине ангиопатии.

Традиционными объектами клинико-морфологического анализа микроциркуляции являются сосуды ногтевого ложа, кожи и слизистых оболочек с использованием капилляроскопии, биомикроскопии, лазерной доплеровской флоуметрии [11]. Однако данные методы диагностики не относятся к общедоступным исследованиям. Научно-технический прогресс предоставил возможность использования метода фотоплетизмографии (ФПГ) для оценки периферического кровотока, пригодного для массового и доступного обследования микроциркуляторного русла с целью ранней диагностики диабетической ангиопатии нижних конечностей при СД [12]. Фотоплетизмограмма, получаемая после усиления и обработки сигнала фотоприемника, характеризует состояние кровотока в месте расположения датчика и отображается в виде графики пульсовых волн [13].

Цель исследования: выявить критерии различия состояния микроциркуляции в верхних и нижних конечностях у больных сахарным диабетом для диагностики начальных стадий диабетической ангиопатии нижних конечностей с помощью метода фотоплетизмографии.

Материалы и методы

Для исследования отобраны три группы людей в количестве 15 человек в каждой. В первую группу входили здоровые люди разного возраста без сосудистых нарушений. Во вторую группу — пациенты с СД без клинических проявлений диабетической ангиопатии нижних конечностей. В третью группу вошли пациенты с длительным течением СД и клиническими проявлениями диабетической ангиопатии нижних конечностей.

Методом диагностики диабетической ангиопатии выступила фотоплетизмография ногтевого ложа пальцев рук и ног, выполненная на аппарате «Ангиоскан», с проведением функциональных проб для выявления доли функционального компонента в общей картине диабетической ангиопатии [12].

Одним из методов оценки состояния артериальной системы является анализ пульсовых волн

с использованием пальцевой фотоплетизмографии. Фотоплетизмография ногтевого ложа, регистрируя пульсовые волны, позволяет выявить патологию микроциркуляторного русла [15]. Установлены системные изменения микроциркуляции при СД, ишемической болезни сердца, физической нагрузке, беременности [11].

Пульсовая волна является отражением сосудистого кровотока и регистрируется на протяжении от аорты до артериол. Любое нарушение в артериях изменяет характеристики пульсовых волн, что позволяет судить о степени жесткости артерий, скорости пульсовой волны, кровенаполнении [14]. Повышение жесткости артерий является одним из ранних предикторов сосудистой патологии при СД [16].

Одним из наиболее доступных для клинических условий параметром отраженной волны является индекс прибавки (аугментации) AIx . В эластичных артериях индекс аугментации $AIx < 100\%$, в ригидных артериях $AIx > 100\%$ [15].

Периферические артерии у здоровых людей имеют большую жесткость, чем центральные, и, соответственно, большее давление в сосудах от центра к периферии [18]. Повышение пульсового артериального давления ускоряет повреждение артерий преимущественно в органах-мишенях. Местный кровоток системы микроциркуляции не обладает высоким сопротивлением микрососудов к высокому давлению и пульсирующему кровотоку, что ставит его в один ряд с органами-мишенями по повреждающему воздействию [19].

Физиология сердечно-сосудистой системы обязывает последнюю обеспечить в равной доле все ткани и органы организма обменом веществ независимо от их расстояния до сердца. Нормальное состояние артериальной системы, от аорты до мелких артерий, обеспечивает равенство состояния микроциркуляции во всех органах и тканях организма, и при отсутствии системной или локальной артериальной патологии показатели микроциркуляции в различных отделах организма должны быть одинаковыми в своем результате (норма — норма).

Результаты

На рис. 1, 2 отображено состояние микроциркуляции в кистях и стопах у здоровых лиц без сосудистой патологии: симметричность характеристик пульсовых волн с верхних и нижних конечностей в виде однотипности пульсовых волн (нормальная волна $C 100\%$) и нормальной жесткости сосудов ($-15,7$ и $-20,4\%$).

