

Ukr Neurosurg J. 2023;29(3):43-57
doi: 10.25305/unj.283904

Лікування інтракраніальних аневризм із застосуванням флоу-диверторів нового покоління FRED X з антитромбогенним покриттям та системи доопераційного візуального моделювання PreSize Neurovascular: огляд літератури й аналіз власних клінічних спостережень

Ю.В. Чередниченко ¹, Rocco A. Armonda ^{2,3}, А.Г. Сірко ^{4,5}, М.О. Зорін ⁵, А.Ю. Мірошніченко ¹, В.А. Перепелиця ^{1,5}

¹ Ендоваскулярний центр, Дніпропетровська обласна клінічна лікарня імені І.І. Мечникова, Дніпро, Україна

² Neuro-endovascular Surgery & Neurotrauma Department, Georgetown University Hospital, Washington, D.C., USA

³ Neuro-Critical Care Department, Washington Hospital Center, Washington, D.C., USA

⁴ Центр церебральної нейрохірургії, Дніпропетровська обласна клінічна лікарня імені І.І. Мечникова, Дніпро, Україна

⁵ Кафедра нервових хвороб та нейрохірургії ФПО, Дніпровський державний медичний університет, Дніпро, Україна

Надійшла до редакції 05.07.2023
Прийнята до публікації 28.07.2023

Адреса для листування:

Перепелиця Вадим Андрійович,
Ендоваскулярний центр,
Дніпропетровська обласна клінічна лікарня імені І.І. Мечникова,
площа Соборна, 14, Дніпро, 49044,
Україна, e-mail: neuro.perepelitsa@gmail.com

Мета: оцінити можливість лікування гігантських інтракраніальних аневризм і аневризм складної анатомії за допомогою імплантації флоу-диверторів FRED X (MicroVention, США) нового покоління з антитромбогенним покриттям з використанням доопераційного віртуального моделювання та сайзингу за допомогою софту PreSize Neurovascular (Oxford Heartbeat Ltd, Велика Британія)

Матеріали і методи. В ендоваскулярному центрі Дніпропетровської обласної клінічної лікарні імені І.І. Мечникова за 2 міс (з 2 травня до 27 червня 2023 р.) 7 пацієнтам для лікування гігантських церебральних аневризм і аневризм складної анатомії імплантовано флоу-дивертори з антитромбогенним покриттям FRED X. Серед пацієнтів було 4 (57,1%) жінки та 3 (42,9%) чоловіків. Середній вік – (50,4±13,7) року. У 4 пацієнтів діагностовано поодинокі інтракраніальні аневризми, у 3 – множинні. У 2 хворих було по 2 аневризми, у 1 – 4 аневризми. У 3 випадках мав місце геморагічний варіант клінічного перебігу захворювання (наявність спонтанного субарахноїдального крововиливу в анамнезі), у 1 – псевдотуморозний варіант. У 3 пацієнтів аневризми мали асимптомний характер.

Результати. У всіх випадках оперували аневризми внутрішньої сонної артерії. У 3 пацієнтів флоу-дивертор імплантовано на рівні декількох аневризм (у 2 випадках – 2 аневризми, у 1 – 3 аневризми). Імплантацію флоу-дивертора скомбінували з емболізацією аневризм спіралями в 2 випадках (з використанням техніки jailing). У всіх випадках імплантацію флоу-дивертора проводили на тлі подвійної антиагрегантної терапії тікагрелором і ацетилсаліциловою кислотою. У 3 пацієнтів із субарахноїдальним аневризматичним крововиливом в анамнезі подвійна антиагрегантна терапія була навантажувальною безпосередньо перед імплантацією флоу-дивертора. Лише в 1 випадку зі складною закритою формою сифона довелося оптимізувати прилягання флоу-дивертора до стінки артерії за допомогою балонної ангіопластики. У решті спостережень флоу-дивертори контролювано розкривалися простою технікою push&pull.

Висновки. При ендоваскулярному лікуванні гігантських аневризм і аневризм складної форми використання флоу-диверторів нового покоління FRED X з антитромбогенним покриттям, при правильному виборі розміру пристроїв за допомогою софту PreSize Neurovascular, не спричиняє технічних труднощів та є контролюваним.

Ключові слова: інтракраніальна аневризма; внутрішня сонна артерія; флоу-дивертор; FRED X; PreSize; доопераційне віртуальне моделювання; сайзинг; антитромбогенне покриття

Вступ

Лікування гігантських інтракраніальних аневризм і аневризм складної анатомії – одне з найскладніших завдань судинної нейрохірургії та інтервенційної нейрорадіології. Лікування таких видів аневризм флоу-диверторами (ФД) найефективніше [1–4].

Принцип лікування аневризм за допомогою ФД полягає в перенаправленні потоку крові за рахунок

щільного плетіння стінки ФД. Однак через щільніше покриття стінки судини металом при імплантації ФД порівняно з інтракраніальними стентами імплантація ФД може спровокувати налипання тромбів у ньому, що може призвести до дистальної емболії чи оклюзії ФД з розвитком ішемічного інсульту [5, 6].

Останнім часом у лікуванні церебральних аневризм використовують ФД з антитромботичним



покриттям [7, 8] і доопераційне моделювання на підставі 3D-RA-протоколу ангиографії. Доопераційне моделювання дає змогу обрати найоптимальніший за розміром ФД та його оптимальну позицію в артерії [9].

Станом на початок травня 2023 р. досвід лікування інтракраніальних аневризм з використанням ФД в ендovasкулярному центрі Дніпропетровської обласної клінічної лікарні імені І.І. Мечникова становив 79 випадків: 57 (72%) пацієнтів проліковано з використанням ФД з антитромбогенним покриттям Pipeline Flex with Shield technology (Medtronic, США) [10], 22 (28%) – ФД без антитромбогенного покриття (зокрема 15 – з використанням FRED). Зареєстровано 4 випадки пристінкового тромбозу у ФД у ранній післяопераційний період, що потребувало зміни антиагрегантної терапії, у групі пацієнтів, яким імпантували ФД без антитромбогенного покриття. Застосування агресивної антиагрегантної терапії в усіх випадках сприяло регресу неврологічної симптоматики, а також відновленню просвіту у ФД, про що свідчили дані контрольної ангиографії.

Імпантування менш ригідного нітинолового ФД FRED, якщо його розмір значно не перевищував діаметр, була значно простішою, ніж кобальтродового ФД Pipeline Flex with Shield technology. У 17 (30%) випадках із 57 імпантування ФД Pipeline Flex with Shield technology оптимізовано його прилягання до стінок артерії за рахунок балонної ангиопластики, тоді як при використанні ФД FRED (MicroVention, США) – лише у 2 (13%). Довжина ФД Pipeline Flex with Shield technology завжди була мінімально необхідною завдяки вибору оптимального розміру та позиції ФД за допомогою доопераційного віртуального моделювання. Мінімумально необхідну довжину ФД, за відсутності його значного оверсайзу, добирають для спрощення його імпантування та зменшення тромбогенності. Можливості доопераційного віртуального моделювання для імпантування ФД FRED в Європі (зокрема в Україні) компанія Sim&Cure (Франція) не надає.

