

В. О. Прасол

ДУ «Інститут загальної та  
невідкладної хірургії  
НАМН України», м. Харків

© В. О. Прасол

## ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ МОДЕЛІ НИЖНЬОЇ ПОРОЖНИСТОЇ ВЕНИ ДЛЯ АПРОБАЦІЇ ЕМБОЛОУЛОВЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

**Резюме.** Метою дослідження були розробка і застосування експериментальної моделі нижньої порожнистої вени для апробації й тестування різних емболоуловлюючих пристроїв. Підвищення вірогідності результатів випробування емболоуловлюючих пристроїв на даній моделі досягнуто за рахунок створення умов, які максимально близько відтворюють фізіологічні, анатомічні і функціональні особливості організму хворого. Це дозволяє досліджувати на цій моделі різні емболоуловлюючі пристрої та застосовувати їх у клінічній практиці в подальшому.

**Ключові слова:** нижня порожниста вена, кава-фільтр, тромбоемболія легеневої артерії.

### Вступ

Тромбоемболія легеневої артерії (ТЕЛА) продовжує залишатися небезпечним для життя ускладненням тромбозу, що первинно виникає переважно в глибоких венах тазу й нижніх кінцівок [5]. Близько 10% пацієнтів вмирають від ТЕЛА протягом 1 години після появи її клінічних ознак, а 15% — протягом трьох місяців, при цьому 50% смертей пов'язані з рецидивом захворювання [3]. Незважаючи на адекватно проведене медикаментозне лікування, в 3,8% пацієнтів протягом двох наступних за гострим епізодом ТЕЛА років, спостерігається хронічна постемболічна легенева гіпертензія [4]. Тому попередження ТЕЛА при гострих тромбозах нижньої порожнистої вени і її припливів залишається актуальною проблемою хірургії.

Значні перспективи для профілактики ТЕЛА й лікування флеботромбозів у системі нижньої порожнистої вени (НПВ) відкривають ендovasкулярні втручання й у першу чергу імплантація спеціальних емболоуловлюючих пристроїв (ЕП), які мають назву кава-фільтрів (КФ). На сьогоднішній день існують безліч різних КФ, які забезпечують захист від рецидиву ТЕЛА. Разом із цим, відзначені випадки ускладнень, в основному тромбози глибоких вен (ТГВ), пов'язані із застосуванням ЕП [6]. Оцінити ефективність і тромбобезпечність різних КФ на доклінічному етапі досить складно [1, 7].

Метою цього дослідження є розробка експериментальної моделі нижньої порожнистої вени для апробації й тестування різних емболоуловлюючих пристроїв.

### Матеріали та методи

В основу даної моделі поставлене завдання підвищення вірогідності результатів випробування емболоуловлюючих пристроїв у моделі за рахунок створення умов, які максимально близько відтворюють фізіологічні, анатомічні і функціональні особливості організму хворого.

Експериментальна модель нижньої порожнистої вени для апробації ЕП містить трубку, що імітує біфуркації нижньої порожнистої вени в натуральну величину, а також ємність з водно-гліцериновою сумішшю. Згідно з пропозицією пристрій виконаний з біфуркаціями двох порядків: на загальні (ЗКВ), зовнішні (ЗвКВ) і внутрішні (ВнКВ) клубові вени, додатково введені апарат штучного кровообігу, що підключений до вільних кінців пристрою, а також датчик тиску рідини, який розташований у просвіті моделі з можливістю пересування [2].

Виконання моделі з біфуркаціями другого порядку, а також введення апарату штучного кровообігу дозволяє достатньо близько відтворювати фізіологічні і анатомічні особливості організму хворого, а наявність, розташування і можливість пересування датчика тиску рідини дозволяє контролювати його фізіологічні параметри.

Приклад конкретного виконання корисної моделі ілюструє креслення, на якому зображена блок-схема пристрою (рис. 1).

Пристрій містить трубку 1 із прозорого, фізично і хімічно нейтрального матеріалу з формою, яка імітує в натуральну величину біфуркації нижньої порожнистої вени двох порядків: на загальні, зовнішні і внутрішні клубові вени 2, 3, 4, відповідно. Є також ємність 5 з водно-гліцериновою сумішшю у співвідношенні 4:5, регулятор 6 подачі дрібнодисперсної завісі забарвлених полімерних частинок, роликів насоси 7 і порти 8 для введення тромбів на вільних кінцях трубки 1. Апарат 9 штучного кровообігу (АШК), підключений до вільних кінців трубки 1. Датчик 10 тиску рідини розташований на катетері 11 в просвіті моделі з можливістю пересування.

У процесі роботи в модель вводили досліджувані емболоуловлюючі пристрій 12, а також тромби 13. Технічні характеристики пристрою, що використовувався, обирали таким чином, щоб вони відповідали дійсним анатомічним розмірам зазначених судин, а саме: внутрішній діаметр



моделі НПВ — 24 мм, ЗКВ — по 13 мм, ВКВ — по 8 мм.

