

Разработка микрофлюидной установки для моделирования эмболизации кровеносных сосудов

© Пушенко¹⁺ Таисия Сергеевна, Небесная¹ Дарья Владимировна,
Нормов¹ Андрей Максимович, Карпов¹ Николай Васильевич,
Легонькова² Ольга Александровна, Жаворонок^{2*} Елена Сергеевна

¹ МИРЭА – Российский технологический университет. Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова. г. Москва, 119571. Россия. E-mail: pushenkotaisia4@gmail.com

² Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А.В. Вишневского. Министерства здравоохранения Российской Федерации. г. Москва, 115093. Россия.

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: эмболизация, эмболизирующий агент, эмбол, ацетат целлюлозы, диметилсульфоксид, микрофлюидная установка, диаметр капилляра, скорость потока.

Аннотация

Эмболизация – малоинвазивная хирургическая процедура, применяемая для уменьшения притока крови к патологическим участкам организма. Данное вмешательство позволяет проводить хирургическое лечение с большей точностью. Эффективность процедуры зависит от подбора эмболизирующего агента и создания моделей, способных моделировать кровеносное русло.

В работе проведено моделирование процесса эмболизации. Исследования проведены на микрофлюидной установке Qmix Pro Ext (Wingflow AG, Швейцария) со специально разработанным рабочим узлом, в котором происходит смешение потоков воды (модельной среды) и эмболизирующего агента (органической фазы). Воду подавали по диметилсульфоксид-устойчивым капиллярам, а эмболизирующий состав – через шприцы с иглами калибров от 23G до 30G. Конструкция рабочего узла предусматривает его герметизацию во избежание смещения иглы относительно капилляра, а также нежелательных протечек модельных сред. Оптическая прозрачность конструкции позволяет контролировать процесс *in situ*, количественно характеризуя его временем, необходимым для полного блокирования капилляра (время эмболизации), и длиной сформированного эмбола. Диапазон скоростей водной среды варьировали от 0.5 до 17 мл/мин., что соответствует скоростям кровотока в кровеносных сосудах. Эмболизирующий состав подавали с постоянной скоростью – 0.5 мл/мин. В качестве модельного эмболизирующего агента применяли 6 % масс. раствор ацетата целлюлозы в диметилсульфоксиде.

В результате работы была подтверждена герметичность рабочего узла и воспроизводимость результатов, получаемых на установке. Определено влияние калибра иглы и скорости подачи водной фазы на время эмболизации и длину эмбола. Это позволяет дать рекомендации по направленному подбору калибра иглы под конкретный кровоток. Таким образом, предложенная установка позволяет проводить процесс эмболизации стабильно с варьированием необходимых параметров и может служить для тестирования эмболизирующих агентов в условиях, схожих с кровеносной системой человека. Установку планируется использовать для расширения диапазона испытаний на другие значения скорости подачи эмболизирующего агента и другие типы эмболизирующих агентов.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Пушенко Т.С., Небесная Д.В., Нормов А.М., Карпов Н.В., Легонькова О.А., Жаворонок Е.С.
Разработка микрофлюидной установки для моделирования эмболизации кровеносных сосудов.
Бутлеровские сообщения. 2026. Т.86. №5. С.121-125. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-121

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Пушенко Т.С., Небесная Д.В., Нормов А.М., Карпов Н.В., Легонькова О.А., Жаворонок Е.С.
Разработка микрофлюидной установки для моделирования эмболизации кровеносных сосудов.
Бутлеровские сообщения С. 2026. Т.13. №2. Id.11. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-121/ROI-jbc-C/26-13-2-11
(Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Taisia S. Pushenko, Daria V. Nebesnaya, Andrey M. Normov, Nikolay V. Karpov, Olga A. Legonkova, Elena S. Zhavoronok. Development of a microfluidic facility for research of blood vessel embolization. *Butlerov Communications C.* **2026.** Vol.13. No.2. Id.11. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-121/ROI-jbc-C/26-13-2-11