Флоу-дивертор FRED – один з найпопулярніших ФД у світі для лікування складних аневризм. Його перевагами є простота розкриття при імпантуванні та конформність артерії, але відсутність антитромбогенного покриття й неможливість доопераційного віртуального моделювання з вибором оптимального розміру та позиції в артерії не дають змогу віддати йому пріоритет у більшості нейроінтервенційних центрів, зокрема у нашому [2, 11–13].

Після публікації основного випробування ФД FRED вони були схвалені FDA США у 2020 р. [14]. Особливістю ФД FRED X є X-технологія – антитромбогенне покриття нанополімером poly-2-methoxyethyl acrylate, ковалентно пов'язаним з поверхнею ФД [15, 16]. Це амфільне покриття гідрофобним боком орієнтоване до страт ФД, а гідрофільним – до крові, що сприяє зменшенню денатурації білків і запобігає агрегації тромбоцитів на поверхні ФД, не перешкоджаючи його покриттю ендотеліоцитами.

Дослідження FRESH [17] з участю 161 пацієнта з 9 міжнародних центрів, опубліковане в квітні 2023 р., підтверджує, що ризик розвитку тромбозу у ФД та ішемічних ускладнень статистично значущо знизився при використанні FRED X порівняно з FRED.

3 листопада 2022 р. у нашій клініці встановлено програмне забезпечення PreSize Neurovascular simulation software (Oxford Heartbeat Ltd, Велика Британія) для проведення доопераційного віртуального моделювання із сайзингом ФД FRED і FRED X завдяки допомозі ESMINT (European Society of Minimally Invasive Neurological Therapy) та представників компанії «Oxford Heartbeat Ltd». Необхідність доопераційного віртуального моделювання при плануванні імпантування ФД на рівні церебральних аневризм зумовлена тим, що нехтування сучасними методами доопераційного планування може призвести до використання більш ніж одного пристрою (викинутого або додатково відкритого), перевищення оптимальної мінімальної довжини ФД, неоптимального розташування ФД щодо стінок артерії, що може спричинити стійке виповнення аневризми, стеноз просвіту артерії в цьому сегменті, оклюзію бічних гілок, тромбоз у ФД і тромбоемболії в дистальне церебральне русло з тяжкими інтраопераційними та післяопераційними ускладненнями [18].

3 травня 2023 р. в ендovasкулярному центрі Дніпропетровської обласної клінічної лікарні імені І.І. Мечникова почали використовувати ФД FRED X з антитромботичним покриттям. Це стало можливим завдяки лінійці цих інструментів, наданих проф. R.A. Armonda у межах волонтерської медичної місії RAZOM for Ukraine.

Мета: оцінити можливість лікування гігантських інтракраніальних аневризм і аневризм складної анатомії за допомогою імпантування флоу-диверторів FRED X (MicroVention, США) нового покоління з антитромбогенним покриттям з використанням доопераційного віртуального моделювання та сайзингу за допомогою софту PreSize Neurovascular (Oxford Heartbeat Ltd, Велика Британія)

Матеріали і методи

Учасники дослідження

В ендovasкулярному центрі Дніпропетровської обласної клінічної лікарні імені І.І. Мечникова за 2 міс (з 2 травня до 27 червня 2023 р.) 7 пацієнтам для лікування гігантських церебральних аневризм та аневризм складної анатомії виконано імпантування ФД FRED X.

Від усіх пацієнтів отримано письмову інформовану згоду на проведення дослідження згідно із Гельсінською декларацією Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1964) з поправками, директивою Європейського Союзу 86/609 щодо участі людей у медико-біологічних дослідженнях, а також наказом МОЗ України зі змінами № 690 від 23.09.2009 р.

Критерії залучення

Вік пацієнтів ≥ 18 років, інтракраніальні аневризми гігантських розмірів чи складної будови, в лікуванні яких використано ФД нового покоління FRED X.

Характеристика групи

У досліджуваній групі було 4 (57,1%) жінки та 3 (42,9%) чоловіків. Середній вік – (50,4 \pm 13,7) року.

Стаття містить рисунки, які відображаються в друкованій версії у відтинках сірого, в електронній – у кольорі.

У 4 пацієнтів діагностовано поодинокі інтракраніальні аневризми, у 3 – множинні. У 2 хворих було по 2 аневризми, у 1 – 4 аневризми.

У 3 випадках мав місце геморагічний варіант клінічного перебігу захворювання (наявність спонтанного субарахноїдального крововиливу в анамнезі), у 1 – псевдотуморозний варіант. У 3 пацієнтів аневризми мали асимптомний характер.

При визначенні сегментів внутрішньої сонної артерії (ВСА) використовували загальноприйнятту класифікацію за Bouthillier [19]. Детальна клініко-ангіографічна характеристика аневризм, зокрема їхня локалізація та розміри, що має важливе значення при виборі лікувальної тактики, наведена в **Табл. 1**.

Дизайн дослідження

Одноцентрове проспективне дослідження.

Методика хірургічного втручання

Усі операції виконували трикатетерним коаксіальним трансрадіальним правобічним доступом під загальною (інгаляційною та внутрішньовенною) анестезією. У всіх випадках для вибору оптимального ФД FRED X до операції проводили 3D-моделювання в програмі PreSize Neurovascular.

Операції проводили з використанням ангіографічного комплексу GE Innova IGS540 (США) з обов'язковим виконанням після імплантації ФД не лише контрольних DSA-ангіографічних серій, а й ангіопротоколу плоскопанельної комп'ютерної томографії (Flat panel CT) Virtual dilution, який дає змогу на комп'ютерних томограмах із «підсвіченою» структурою ФД у режимах MIP та 3D оцінити оптимальність розкриття ФД та його апозиції до стінки артерії. У разі неоптимального розкриття ФД оптимізації апозиції його стінки до стінки артерії досягали за допомогою ангіопластики церебральним комплансним балон-катетером.

Статистичний аналіз

Обробку й аналіз даних проводили за допомогою пакетів програм Statistica 10 (StatSoft® Inc., США, ліцензія № STA862D175437Q) і MedCalc V.20.218 free trial version (MedCalc Software Ltd, Ostend, Бельгія; <https://www.medcalc.org/download.php>, 2023).

Результати та їх обговорення

Проаналізовано проміжні результати пацієнтів, які проліковані з використанням ФД FRED X.

У всіх випадках оперували аневризми ВСА. У 3 пацієнтів ФД імплантовано на рівні декількох аневризм (у 2 випадках – 2 аневризм, у 1 – 3 аневризм).

Імплантацію ФД скомбінували з емболізацією аневризм спіралями в 2 випадках (з використанням техніки jailing).

У всіх випадках імплантацію ФД виконували на тлі подвійної антиагрегантної терапії тікагрелором та ацетилсаліциловою кислотою. У 3 випадках із аневризматичним субарахноїдальним крововиливом (САК) в анамнезі подвійна антиагрегантна терапія була навантажувальною безпосередньо перед проведенням імплантації.