При системной сосудистой патологии функционального характера имеются изменения в микроциркуляторном русле, но сохраняется одинаковость изменений микроциркуляции в различных участках тела человека. Результаты ФПГ при нарушении микроциркуляции, не связанной со структурной, локальной патологией артериальной системы, отличаются от ФПГ здоровых лиц появлением патологических форм пульсовой волны А, однако при этом сохраняется симметричность состояния



Рисунок 1. Состояние микроциркуляции в кистях у здоровых лиц без сосудистой патологии

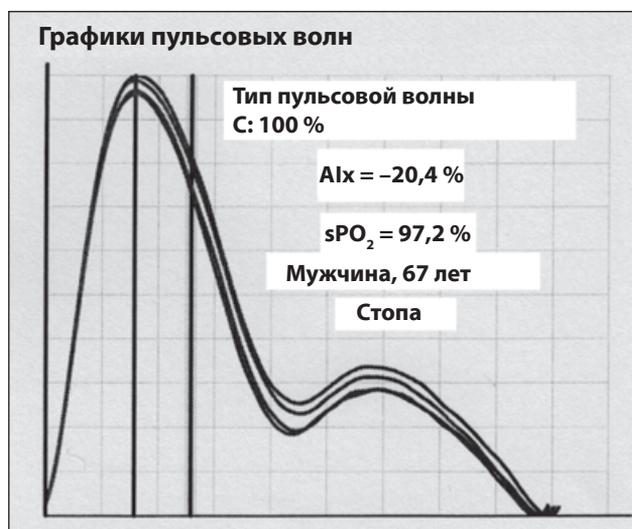


Рисунок 2. Состояние микроциркуляции в стопах у здоровых лиц без сосудистой патологии

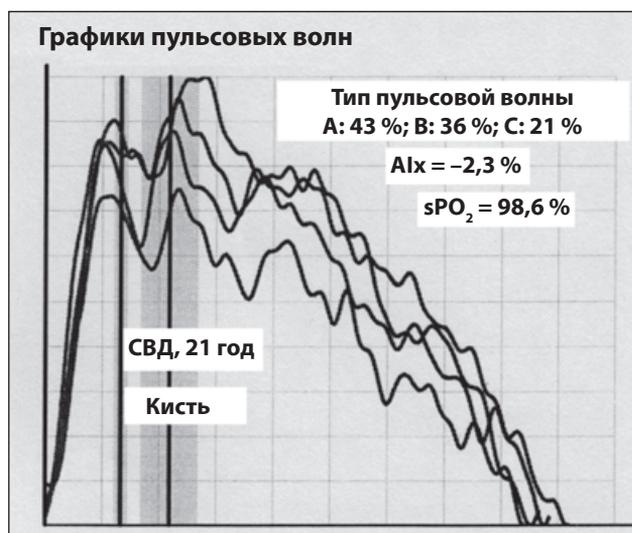


Рисунок 3. Состояние микроциркуляции в кистях у пациента с системной сосудистой патологией функционального характера

микроциркуляции разных участков организма по типу пульсовых волн и результату жесткости сосудов в руках и ногах.

На рис. 3, 4 отображено нарушение состояния микроциркуляции в кистях и стопах у пациента с системной сосудистой патологией функционального характера, где имеются патологические волны типа А 43 и 49 %, индекс AIx -2,3 и -0,6 %, находящийся в пределах нормы для этого человека.

Различия клинической картины в верхних и нижних конечностях при диабетической ангиопатии объясняются не разным воздействием нарушения углеводного обмена на артерии рук и ног, а двумя физиологическими отличиями кровообращения в них, а именно — длиной артериального русла и ортостатической разницей давления крови на уровне кистей и стоп, играющими важную роль при патологии сосудистой системы.

Повышенная длина артериальной системы нижних конечностей в случае ее патологии обеспечивает большее внутрисосудистое давление и большую скорость пульсовой волны в нижних конечностях, что приводит к большему повреждению в микроциркуляторном русле.

Большой объем крови в ногах обеспечивает большее ортостатическое давление крови в нижних конечностях, формируя повышенную нагрузку на микроциркуляторное русло.

Эти физиологические отличия кровотока в верхних и нижних конечностях приводят при одинаковом состоянии углеводного обмена к разным клиническим проявлениям диабетической ангиопатии в верхних и нижних конечностях.

При сравнении состояния микроциркуляции в кистях и стопах необходимо устранять ортостатическую разницу между ними, что достигается исследованием в положении лежа.