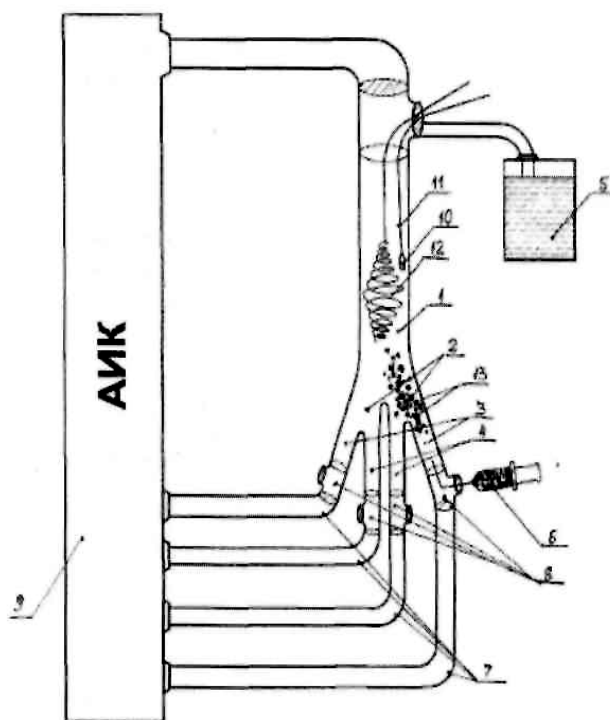


Рис. 1. Блок-схема моделі нижньої порожнистої вени

Пристрій застосовували наступним чином: ЕП встановлювали у просвіт трубки 1, яка була заповнена водно-гліцериновою сумішшю у співвідношенні 4:5, в'язкістю 4—5 мПа·с (що відповідає в'язкості крові) і підігріта до температури 37°C (рис. 2).

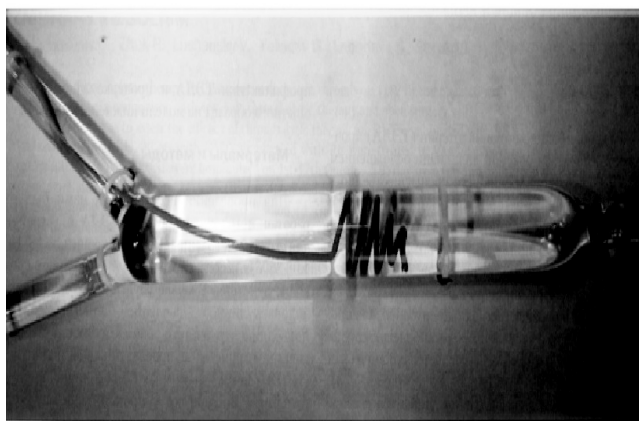


Рис. 2. Модель нижньої порожнистої вени з емболоуловлюючим пристроєм

На першому етапі дослідження визначали характеристики потоку рідини (тиск, швидкість потоку) в різних частинах моделі, а саме: в нижній порожнистій, загальній клубовій, а також зовнішній та внутрішній клубових венах відповідно. У тих самих точках, а також в зоні установки ЕП визначали градієнт тиску за допомогою багатозонного вимірювання на різних сегментах моде-

лі датчиком тиску, що розташований на катетері з можливістю руху всередині неї. Характеристики потоку регулюють таким чином, щоб вони максимально близько відтворювали кровоток у зазначених судинах (хвилинний об'єм рідини від 4 до 5 л, тиск водно-гліцеринової суміші в межах 80—120 мм вод. ст.). Візуалізацію потоку здійснюють за допомогою дрібнодисперсної завісі забарвлених полімерних частинок, що дозволяє визначити характер потоку — ламінарний, турбулентний, ретроградний. Далі переходять до дослідження тромбоуловлюючих властивостей ЕП. Крізь порти 8 вводять тромботичні маси. Тромби різної величини занурюють послідовно фіксованими порціями і спостерігають обтікання кровозаміщувачем з тромбами 13 ЕП і фіксацію тромбів в останньому.

По мірі заповнення трубки 1 тромботичними масами спостерігають ступень захисту частини нижньої порожнистої вени, що лежить вище, від проникнення до неї тромбів крізь емболоуловлюючий пристрій. Підтримання швидкості, хвилинного об'єму рідини, збереження її фізичних властивостей здійснюється за допомогою АШК, що дозволяє зберегти необхідні властивості рідини (температура, в'язкість) і проводити експеримент як завгодно довго. В процесі проведення іспитів використовують тромби, які отримані під час операції венектомії у пацієнтів з гострим варикотромбофлебітом. При цьому є можливість створювати цілий діапазон різних тисків штучно під контролем АШК і відтворювати швидкісні характеристики, які притаманні венозному кровотоку в різних фізіологічних і патофізіологічних ситуаціях. При цьому джерелом тромбоутворення можуть бути НПВ, ЗКВ, ЗвКВ, ВнКВ, оскільки тромби занурюються в процесі дослідження крізь спеціальні порти 8, які з'єднані із зазначеними сегментами моделі.