Доопераційне віртуальне моделювання в програмі PreSize Neurovascular давало змогу обрати оптимальний за діаметром та мінімальною необхідною довжиною ФД FRED X, а також оптимальні дистальну та проксимальну межі імплантації в артерії. Лише в

1 випадку зі складною закритою формою сифона довелося оптимізувати розкриття ФД до стінки артерії за допомогою балонної ангіопластики. У решті випадків ФД контролювано розкривалися простою технікою push&pull, майже як звичайні плетені стенти для церебральних артерій.

Дані щодо хірургічних втручань наведено в **Табл. 2**.

Доставка та розкриття ФД FRED X суттєво поліпшилися за рахунок покриття. Крім того, можливість обрати ФД оптимального розміру та найменшої необхідної довжини також спрощує його розкриття й досягнення оптимальної апозиції до стінки артерії. Наводимо клінічне спостереження, що підтверджує це.

Спостереження №6 (див. Табл. 1 та 2)

Чоловік, 31 рік, з підтвердженим САК 2 міс тому госпіталізований у клініку після проведення магнітно-резонансної томографії (МРТ) з безконтрастною TOF-ангіографією, яка виявила блістерну аневризму в С6-сегменті правої ВСА. Наявність гіпоінтенсивного сигналу в базальних цистернах справа на T2-зважених зображеннях підтвердило наявність САК унаслідок розриву аневризми.

Проведено дигітальну субтракційну церебральну ангіографію із протоколом тривимірної ангіографії. Підтверджено наявність блістерної аневризми в С6-сегменті правої ВСА (**Рис. 1**). Виконано доопераційне віртуальне моделювання на софті PreSize Neurovascular з ФД FRED X різного розміру. Обирали між розмірами 5×21/14 мм (**Рис. 2А**) (14 мм – довжина двохшарової частини ФД за винятком його «корон») та 4,5×20,0/13,0 мм (**Рис. 2Б**).

З урахуванням значної різниці діаметрів у дистальній та проксимальній зонах імплантації, прогнозованого вимушеного оверсайзу в дистальній зоні, відносно складного закритої форми сифона ВСА обрали ФД з мінімальними необхідними довжиною та діаметром (без слабкого прилягання до стінок артерії проксимально) – 4,5×20,0/13,0 мм.

Після доопераційної навантажувальної подвійної антиагрегантної підготовки за годину до операції (тікагрелор – 180 мг, ацетилсаліцилова кислота – 300 мг) виконано ендоваскулярну операцію імплантації ФД FRED X на рівні аневризми в праву ВСА трансрадіальним правобічним доступом у С1-сегмент правої ВСА заведено провідниковий інтрадюсер Ballast 6F 90 см (Balt Extrusion, Франція), крізь який у С2-сегмент заведено катетер дистального доступу Sofia EX (MicroVention, США). Крізь мікрокатетер Headway 27 (MicroVention, США) рекомендованим для імплантації нітинолових ФД FRED варіантом техніки push&pull: Load/Tension Unsheath technique (позицію мікрокатетера впродовж імплантації ФД утримують по осі артерії при збереженні зусилля на дистальне завантаження FD), імплантовано ФД FRED X розміром 4,5×20,0/13,0 мм (**Рис. 3**). Виконана після імплантації ФД КТ з ангіопротоколом Virtual dilution підтвердила оптимальне розкриття й апозицію стінок ФД по всій довжині та повну відповідність розташування ФД результатам віртуального моделювання на софті PreSize Neurovascular (**Рис. 4**).

Таблиця 1. Клініко-ангіографічна характеристика клінічних спостережень

№	Стать	Вік, роки	Кількість аневризм ВСА	Локалізація аневризм	Латералізація	Розмір аневризми/аневризм	Клінічний варіант
1	Ч	38	4	Права ВСА: 1. С7-сегмент у гирлі ЗСА, двокамерна мішкоподібна аневризма 2. С7-сегмент у гирлі пВА, білітерна аневризма 3. Біфуркація ВСА, білітерна аневризма Ліва ВСА: 4. Маленька мішкоподібна аневризма в С7-сегменті в гирлі пВА	Справа 3 аневризми (зокрема розірвана), зліва 1 аневризма	Права ВСА: 1. Двокамерна мішкоподібна аневризма (діаметр камер – 8 та 6 мм) з широкою шийкою 2. Білітерна аневризма – 2,4 мм 3. Білітерна аневризма – 2,6 мм Ліва ВСА: 4. Мішкоподібна аневризма: S – 2 мм, Н – 3 мм, шийка – 2 мм	Геморагічний (САК справа за 2 міс до операції)
2	Ж	55	2	Права ВСА: 1. Гігантська аневризма в С4–С6 сегментах 2. Маленька аневризма в С3-сегменті	Справа	1. S – 32 мм, Н – 28 мм (з урахуванням тромбованої частини аневризми); S – 17 мм, Н – 28 мм – розміри частини тіла аневризми, що контрастується, шийка – 13 мм 2. S – 4,6 мм, Н – 3,5 мм, шийка – 4,6 мм	Псевдотуморозний
3	Ж	48	1	Ліва ВСА: С6-сегмент	Зліва	S – 8 мм, Н – 17 мм, шийка – 5,4 мм Наявність дивертикулу в проксимальній частині тіла аневризми діаметром 2 мм	Геморагічний (САК зліва за 3 міс до операції)
4	Ч	53	2	Ліва ВСА: 1. С6-сегмент 2. С7-сегмент	Зліва	1. S – 3,2 мм, Н – 3,5 мм, шийка – 3,2 мм 2. S – 2,6 мм, Н – 1,7 мм, шийка – 2,6 мм	Безсимптомний
5	Ж	54	1	Права ВСА: С6-сегмент	Справа	S – 7,6 мм, Н – 5,4 мм, шийка – 7,6 мм Два пришийкові дивертикули діаметром 2,0 та 1,9 мм	Безсимптомний
6	Ч	31	1	Права ВСА: С6-сегмент	Справа	S – 2,6 мм, Н – 2,3 мм, шийка – 2,6 мм	Геморагічний (САК справа за 2 міс до операції)
7	Ж	74	1	Права ВСА: С6-С7-сегменти	Справа	Фузиформна аневризма діаметром до 9 мм	Безсимптомний

Примітка. Супутнє цереброваскулярне захворювання: грубий стеноз у лівій ВСА (85% за NASCET), транзиторна ішемічна атака в лівому каротидному басейні. Виконано каротидне стентування; пВА – передня ворсинчаста артерія; ЗСА – задня сполучна артерія; САК – субарахноїдальний кроволив; S – ширина (тіла аневризми); Н – висота.

