

3. Кистень О.В., Евстигнеев В.В., Давыдов М.В. // Матер. VI междисциплинарного конгресса «Нейронаука для медицины и психологии». Судак, 2010. С. 160–161.
4. Водосодержащие имитаторы биологических тканей для защиты человека от электромагнитных излучений / Под ред. Л.М. Лынькова. Минск, 2014.
5. Кистень О.В., Давыдов М.В., Евстигнеев В.В. // *ArgMedica*. 2010. № 12 (32). С. 79–85.

УДК 616-7:611.1

## ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ-ВОЛНОВОДОВ ТРУБЧАТОГО ТИПА ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ НЕПРОХОДИМОСТИ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ

В.Т. МИНЧЕНЯ, И.Э. АДЗЕРИХО, А.Ю. КОРОЛЁВ

*Белорусский национальный технический университет  
пр. Независимости 65, 220013, Минск, Беларусь*

*Белорусская медицинская академия последипломного образования  
П. Бровки 3, к. 3, 220113, Минск, Беларусь*

*Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»  
ул. Я.Коласа 24, к. 34/1, 220013, Минск, Беларусь*

*Поступила в редакцию 22 ноября 2016*

Разработана принципиально новая конструкция ультразвуковой волноводно-катетерной системы для устранения непроходимости кровеносных сосудов, основанная на использовании в ней концентратора-волновода нового поколения, а именно, ступенчатого концентратора-волновода трубчатого типа. Эффект разрушения тромбов/бляшек осуществляется за счет использования кавитационной струи жидкости, которая формируется путем инфузионной подачи через внутреннюю полость концентратора-волновода на его дистальную порцию одновременно с ультразвуковым воздействием. Данный принцип воздействия, в отличие от кавитационно-механического, является более эффективным и безопасным в плане разрушения внутрисосудистых тромбов и атеросклеротических бляшек, а также способствует значительному улучшению эласто-механических свойств сосудистой стенки при атеросклерозе и сахарном диабете.

*Ключевые слова:* тромб, бляшка, атеросклероз, ультразвук, концентратор, волновод, трубчатый тип, кавитационная струя.

### Введение

В ранее проведенных нами исследованиях *in vitro* и *in vivo* была установлена прямая зависимость степени ультразвукового разрушения внутрисосудистых тромбов и атеросклеротических бляшек от интенсивности и продолжительности ультразвукового воздействия. В результате были разработаны и внедрены в клиническую практику интервенционные методы восстановления проходимости пораженных сосудов: ультразвуковой тромболитис/ангиопластика [1–3]. Для достижения ультразвукового воздействия к месту образования тромбов/бляшек нами были разработаны волноводно-катетерные системы стержневого типа [4, 5].

Несмотря на доказанную клиническую эффективность их использования для лечения атеротромбоза, имеется целый ряд недостатков в конструкции концентраторов-волноводов данного типа, что, в целом, ограничивает возможность дальнейшего их применения. В частности, было установлено, что при воздействии концентраторов-волноводов стержневого типа ультразвуковое разрушение тромбов/бляшек осуществляется преимущественно за счет

акусто-механического эффекта. Следствием данного процесса является образование больших по размеру результирующих осколков патологической ткани, что увеличивает риск дистальной эмболии и может способствовать ретромбозу/рестенозу. Кроме того, проведение волновода внутри сосуда является плохо управляемым процессом, даже при условии использования внутрисосудистого проводника. Установлено, что концентраторы-волноводы стержневого типа могут способствовать акусто-механическому повреждению сосудистой стенки, который имеет дозозависимый характер. В этих условиях требуется особая осторожность в управлении волноводом, с учетом высокого риска сосудистой перфорации.

### Методика эксперимента

Оценка безопасности и эффективности применения концентраторов-волноводов выполнялась путем ультразвукового воздействия на сосудистую стенку и окклюзирующий субстрат сегментов бедренных, подколенных и берцовых артерий. С целью устранения вышеуказанных недостатков, нами была усовершенствована конструкция волноводно-катетерной системы путем использования в ней концентратора-волновода нового поколения, а именно, ступенчатого концентратора-волновода трубчатого типа. Особенностью ее применения является устранение грубого акусто-механического воздействия на сосудистую ткань. Эффект разрушения тромбов/бляшек осуществляется за счет использования кавитационной струи жидкости, которая формируется путем ее инфузионной подачи через внутреннюю полость концентратора-волновода на его дистальную порцию одновременно с ультразвуковым воздействием. Сама ультразвуковая система состоит из генератора ультразвуковых колебаний, ультразвукового преобразователя и концентратора-волновода, снабженного центральным отверстием, и соединяемого с ультразвуковым преобразователем фиксатором (разъемом), обеспечивающим прямой и обратный ток жидкости через внутреннюю полость. При этом конструктивно концентратор-волновод (рис. 1) состоит из трубки ступенчатой формы 1 узла крепления, включающего винт 2 и плоскую шайбу 3 и фиксатора (разъема) 4 для подключения магистрали подачи или аспирации жидкости. Концентратор-волновод также характеризуется тем, что выполнен с изгибом в зоне крепления к ультразвуковому преобразователю на угол не менее  $30^\circ$ . Рабочая часть концентратора-волновода выполняется в виде цилиндрической трубки ступенчатой формы с плавным переходом от проксимальной части большого диаметра к дистальной части меньшего диаметра (рис. 2). С целью осуществления прямого и обратного тока жидкости через внутреннюю полость концентратора-волновода его дистальная часть снабжается фиксатором (разъемом), обеспечивающим присоединение к коннекторам Луер-Лок типа Male, который широко используется при соединении изделий для инфузионной терапии.