Литература

- [1] P. Landwehr, S. Arnold, G. Voshage, P. Reimer. Grundlagen der Embolisation und andererverschließender Verfahren. *Radiologe.* **2008.** Vol.48. No.1. P.73-98.
- [2] Боломатов Н.В. Классификация эмболизирующих агентов. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.* **2020.** Т.15. №3. Часть 2. С.133-135. DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.85.96.024 [N.V. Bolomatov. Classification of embolizing agents. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center.* **2020.** Vol.15. No.3. Part 2. P. 133-135. DOI: 10.25881/BPNMSC.2020.85.96.024 (Russian)]
- [3] J.A. Goode, M.B. Matson. Embolisation of cancer: what is the evidence? *Cancer Imaging.* **2004.** Vol.4. P.133-141.
- [4] Taisia S. Pushenko, Daria V. Nebesnaya, Andrey M. Normov, Nikolay V. Karpov, Olga A. Legonkova, Elena S. Zhavoronok. Development of a microfluidic facility for research of blood vessel embolization. *Butlerov Communications C.* **2026.** Vol.13. No.2. Id.11. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-121/ROI-jbc-C/26-13-2-11
- [5] Пушенко Т.С., Небесная Д.В., Нормов А.М., Карпов Н.В., Легонькова О.А., Жаворонок Е.С. Разработка микрофлюидной установки для моделирования эмболизации кровеносных сосудов. *Бутлеровские сообщения С.* **2026.** Т.13. №2. Id.11. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-121/ROI-jbc-C/26-13-2-11 (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications C
Advances in Biochemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-C/26-13-2-11

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-121/ROI-jbc-C/26-12-2-11

**Development of a microfluidic facility for research
of blood vessel embolization**

**Taisia S. Pushenko,¹⁺ Daria V. Nebesnaya,¹ Andrey M. Normov,¹
Nikolay V. Karpov,¹ Olga A. Legonkova,² Elena S. Zhavoronok^{1*}**

¹ MIREA – Russian Technological University, Lomonosov Moscow State University of Fine Chemical Technologies. Moscow, 119571. Russia. E-mail: pushenkotaisia4@gmail.com

² A. V. Vishnevsky NMIC of Surgery of the Ministry of Health of Russia. Moscow, 115093. Russia.

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: embolization, embolizing agent, embol, cellulose acetate, dimethyl sulfoxide, microfluidic unit, capillary diameter, flow rate.

Abstract

Embolization is a minimally invasive surgical procedure used to reduce blood flow to pathological areas of the body. This intervention allows surgical treatment to be performed with greater accuracy. The effectiveness of the procedure depends on the selection of an embolizing agent and the creation of models capable of simulating the bloodstream.

The embolization process was simulated in this work. The research was carried out at the Qmix Pro Ext microfluidic installation (Wingflow AG, Switzerland) with a specially designed working unit in which the water flows (model medium) and the embolizing agent are mixed. Water was supplied with dimethyl sulfoxide-resistant capillaries, and the embolizing compound was supplied through syringes with needles of calibers from 23G to 30G. The design of the working unit provides for its sealing in order to avoid displacement of the needle relative to the capillary, as well as unwanted leaks of model media. The optical transparency of the unit makes it possible to control the process *in situ*, quantifying the time required for complete capillary blockage (embolization time) and the length of the formed embolus. The velocity range of the aqueous environment varied from 0.5 to 17 ml/min, which is appropriate to the velocity of blood flow in the blood vessels. The embolizing compound was supplied at a constant rate of 0.5 ml/min. A 6 wt.% solution of cellulose acetate in dimethyl sulfoxide was used as a model embolizing agent.

As a result of the work, the tightness of the working unit and the reproducibility of the results obtained at the installation were confirmed. The influence of the needle gauge and the rate of water phase supply on the embolization time and embolus length was determined. This allows you to give recommendations on the targeted selection of the needle gauge for a specific blood flow. Thus, the proposed device allows the embolization process to be carried out stably with varying crucial parameters and can serve for testing embolizing agents in conditions similar to the human circulatory system. The installation is planned to be used to expand the test range to other values of the flow rate of the embolizing agent and other types of embolizing agents.