Таблиця 2. Характеристика ендоваскулярних втручань при лікуванні інтракраніальних аневризм гігантського розміру та складної анатомічної форми

№	Дата операції	Локалізація аневризм	Розмір Fред X, мм	Необхідність балонної ангіопластики у флоу- диверторі	Імплантація флоу-дивертора + емболізація спіралями	Ступінь емболізації спіралями	Тривалість операції	Хірурги
1	02.05.2023	Права ВСА: 1. С7-сегмент у гирлі ЗСА, двокамерна мішкоподібна аневризма 2. С7-сегмент у гирлі пВА, блістерна аневризма 3. Біфуркація ВСА – блістерна аневризма Ліва ВСА: маленька мішкоподібна аневризма в С-сегменті в гирлі пВА	4 x23/17	Не було	Так (емболізована двокамерна аневризма в С7- сегменті правої ВСА в проєкції ЗСА)	Щільна	1 год 10 хв	Ю.В. Чередниченко, Россо А. Argmona
2	04.05.2023	Права ВСА: 1. Гігантська аневризма в С4- С6-сегментах 2. Маленька аневризма в С3- сегменті	4x32/26	Не було	Ні	—	50 хв	Ю.В. Чередниченко, Россо А. Argmona
3	16.05.2023	Ліва ВСА: С6-сегмент	4x23/17	Не було	Так	Нещільна	1 год 30 хв	Ю.В. Чередниченко, В.А. Перепелиця
4	24.05.2023	Ліва ВСА: 1. С6-сегмент 2. С7-сегмент	4,5x25,0/18,0	Не було	Ні	—	55 хв	Ю.В. Чередниченко, А.Ю.Мірошниченко
5	31.05.2023	Права ВСА: С6-сегмент	4,5x20,0/13,0	Виконано балонну ангіопластику для дорозкриття ФД	Ні	—	1 год 30 хв	Ю.В. Чередниченко, В.А. Перепелиця
6	22.06.2023	Права ВСА: С6-сегмент	4,5x20,0/13,0	Не було	Ні	—	55 хв	Ю.В. Чередниченко, В.А. Перепелиця
7	27.06.2023	Права ВСА: С6-С7-сегменти	4,5x25,0/18,0	Не було	Ні	—	55 хв	Ю.В. Чередниченко, А.Ю.Мірошниченко

Примітки: нумерація клінічних спостережень в **Табл. 1** та **2** однакова. пВА – передня ворсинчаста артерія; ЗСА – задня сполучна артерія.



Рис. 1. До операції: А – селективна субтракційна дигітальна церебральна ангиографія, ліва бічна проєкція; Б – тривимірна модель церебральної ангиографії. Блістерна аневризма правої ВСА в офтальмічному сегменті (червона стрілка)

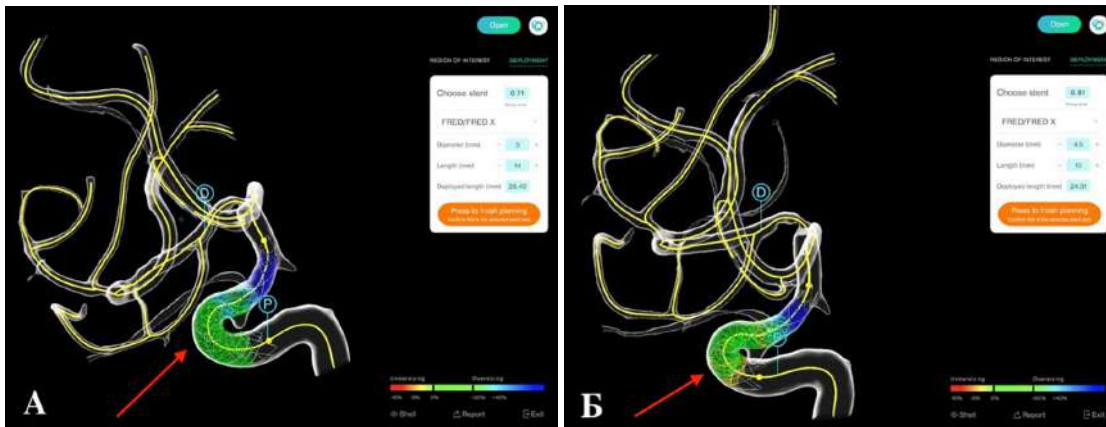


Рис. 2. Приклад використання програмного забезпечення PreSize Neurovascular: А – віртуальна проєкція імплантації FRED X розміром 5×21/14 мм (червона стрілка); Б – віртуальна проєкція імплантації FRED X розміром 4,5×20,0/13,0 мм (червона стрілка)

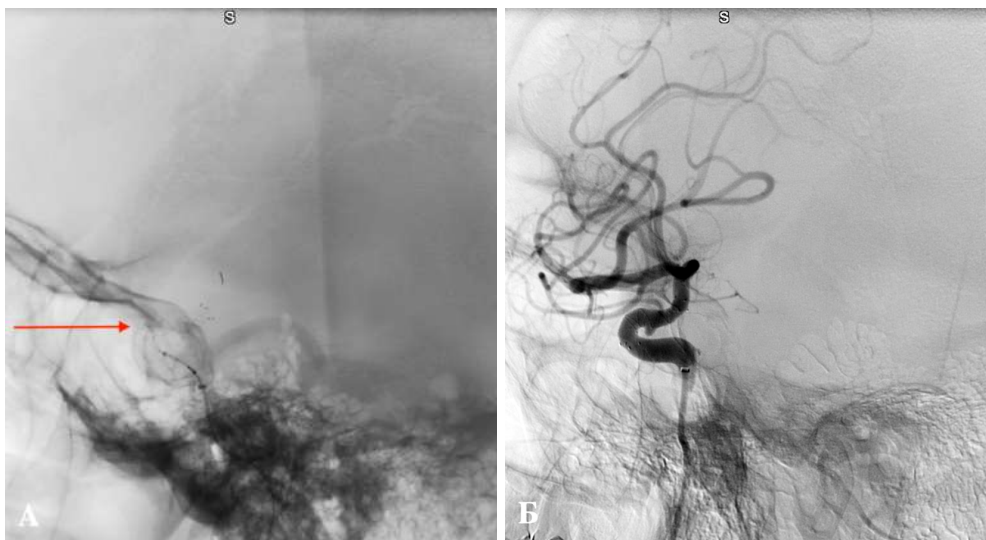


Рис. 3. Імплантація ФД (А, червона стрілка). Контрольна післяопераційна серія селективної церебральної ангиографії (Б) демонструє задовільну прохідність артерії після встановлення ФД без ознак тромбозу або стенозування просвіту артерії

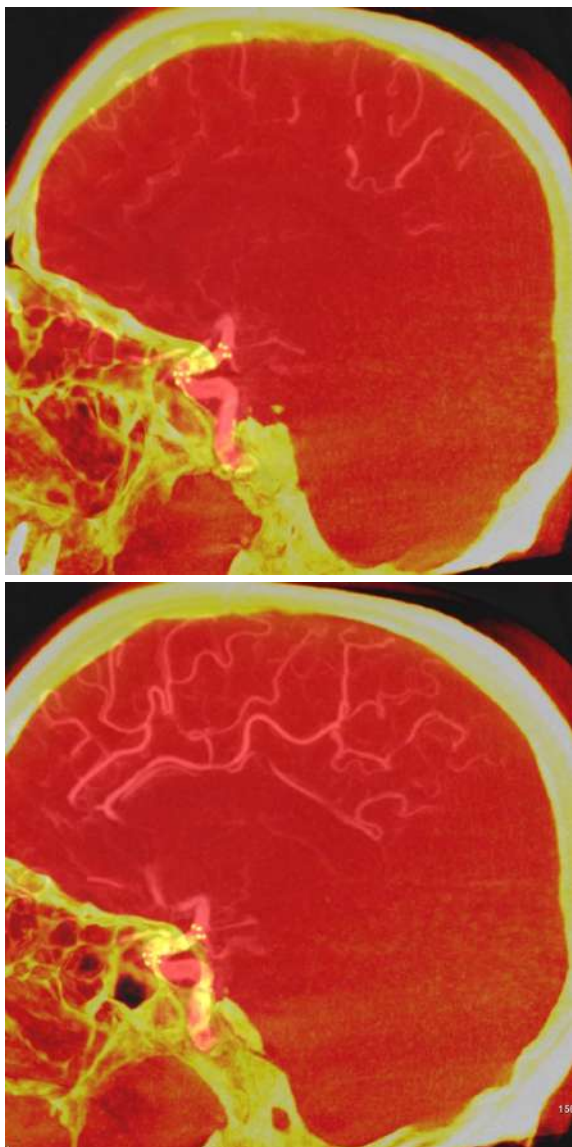


Рис. 4. Контрольні післяопераційні серії плоскпанельної комп'ютерної томографії з ангиопротоколом Virtual dilation