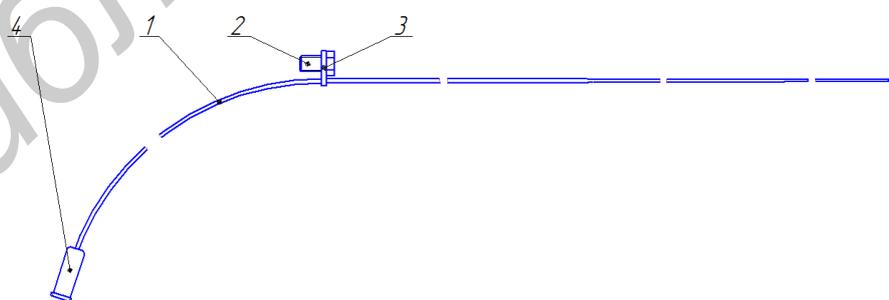


Рис. 1. Конструкция трубчатого ступенчатого концентратора-волновода



Рис. 2. Рабочая часть концентратора волновода

Крепление концентратора-волновода к ультразвуковому преобразователю (рис. 3) осуществляется винтом через плоскую шайбу, толщиной 0,5–5 мм, прикрепленной к

концентратору-волноводу на расстоянии  $n \frac{\lambda}{4}$  от проксимального конца, где  $n$  – целое число из ряда 1, 3, 5, 7, ...,  $\lambda$  – длина волны продольных колебаний в материале концентратора-волновода и на расстоянии  $n \frac{\lambda}{2}$  от дистального конца где  $n$  – целое число из ряда 1, 2, 3, 4, ...,  $\lambda$  – длина волны продольных колебаний в материале концентратора-волновода. Конструкция узла крепления концентратора-волновода обеспечивает возможность соединения с ультразвуковым преобразователем без его вращения относительно самого преобразователя.

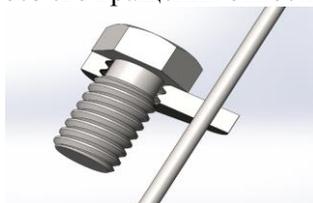


Рис. 3. Конструкция узла крепления концентратора-волновода к ультразвуковому преобразователю

Для обеспечения максимального эффекта разрушения внутрисосудистых образований путем виброударного воздействия при ультразвуковых колебаниях на дистальном конце концентратора сформирована рабочая головка в виде оливы, имеющая не менее трех отверстий равноотстоящих друг от друга и выполненных в плоскости перпендикулярной оси концентратора, а также центральное отверстие являющееся продолжением отверстия проксимальной и дистальной части концентратора-волновода (рис. 4). Данные отверстия предназначены для воздействия кавитационной струей на внутрисосудистые образования и ультразвукового ремоделирования сосудистой стенки. Кроме того, для обеспечения надежности работы системы, в частности концентратора-волновода рабочая головка концентратора выполнена без использования соединительных операций.