Появление асимметрии в микроциркуляции пальцев стоп более 30 % по отношению к кистям у больных СД свидетельствует о появлении признаков

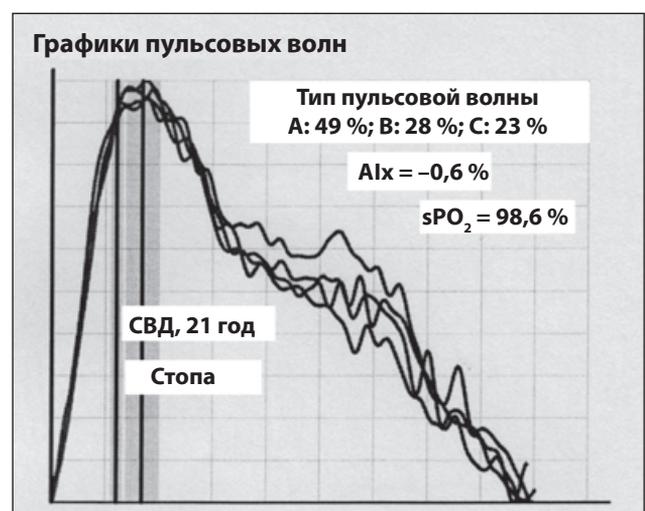


Рисунок 4. Состояние микроциркуляции в стопах у пациента с системной сосудистой патологией функционального характера

диабетической ангиопатии нижних конечностей. Ухудшение в динамике показателей пульсовой волны и жесткости артерий в стопах также может использоваться как признак формирующейся диабетической ангиопатии в нижних конечностях. Повреждающее действие на микроциркуляцию при диабетической ангиопатии нижних конечностей опережает аналогичное действие в верхних конечностях, обеспечивая появление асимметрии кровотока между верхними и нижними конечностями, что иллюстрируют следующие результаты.

На рис. 5, 6 представлены пульсограммы больного СД с небольшой длительностью заболевания, на которых выявлено появление патологических пульсовых волн типа А с преобладанием их в стопах (33 %) над показателями кистей (13 %). Индекс аугментации находится в пределах нормы, но с худшими показателями в стопах на 54 % (-7,7 и 5,0 % соответственно).

На пульсограмме ногтевого ложа кисти и стопы больного СД с длительностью заболевания более 10 лет (рис. 7, 8) видно, что она характеризуется

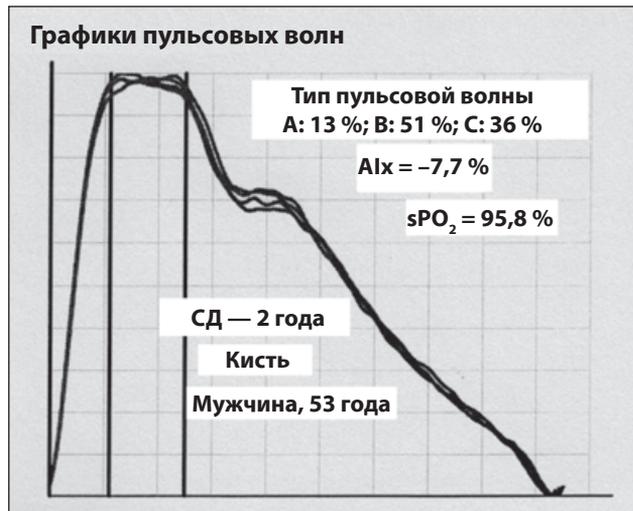


Рисунок 5. Пульсограмма на кисти больного СД с небольшой длительностью заболевания

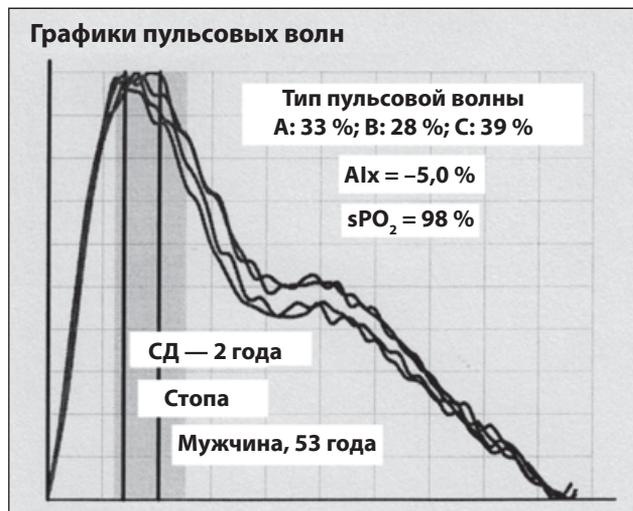


Рисунок 6. Пульсограмма на стопе больного СД с небольшой длительностью заболевания