Продовжено подвійну антиагрегантну терапію (тікагрелор – 90 мг двічі на добу, ацетилсаліцилова кислота – 100 мг/добу). Проведена наступного дня МРТ підтвердила відсутність субклінічних ішемічних вогнищ. Пацієнта виписано з лікарні без неврологічної симптоматики. Контрольне обстеження буде проведене через 3 міс після операції.

Розкриття відносно довгих ФД FRED X стало більш простим і контрольованим, що дає змогу виключати декілька аневризм одним відносно довгим ФД з мінімальним ризиком технічних проблем. Однак надлишкова довжина може збільшити проблеми при імплантації та тромбогенність девайсу. Доопераційне віртуальне моделювання з використанням софту PreSize Neurovascular дає розуміння мінімально необхідної довжини та оптимального діаметра ФД FRED X. Наводимо клінічне спостереження.

Спостереження № 2 (див. Табл. 1 та 2)

Жінка, 55 років, звернулася в клініку із приступами інтенсивної гемікраніалгії справа, парезом очорухового та відповідного нервів справа. При проведенні нейровізуалізації за допомогою нативної безконтрастної КТ голови та КТ-ангіографії виявлено гігантську частково тромбовану аневризму правої ВСА в кавернозному, клінічному та офтальмічному сегментах і маленьку аневризму з широкою шийкою в С3-сегменті правої ВСА. Проведено дигітальну субтракційну церебральну ангиографію із протоколом тривимірної ангиографії (**Рис. 5**), за даними якої за допомогою софту PreSize Neurovascular виконано доопераційне віртуальне моделювання з вибором оптимального розміру та позиції ФД FREDX (4x32/26 мм) (**Рис. 6**).

Флоу-дивертор обрано мінімально можливий за довжиною так, щоб дистальний край його двошарової частини починався безпосередньо під гирлом задньої сполучної артерії, а проксимальний край двошарової частини розташовувався безпосередньо під шийкою проксимальної маленької аневризми. На всьому протязі (за винятком шийок аневризм) ФД не мав слабкого прилягання до стінки артерії та значного оверсайзу по всіх сегментах. Після доопераційної подвійної антиагрегантної підготовки (протягом 5 днів тікагрелор – 90 мг двічі на добу, ацетилсаліцилова кислота – 100 мг/добу) виконано ендоваскулярну операцію імплантації ФД FRED X на рівні аневризми у праву ВСА трансрадіальним правобічним доступом. У С1-сегмент правої ВСА заведено провідниковий інтрадусер Ballast 6F 90 см, крізь який у С2-сегмент заведено катетер дистального доступу Sofia EX. Крізь мікрокатетер Headway 27 рекомендованою для імплантації нітинолових ФД FRED технікою push&pull імплантовано ФД FRED X розміром 4x32/26 мм (**Рис. 7**). Виконана після імплантації FD КТ з ангиопротоколом Virtual dilation підтвердила оптимальне розкриття й апозицію стінок ФД по всій довжині та повну відповідність розташування ФД результатам віртуального моделювання на софті PreSize Neurovascular (**Рис. 8**).

Продовжено подвійну антиагрегантну терапію. Упродовж 5 днів після операції призначено глюкокортикоїди в малих дозах. Через 2 тиж стан пацієнтки поліпшився: інтенсивність та частота головного болю зменшилися, офтальмопарез із тенденцією до регресу. Контрольне обстеження буде проведене через 3 міс після операції.

Розкриття ФД FRED X було контрольованим при одночасному койлінгу аневризми з використанням техніки jailing. Наводимо клінічне спостереження.

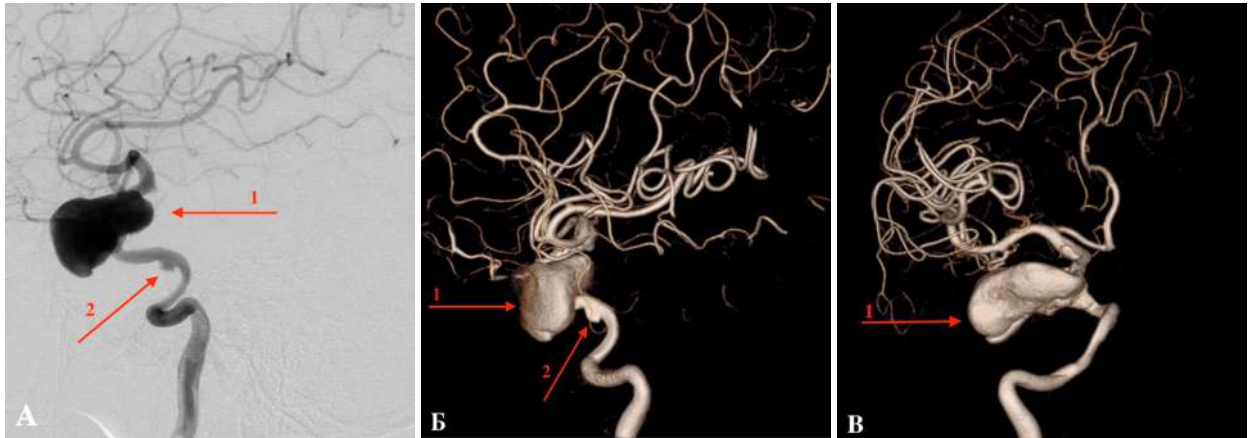


Рис. 5. До операції: А – селективна субтракційна дигітальна церебральна ангиографія; Б, В – тривимірна модель церебральної ангиографії. Гігантська аневризма правої ВСА в кавернозному, кліноїдному та офтальмічному сегментах (червона стрілка 1). Мікроаневризма з широкою шийкою в сегменті рваного отвору правої ВСА (червона стрілка 2)