### Результати дослідження та їх обговорення

Результати експерименту оцінювали на підставі аналізу характеру потоку рідини в зоні розташування КФ, відзначаючи при цьому ефективність затримки тромбів ЕП на шляху їхнього переміщення потоком рідини й вплив на гідродинаміку на ділянці розміщення КФ у просвіті моделі НПВ. У проведеній серії експериментів вдалося здійснити захоплення тромбів підібраної величини за допомогою розробленого пристрою. Також ми вимірювали тиск у середині моделі вище та нижче ЕП. За градієнтом тиску оцінювали ступінь перепони кровотоку різних ЕП та їх тромбобезпечність. При цьому було відзначено, що різні ЕП створювали різні ступені турбулентності потоку рідини й різну гідродинаміку в місці їх розташування.

Таким чином, використання даної моделі дає можливість створювати умови, які максималь-



но близько відтворюють фізіологічні, анатомічні і функціональні особливості організму хворого, що дозволяє в подальшому досліджувати на цій моделі різні емболоуловлюючі пристрої та застоювати їх в клінічній практиці.

### Висновки

1. Модель нижньої порожнистої вени дозволяє тестувати емболоуловлюючі пристрої різної конструкції.

2. За допомогою моделі нижньої порожнистої вени дозволяє візуалізувати потік рідини й диференціювати її ламінарність та турбулентність.

3. Модель нижньої порожнистої вени дозволяє вимірювати тиск вище та нижче емболоуловлюючого пристрою, що свідчить про його перепону кровотоку.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Опыт имплантации противэмболического кава-филтра в целях профилактики тромбэмболии легочной артерии* / Л.Ф. Никишин, В.И. Сморгевский, А.М. Почечуев [и др.]//Клиническая хирургия. — 2005. — №4(5). — С. 56—57.

2. *Патент №48135* Україна, МПК А61В17/00. Модель нижньої порожнистої вени для апробації емболоуловлюючих пристроїв / В.В. Бойко, В.О. Прасол, В.І. Троян [та ін.]; ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії АМН України». №u20090867; Заявл. 28.08.2009, Опубл. 10.03.2010, Бюл. №5.

3. *Goldhaber S.Z. Acute pulmonary embolism: clinical outcomes in the International Cooperative Pulmonary Embolism Registry (ICOPER)* / S.Z. Goldhaber, I. Visani, M. De Rosa//Lancet. — 1999. — Vol. 353. — P. 1386—1389.

4. *Incidence of chronic thromboembolic pulmonary hypertension after pulmonary embolism* / V. Pengo, A.W. Lensing, M.H. Prins [et al.]//N. Engl. J. Med. — 2004. — Vol. 350. — P. 2257—2261.

5. *Kraron C. Natural history of venous thromboembolism*//Circulation. — 2003. — Vol. 107. — Suppl. 23. — P. 122—133.

6. *Outcome and complications of retrievable inferior vena cava filters* / P.D. Stein, M. Alnas, E. Skaf [et al.]//Am. J. Cardiol. — 2004. — Vol. 94. — P. 1090—1093.

7. *The PREPIC Study Group. Eight-year follow-up of patients with permanent vena cava filters in the prevention of pulmonary embolism: the PREPIC randomized study*//Circulation. — 2005. — Vol. 112. — P. 416—422.

### ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ НИЖНЕЙ ПОЛОЙ ВЕНЫ ДЛЯ АПРОБАЦИИ ЭМБОЛОУЛАВЛИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

*В. А. Прасол*

**Резюме.** Целью исследования были разработка и применение экспериментальной модели нижней полой вены для апробации и тестирования различных эмболоулавливающих устройств. Повышение достоверности результатов испытания эмболоулавливающих устройств на данной модели достигнуто за счет создания условий, которые максимально близко воссоздают физиологические, анатомические и функциональные особенности организма больного. Это позволяет исследовать на модели различные эмболоулавливающие устройства и в дальнейшем применять их в клинической практике.

**Ключевые слова:** нижняя полая вена, кава-фильтр, тромбоз эмболия легочной артерии.

### APPLICATION OF AN EXPERIMENTAL MODEL OF INFERIOR VENA CAVA FOR APPROVAL OF CAVA FILTERS

*V. A. Prasol*

**Summary.** The purpose of the study was the development and application of an experimental model of inferior vena cava for approval and testing of cava filters. Increasing the reliability of test results cava filters on this model achieved by creating an environment that most closely reproduce the physiological, anatomical and functional characteristics of the patient. This allows us to study this model different cava filters and apply them in clinical practice in the future.

**Key words:** inferior vena cava, cava filter, pulmonary embolism.