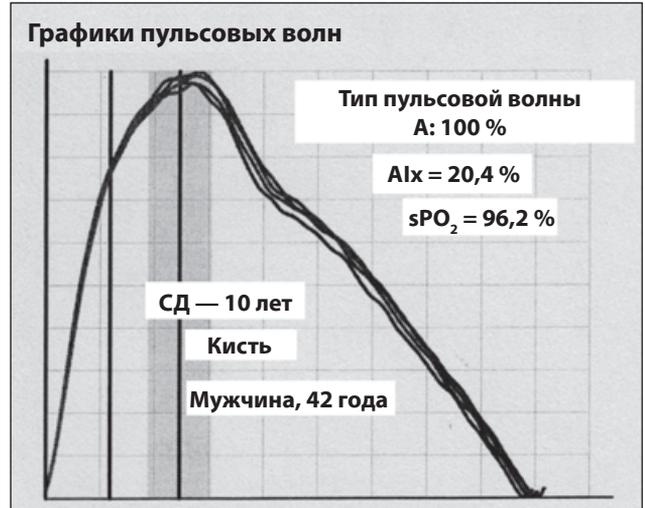


Рисунок 7. Пульсограмма ногтевого ложа кисти больного СД с длительностью заболевания более 10 лет

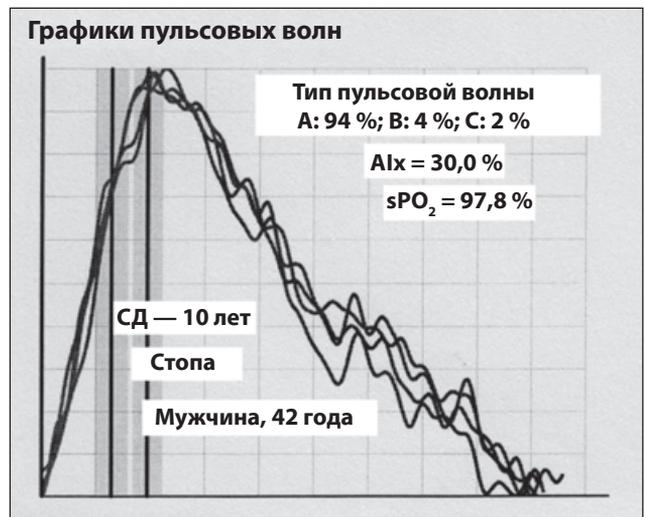


Рисунок 8. Пульсограмма ногтевого ложа стопы больного СД с длительностью заболевания более 10 лет

преобладающим наличием патологических пульсовых волн типа А, близким к 100 % в кистях и стопах, наличием патологических значений индекса аугментации с худшими показателями в стопах на 47 %. Функциональный компонент в этой стадии может отсутствовать или быть незначительным в микроциркуляции стоп.

Присутствие нормальных пульсовых волн типа С в общем пуле пульсовых волн (С, В, А) в большинстве своем указывает на наличие функционального компонента в нарушении микроциркуляции, что подтверждается результатами ФПГ кисти, отображенными на рис. 9, 10, где наличие волн А составляет в исходной кривой 73 % и AIx 2,4 %, а после приема нитроглицерина — 1 и -13,5 % соответственно.

Наличие в спектре патологических пульсовых волн типа А и В при нормальном показателе жесткости артерий (AIx) также не исключает наличие функционального компонента нарушений в артериальной системе. Так, волна А составляет в исходной

кривой 96 % и AIx 13,5 % и после нитроглицерина — 1 и —21 % соответственно. Наличие в спектре пульсовых волн только патологической волны типа А и высокого индекса аугментации также не исключает наличия функционального компонента, что подтверждается выполнением функциональных проб для определения его наличия или отсутствия в структуре артериальной патологии.

Обсуждение

В ходе выполненной работы выявлена достоверная разница в состоянии микроциркуляции верхних и нижних конечностей у больных СД, увеличивающаяся по мере длительности СД и декомпенсации углеводного обмена, что позволяет использовать появление или ее наличие в диагностике ранних этапов формирования диабетической ангиопатии нижних конечностей. При наличии диабетической ангиопатии с уже выраженными клиническими проявлениями регистрация ФПГ ногтевого ложа пальцев стоп встречает значительные затруднения

вследствие имеющихся нарушений микроциркуляции. В этих случаях ФПГ не имеет диагностической ценности раннего выявления признаков диабетической ангиопатии нижних конечностей. Диагностические критерии фотоплетизмографии для дифференциальной диагностики нарушений микроциркуляции в кистях и стопах отображены в табл. 1.