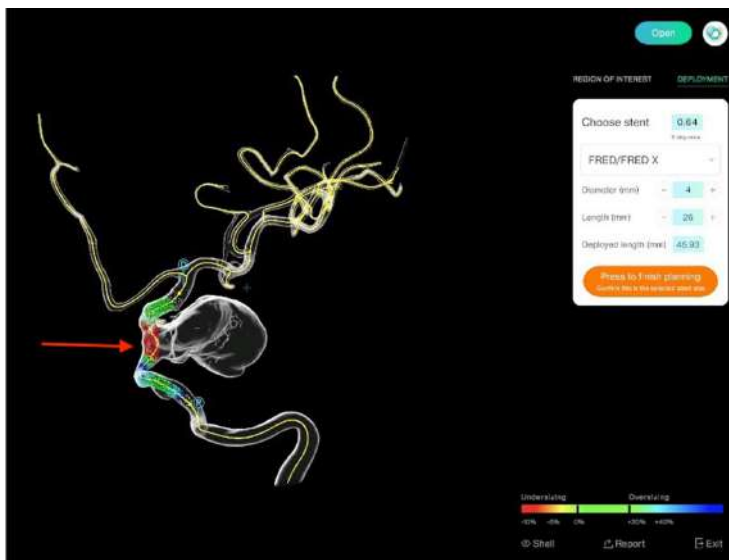


Рис. 6. Приклад використання програмного забезпечення PreSize Neurovascular. Віртуальна проєкція імплантації FRED X розміром 4×32/26 мм (червона стрілка)

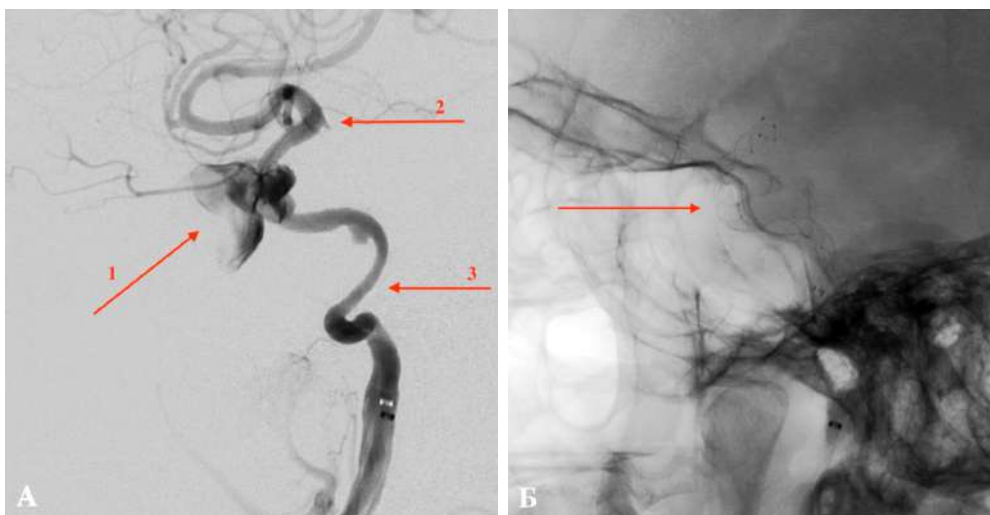


Рис. 7. Контрольна післяопераційна серія селективної церебральної ангиографії: А – затримка контрастування гігантської аневризми після імплантації ФД (червона стрілка 1). Тінь дистального кінця ФД (червона стрілка 2) та проксимального (червона стрілка 3); Б – тінь ФД після імплантації (червона стрілка)

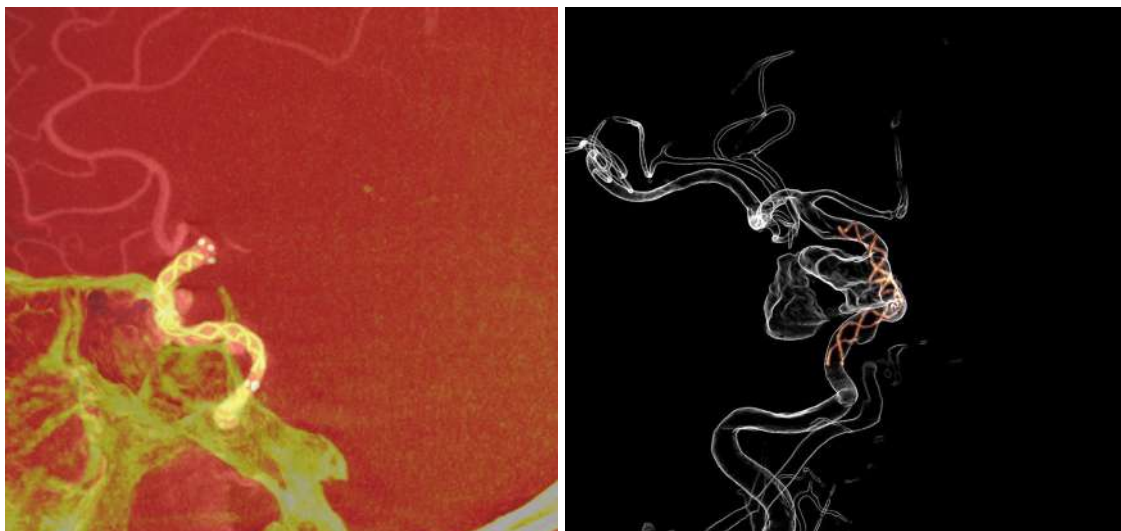


Рис. 8. Контрольні післяопераційні серії FD КТ з ангиопротоколом Virtual dilution

Спостереження №1 (див. Табл. 1 та 2).

Чоловік, 38 років, звернувся в клініку через 3,5 тиж після приступу виразного головного болю, що виник на тлі фізичного перевантаження та регресував упродовж 3 днів, з підозрою на наявність церебральних аневризм за результатами МРТ головного мозку. Наявність гіпоінтенсивного сигналу в базальних цистернах справа на T2-зважених зображеннях МРТ підтвердило САК, що стався внаслідок розриву однієї з аневризм правої ВСА.

При проведенні церебральної дигітальної субтракційної ангиографії із протоколом тривимірної ангиографії верифіковано 4 церебральні аневризми: блістерну аневризму біфуркації правої ВСА, блістерну

аневризму в С7-сегменті правої ВСА в проекції гирла передньої ворсинчастої артерії, двокамерну аневризму з широкою шийкою в С7-сегменті правої ВСА в проекції гирла ЗСА (діаметр камер – 8 та 6 мм) (**Рис. 9**), маленьку мішкоподібну аневризму (3×2 мм) з широкою шийкою в С7-сегменті лівої ВСА, гирлі передньої ворсинчастої артерії (**Рис. 10**).

Вирішено провести комбіноване ендоваскулярне лікування аневризм правої ВСА: койлінг двокамерної аневризми С7-сегмента й імплантацію ФД FRED X з М1-сегмента правої середньої мозкової артерії до гирла офтальмічної артерії на рівні трьох аневризм правої ВСА. Виконано доопераційне віртуальне моделювання з вибором оптимального розміру та позиції ФД FRED X (4×23/17 мм) (**Рис. 11**).