Рис. 4. Конструкция рабочей головки концентратора-волновода

Принцип работы разработанной системы заключается в следующем (рис. 5, а). Концентратор-волновод 1 помещается в катетер 5. От ультразвукового преобразователя механические колебания ультразвуковой частоты передаются на проксимальную часть концентратора-волновода и через нее на среднюю и дистальную части и далее на рабочую головку 2. Благодаря тому, что в рабочей головке имеются отверстия 3 и 4, соединенные с полостью концентратора-волновода, через которую осуществляется ток жидкости, обеспечивается высокая безопасность разрушения тромба, исключается вероятность диссекции сосудистой стенки. Наличие отверстий, расположенных перпендикулярно оси центрального отверстия 4, позволяет обрабатывать стенки сосуда и увеличивает зону обработки тромба. На выходе из центрального отверстия 3 рабочей головки концентратора-волновода происходит формирование кавитационной струи столбчатой формы, которая обеспечивает дистанционное разрушение тромба или тромбозембола на некотором расстоянии от рабочей головки. При работе системы рабочая головка с отверстиями выводится из катетера с таким условием, чтобы расстояние от торцевой части катетера до ближнего края отверстия, перпендикулярного оси концентратора-волновода, не превышало 0,5 мм (рис. 5, б). Подача жидкости в зону обработки при работе системы осуществляется через полость внутри концентратора-волновода и отверстия в рабочей головке. Аспирация жидкости и продуктов разрушения из зоны обработки осуществляется через кольцевой зазор между рабочей головкой и стенками катетера. При необходимости возможно обеспечение

обратного тока жидкости: подача через кольцевой зазор, аспирация – через отверстия в рабочей головке и полость концентратора-волновода (рис. 5, б).

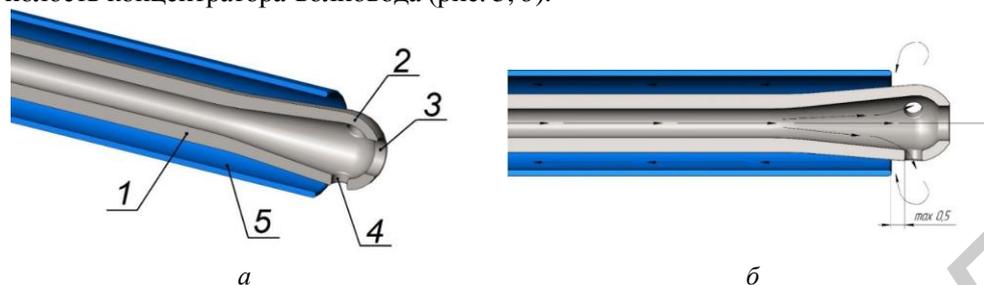


Рис. 5. Схема работы разработанной системы: а – трубчатый концентратор-волновод в катетере; б – направления потоков жидкости в волноводно-катетерной системе

### Заключение

Разработка принципиально новой по конструкции волноводно-катетерной системы трубчатого типа позволяет достичь образования направленной кавитационной струи жидкости и, таким образом, осуществить дистантно-кавитационное воздействие на биологическую ткань. Данный принцип воздействия, в отличие от кавитационно-механического, является более эффективным и безопасным в плане разрушения внутрисосудистых тромбов и атеросклеротических бляшек, а также способствует значительному улучшению эласто-механических свойств сосудистой стенки при атеросклерозе и сахарном диабете. Создание возможности получения однонаправленной кавитационной струи жидкости открывает новые перспективы для локальной доставки медикаментозного препарата в зону интересов.

## APPLICATION OF TUBE TYPE ULTRASONIC CONCENTRATORS- WAVEGUIDES FOR BLOOD VESSELS OBSTRUCTION ELIMINATION

V.T. MINCHENYA, I.E. ADZERIKHO, A.Yu. KOROLYOV

### Abstract

Fundamentally new design of ultrasonic waveguide-catheter system to eliminate the obstruction of blood vessels was developed. The effect thrombus/plaques destruction is carried out by using a cavitation jet of liquid formed by supplying through internal cavity of concentrator-waveguide at its distal part simultaneously with ultrasound action. This kind of effect, unlike mechanical cavitation is more effective and safer in terms of destruction of endovascular thrombus and atherosclerotic plaques, and has greatly improved elastic-mechanical properties of the vascular wall in atherosclerosis and diabetes.

**Keywords:** trombus, plaque, atherosclerosis, ultrasound, concentrator, waveguide, tube type, cavitation jet

### Список литературы

1. Adzerikho I., Bubulis A., Juzenas V. et. al. // Proceedings of 10<sup>th</sup> International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications and 8th Energy Harvesting Workshop. Hannover, July 14–17 2013. P. 46.
2. Bubulis A., Adzerikho I., Stepanenko D. et. al. // J. of Vibroengineering. 2012. Vol. 14., Iss. 4, P. 1833–1851.
3. Адзерихо И.Э., Карпович Д.И., Коростылев Д.Ю. и др. // Кардиология в Беларуси. 2011. № 5 (18). С. 151.
4. Минченя В.Т., Степаненко Д.А. // Приборы и методы измерений. 2010. № 1. С. 6–16.
5. Bubulis A., Jūrēnas V., Stepanenko D. et.al. // Proceedings of the 2nd International Symposium Rare «Attractors and Rare Phenomena in Nonlinear Dynamics». Riga-Jurmala, 16–20 May 2011. P. 78–80.