Выводы

1. Появление асимметрии в состоянии микроциркуляции верхних и нижних конечностей, выявляемое фотоплетизмографией ногтевого ложа пальцев кисти и стоп, позволяет диагностировать ранние признаки появления диабетической ангиопатии нижних конечностей.
2. Обследование больных сахарным диабетом методом фотоплетизмографии с момента постановки на учет позволяет выявлять появление признаков (рисков) диабетической ангиопатии нижних конечностей в динамике наблюдения

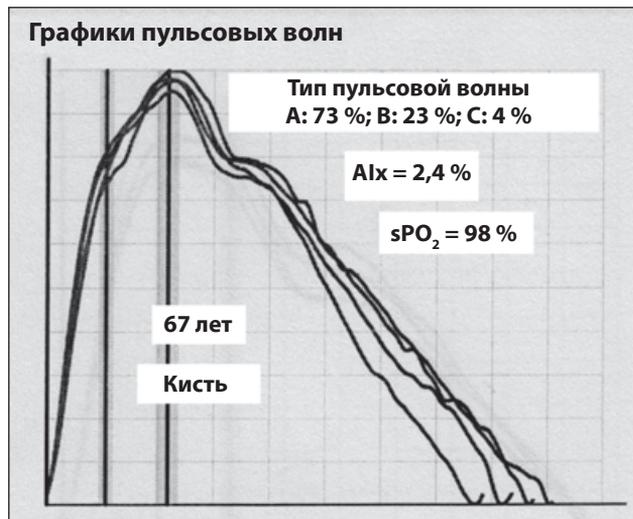


Рисунок 9. Результат ФПГ кисти больного СД с длительностью заболевания более 10 лет

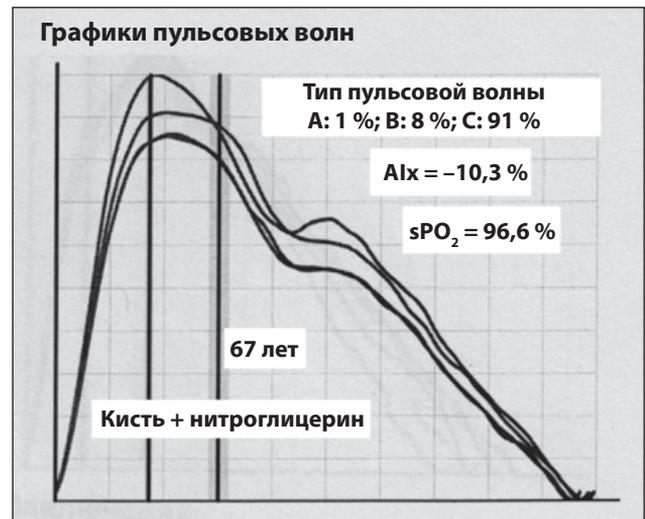


Рисунок 10. Результат ФПГ кисти больного СД после приема нитроглицерина

Таблица 1. Критерии фотоплетизмографии для оценки состояния микроциркуляции в кистях и стопах

Показатели ФПГ	Здоровые лица	Пациенты с функциональной патологией	Больные СД	
			Риск развития ангиопатии	Диабетическая ангиопатия
Типы пульсовой волны кисть стопа	C (C-B) C (C-B)	C-B (C-B > A) C-B (C-B > A)	C < B > A (A, B) C < B > A (A, B)	A или A > B A
Индекс аугментации кисть стопа	N N	N N	В пределах N В пределах N	В пределах N или патология Патология
Асимметрия микроциркуляции кисть стопа	Отсутствует	Незначительная	Более 30 %	Более 30 %
Функциональный компонент кисть стопа	Отсутствует	Есть Есть	Есть Есть	Незначителен Нет или незначительный

и проводит активные профилактические мероприятия по предупреждению развития синдрома диабетической стопы.

3. Метод фотоплетизмографии может быть эффективным диагностическим инструментом для школ самоконтроля больных СД, кабинетов диабетической стопы, внося свой вклад в выполнение программы СД и профилактику диабетических осложнений.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов при подготовке данной статьи.