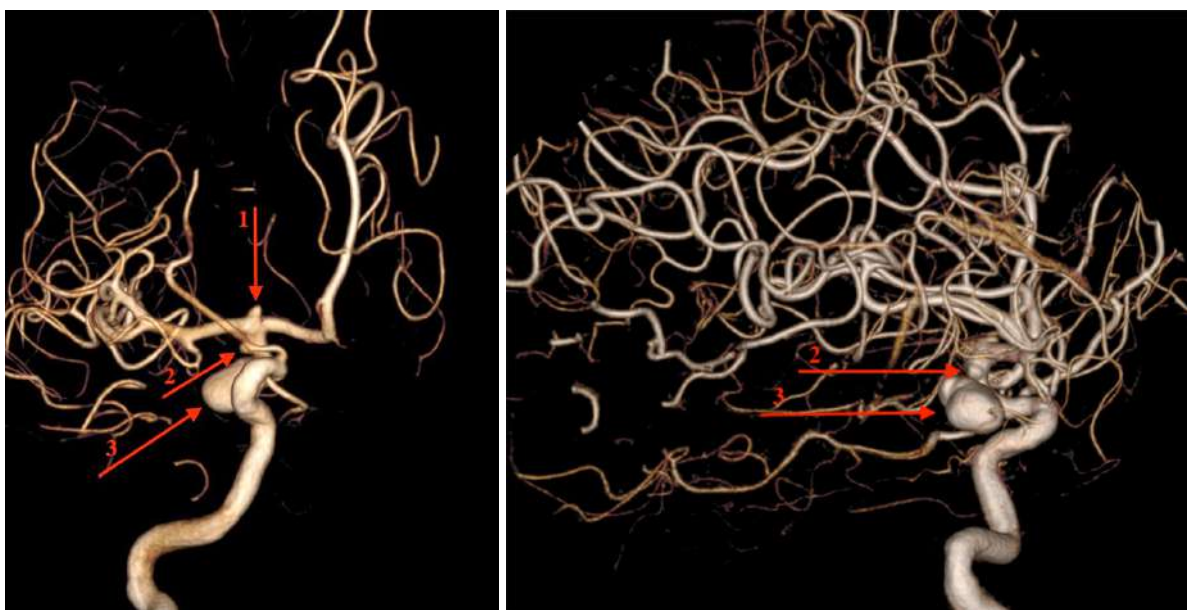


Рис. 9. Селективна субтракційна дигітальна церебральна ангиографія в басейні правої ВСА. Тривимірна модель церебральної ангиографії. Блістерна аневризма в біфуркації правої ВСА (червона стрілка 1). Блістерна аневризма в супракліноїдному сегменті правої ВСА (червона стрілка 2). Велика двокамерна аневризма в супракліноїдному сегменті правої ВСА (червона стрілка 3)



Рис. 10. Селективна субтракційна дигітальна церебральна ангиографія в басейні лівої ВСА: А – двовимірний модель ангиографії; Б – тривимірний модель церебральної ангиографії. Мікроаневризма в супракліноїдному сегменті лівої ВСА (червона стрілка)



Рис. 11. Приклад використання програмного забезпечення PreSize Neurovascular. Віртуальна проєкція імплантації FRED X розміром 4 ×23/17 мм (червона стрілка)

За годину до розрахованого часу імплантації ФД пацієнт отримав навантажувальну подвійну антиагрегантну терапію (тікагрелор – 180 мг, ацетилсаліцилова кислота – 300 мг). Операцію виконано трансрадіальним правобічним доступом. У С1-сегмент правої ВСА заведено провідниковий інтрадюрсер Ballast 6F 90 см, крізь який у С2-сегмент заведено катетер дистального доступу Sofia Plus. У порожнину двокамерної аневризми заведено мікрокатетер Headway 17, крізь який з М1-сегмента проксимальніше за рівень відходження лентикулостріарних артерій до проксимального краю шийки двокамерної аневризми частково розкритий ФД FRED X і виконана емболізація аневризми мікроспіралями, що відокремлюються Axium (Medtronic, США), Target (Stryker, США) (техніка

jailing). Після цього ФД дорозкритий та повністю імплантований відповідно до віртуальної моделі (Рис. 12).

Пацієнта виписано в задовільному стані без неврологічних порушень. Контрольне обстеження буде проведено через 3 міс після операції.

При складній анатомії, закритому складному сифоні ВСА, різниці в діаметрах проксимально та дистально слід за можливістю обирати ФД з найменшим оверсайзом дистально, тому що значний оверсайз в дистальній частині може запобігти простому розкриттю ФД проксимальніше. У разі неоптимального розкриття ФД може бути необхідною опція балонної пластики у ФД. Наводимо клінічне спостереження.

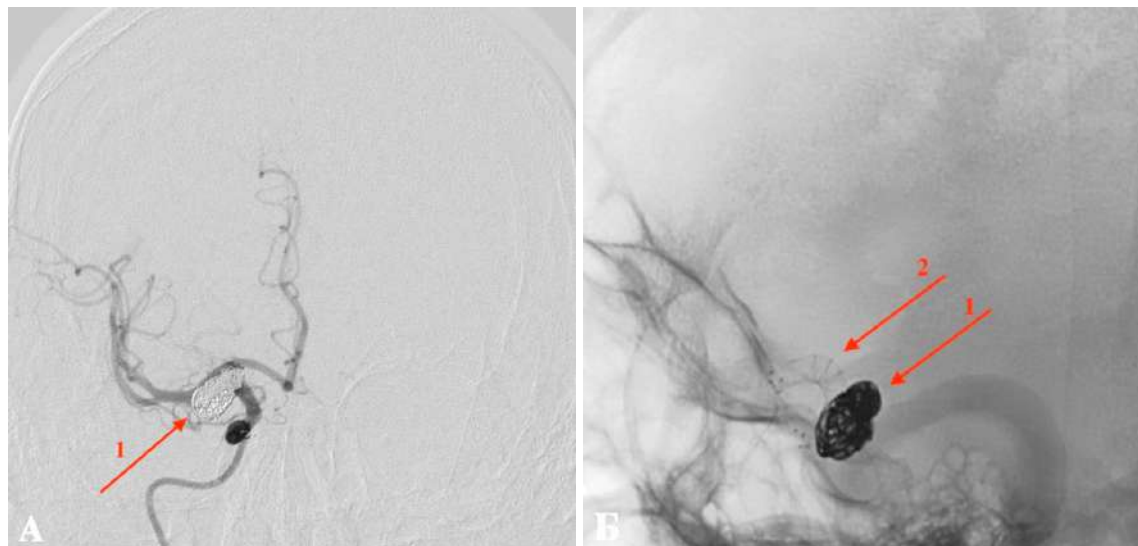


Рис. 12. Контрольна післяопераційна серія селективної церебральної ангиографії правого каротидного басейну: А – пряма проекція демонструє відсутність контрастування блістерної аневризми біфуркації правої ВСА, блістерної аневризми та великої двокамерної аневризми в супракліноїдному відділі правої ВСА: Б – велика двокамерна аневризма тотально виключена мікроспіралями (червона стрілка 1). Тінь ФД (червона стрілка 2)

Спостереження № 5 (див. Табл. 1 та 2).

Жінка, 54 роки, з асимптомною аневризмою С6-сегмента з широкою шийкою та дивертикулом. Аневризму виявлено під час проведення магнітно-резонансної томографії голови з приводу запаморочення, що виникло одноразово. Після субтракційної дигітальної ангиографії із протоколом тривимірної ангиографії (Рис. 13) виконано доопераційне віртуальне моделювання з ФД FRED X різного розміру (Рис. 14).