References

1. Bezdetko PA, Gorbacheva EV. Epidemiology and frequency of diabetes mellitus and diabetic retinopathy. *Mezhdunarodnyi Endokrinologicheskii Zhurnal*. 2006;4(6):76-80. (In Russian).
2. Larin OS, Pan'kiv VI, Selivanenko MI, Grachova OO. Analysis of the endocrinology service of Ukraine in 2010 and prospects for the development of care for patients with endocrine disorders. *Mezhdunarodnyi Endokrinologicheskii Zhurnal*. 2011;3(35):10-9. (In Ukrainian).
3. Bondareva TM, Oganessian RG. The role and place of angioprotectors in the complex treatment of diabetic angiopathies. (In Russian). Available from: <http://izron.ru/articles/o-nekotorykh-voprosakh-i-problemakh-sovremennoy-meditsiny-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhdun/sektsiya-49-organizatsiya-farmatsevticheskogo-dela-spetsialnost-14-04-03/rol-i-mesto-angioprotektorov-v-kompleksnom-lechenii-diabeticheskikh-angiopatiy/>. Accessed: 11.07.2016.
4. Ostroumova OD, Kochetkov AI. Stiffness of the vascular wall in patients with hypertension. *Sistemnye gipertenzii*. 2015;12:44. (In Russian).
5. Airaksinen KE, Salmela PI, Linnaluoto MK, et al. Diminished arterial elasticity in diabetes: association with fluorescent advanced glycosylation end products in collagen. *Cardiovasc Res*. 1993;27(6):942-5. PMID: 8221782.
6. Chappey O, Dosquet C, Wautier MP, Wautier JL. Advanced glycation end products, oxidant stress and vascular lesions. *Eur J Clin Invest*. 1997;27(2):97-108. PMID: 9061302.
7. Lehmann ED. Arterial wall compliance in diabetes. *Diab Med*. 1992;9(2):114-9. PMID: 1563244.
8. Schram MT, Schalwijk CG, Bootsma AH et al. Advanced glycation end products are associated with pulse pressure in type 1 diabetes: the EURODIAB Prospective Complications Study. *Hypertension*. 2005;46(1):232-7. PMID: 15851628. doi: 10.1161/01.HYP.0000164574.60279.ba.
9. Schram MT, Henry RM, van Dijk RA et al. Increased central arterial stiffness in impaired glucose metabolism and type 2 diabetes: the Hoorn study. *Hypertension*. 2004 Feb;43(2):176-181. PMID: 14698999. doi: 10.1161/01.HYP.0000111829.46090.92.
10. McEavey OD, McCallum RW, Petrie JR et al. Higher carotid radial pulse wave velocity in healthy offspring of patients with Type 2 diabetes. *Diab Med*. 2004;21(3):262-266. PMID: 15008837.
11. Benediktov II, Sysoev DA, Caur GA. Basic methods of studying the microcirculation system. *Akusherstvo i ginekologija*. 1999;5:8-11. (In Russian).
12. Parfenov AS. Early diagnosis of cardiovascular diseases using the hardware-software complex Angioscan-01. *Polyclinic*. 2012;2(1). (In Russian).
13. Bojko VV, Pavlov AA, Zharov AV. Methods of investigation of microcirculatory system circulatory system circulatory disorders. *Harkivs'ka hirurgichna shkola*. 2010;4(42):103-4. (In Russian).
14. Miljagin VA, Komissarov VB. Modern methods of evaluation of vascular stiffness. *Arterial'naja gipertenzija*. 2010;16(2). (In Russian).
15. Frolov AV, Sidorenko GI, Vorob'ev AP. Direct and reflected pulse waves: methods of investigation. (In Russian).
16. Cruickshank K, Riste L, Anderson SG, et al. Aortic pulse-wave velocity and its relationship to mortality in diabetes and glucose intolerance: an integrated index of vascular function. *Circulation*. 2002;106:85-90. PMID: 12379578.
17. Volosok NI, Stepanova NA, Malkoch AV. Microcirculation and methods of diagnosis of its disorders in children. (In Russian). Available from: www.gastroportal.ru/php/content.php?id=113001
18. Oganov RG. Modern strategies for the prevention and treatment of cardiovascular diseases. *Cardiology*. 2007;47(12):4-9. (In Russian).
19. Vasjuk JuA, Galjavich AS, et al. Consensus of Russian experts on the evaluation of arterial stiffness in clinical practice. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2016;15(2):4-19. (In Russian). doi: 10.15829/1728-8800-2016-2-4-19.

Получено 11.05.2017 ■

Воробийов Л.В.

Лікувально-діагностичний центр «Віком-мед», м. Кременчук, Україна

Можливості фотоплетизмографії у ранній діагностиці діабетичної ангіопатії нижніх кінцівок

Резюме. *Актуальність.* У більшості випадків цукрового діабету (ЦД) ускладнення у вигляді діабетичної ангіопатії нижніх кінцівок діагностується досить пізно, при появі клінічних проявів судинної патології. Оздоровчі заходи на цьому етапі носять паліативний характер, не зупиняючи прогресування самої патології. У зв'язку з цим стає актуальною діагностика початкових проявів діабетичної ангіопатії на доклінічному етапі. *Мета дослідження:* виявити відмінність в стані мікроциркуляції у верхніх і нижніх кінцівках у хворих на ЦД для можливості діагностики початкових стадій діабетичної ангіопатії нижніх

кінцівок за допомогою методу фотоплетизмографії. *Матеріал та методи.* У дослідженні брали участь три групи людей: здорові особи, хворі на ЦД до 5 років і хворі на ЦД понад 10 років, яким проводилася фотоплетизмографія нігтьового ложа пальців кисті і пальців стопи. *Результати.* Виявлено відсутність різниці в стані мікроциркуляції в руках і ногах здорових людей. Виявлена вірогідна різниця в стані мікроциркуляції верхніх і нижніх кінцівок при ЦД, що збільшується при зростанні тривалості ЦД і декомпенсації вуглеводного обміну. Це дозволяє використовувати фотоплетизмографію нігтьового ложа

пальців кистей і стоп для діагностики ранніх етапів формування діабетичної ангіопатії нижніх кінцівок. **Висновки.** Однією з ранніх ознак початку діабетичної ангіопатії є поява асиметрії в мікроциркуляції між кистями і стопами, що виявляється фотоплетизмографією. Виявлення діабетичної ангіопатії на доклінічному етапі відкриває

можливості для активної та ефективної профілактики судинних ускладнень при ЦД, попереджаючи розвиток синдрому діабетичної стопи.

Ключові слова: цукровий діабет; діабетична ангіопатія нижніх кінцівок; фотоплетизмографія нігтьового ложа; асиметрія мікроциркуляції в кистях і стопах

L.V. Vorobjov

Diagnostic and treatment center "Vikom-med", Kremenchug, Ukraine

The photoplethysmography potential for the early diagnosis of diabetic angiopathy of the lower limbs

Abstract. Background. In most cases of diabetes mellitus (DM), a complication in the form of diabetic angiopathy of the lower limbs is diagnosed rather late when clinical manifestations of vascular pathology appear. Wellness activities at this stage are palliative, the pathology is not reduced. In this regard it becomes necessary to diagnose initial manifestations of diabetic angiopathy at the preclinical stage. The study aims at revealing a difference in microcirculation in the upper and lower limbs in patients with DM. This difference allows us to diagnose an initial stage of diabetic angiopathy of the lower limbs. For this purpose, we used a method of photoplethysmography. **Materials and methods.** The study involved three groups of people: a group of healthy individuals, a group of patients with DM of up to 5 years duration, and a group of patients with DM of over 10 years duration. Photoplethysmography was carried out on the nail beds of their fingers and toes.

Results. The test showed that in groups of diabetic patients there was a significant difference in the level of microcirculation in upper and lower limbs. This difference deep with increased duration of the disease and reflected the level of carbohydrate metabolism decompensation. This result made it possible to use this method at the early stages in the diagnosis of the formation of diabetic angiopathy of the lower limbs. **Conclusions.** One of the earliest signs of diabetic angiopathy onset is the appearance of asymmetry in the microcirculation of the hands and feet, revealed by photoplethysmography. The detection of diabetic angiopathy at the preclinical stage opens opportunities for active and effective prevention of vascular complications in DM and diabetic foot development.

Keywords: diabetes mellitus; diabetic angiopathy of the lower limbs; photoplethysmography of the nail bed; asymmetry of microcirculation in hands and feet