З урахуванням складної форми сифона ВСА дуже важливо вибрати ФД без оверсайзу за діаметром та довжиною через можливі проблеми з розкриттям пристрою. Результати моделювання FRED X розміром 5×21/14 мм свідчили про його оверсайз за діаметром по всій довжині (за винятком шийки аневризми), що значно ускладнило би його розкриття. Моделювання FRED X розміром 4,5×25,0/18,0 мм також продемонструвало, що він надмірно довгий для імплантації в цю артерію та має невеликий сегмент оверсайзу дистально. FRED X розміром 4×23/17 мм не прилягає щільно в нижній горизонтальній частині сифона (С4-сегмент) до стінок артерії, що є небезпечним через збільшення тромбогенності. За результатами моделювання, найоптимальнішими в цій ситуації були FRED X розміром 4×18/12 і 4,5×20,0/13,0 мм (див. Рис. 14). Вони із потрібним запасом за довжиною двохшарового сегмента вкривають шийку аневризми, щільно притискаються до стінки артерії та не мають надлишкової довжини. В останнього більший за ступенем оверсайзу сегмент дистальний (оцінений нами як некритичний). Обрано FRED X розміром 4,5×20,0/13,0 мм, оскільки другий з обраних FRED X (єдиний у нашій лінійці FRED X на той час) був оптимальним також для іншого пацієнта. Імплантацію FRED X розміром 4,5×20,0/13,0 мм проведено технікою та з використанням допоміжних інструментів як у спостереженні №1. Флоу-дивертор розгорнуто від гирла задньої сполучної артерії до

дистальної частини С4-сегмента. Довжина його виявилася довшою, ніж у моделі, що є додатковим маркером того, що ФД розкрито не оптимально. Видно, що пристрій недорозкритий у С-сегменті на куті (Рис. 15). Проведено оптимізацію апозиції стінок ФД у недорозкритій його частині за рахунок пластики балонном Scepter C розміром 4×10 мм. Флоу-дивертор дорозкрито та повністю імплантовано відповідно до віртуальної моделі (Рис. 16). Виконана після імплантації ФД КТ з ангиопротоколом Virtual dilation підтвердила оптимальне розкриття й апозицію стінок ФД по всій довжині та повну відповідність розташування ФД результатам віртуального моделювання на софті PreSize Neurovascular (Рис. 17). Пацієнтку виписано в задовільному стані без неврологічних порушень.

У проведеному нами дослідженні в серії із 7 послідовних пацієнтів жодних ознак спазму, дисекцій, налипання тромбів на стінку ФД чи артерії під час операції не спостерігалось. Контрольна МРТ головного мозку, проведена наступного дня чи через добу, не показала наявності субклінічних ішемічних вогнищ у мозку. Погіршення в клінічному стані пацієнтів не спостерігалось. Усім пацієнтам через 3 міс після операції буде проведено контрольне обстеження. Вони приймають подвійну антиагрегантну терапію.

У найбільше опубліковане на момент підготовки статті дослідження FRESH Study застосування ФД FRED X [17] було залучено 161 пацієнта (77,6% жінок, середній вік – 55 років) зі 184 аневризмами (11,2% у гострий період розриву). Більшість аневризм локалізувалися в передньому відділі кровообігу (77,0%), найчастіше – у ВСА (72,7%). Флоу-дивертор FRED X успішно імплантовано під час усіх процедур.

Додаткове використання спіралей знадобилося у 29,8 % спостережень. Проведення стент-балонної ангиопластики було необхідним лише у 4 (2,5%) пацієнтів.

Частота серйозних побічних ефектів становила 3,1%. Тромботичні події виникли у 7 (4,3%) пацієнтів з 4 інтрапроцедурними та 4 постпроцедурними тромбозами в середині стенту відповідно (1 пацієнт мав як перипроцедурний, так і постпроцедурний тромбоз), з них лише 2 (1,2%) тромбози призвели до серйозних побічних ефектів (ішемічних інсультів).

В останніх дослідженнях FRED і FRED Jr. частота тромботичних ускладнень була трохи більшою – 6,8% [13], 8,3% [14] та 7,0% [20].

Постінтервенційна неврологічна захворюваність і смертність у дослідженні FRESH становили 1,9 та 1,2% відповідно. У найбільшому дослідженні FRED – European Flow-Redirection Intraluminal Device Study з участю 531 хворого частота ускладнень і побічних ефектів становила 14,0% [11].

Частота повної оклюзії аневризми після середнього періоду спостереження 7,0 міс становила 66,0%.

У проведеному нами дослідженні вдалось уникнути тромботичних ускладнень, післяопераційної неврологічної захворюваності та летальності.

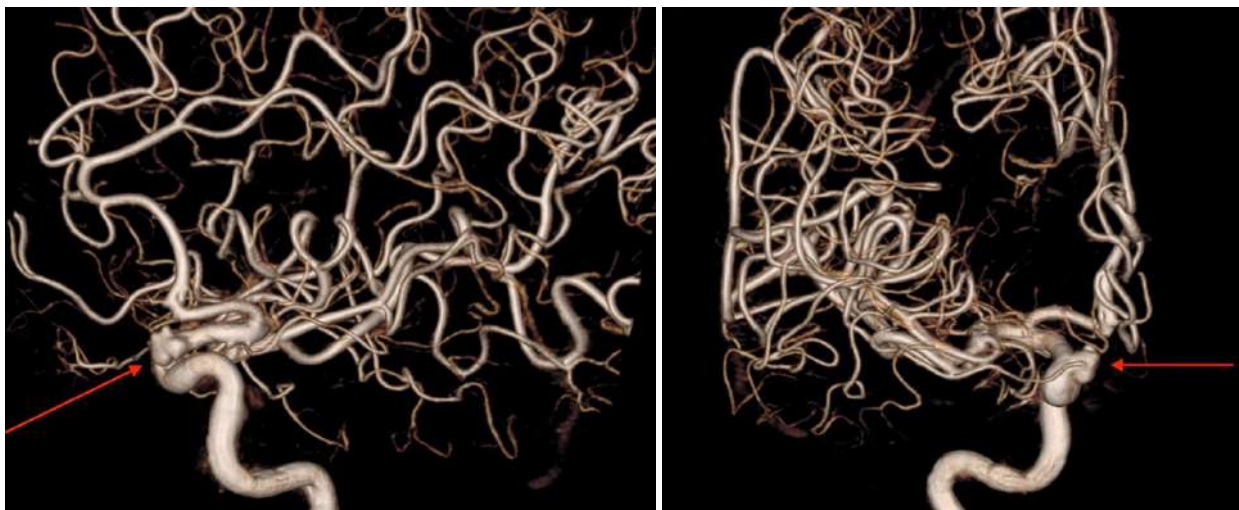


Рис. 13. Селективна субтракційна дигітальна церебральна ангиографія в басейні праві VCA, тривимірна модель. Багатокамерна аневризма із дивертикулом в офтальмічному сегменті праві VCA (червона стрілка)



Рис. 14. Приклад використання програмного забезпечення PreSize Neurovascular. Віртуальна проєкція імплантації FRED X розміром 4,5×20,0/13,0 мм

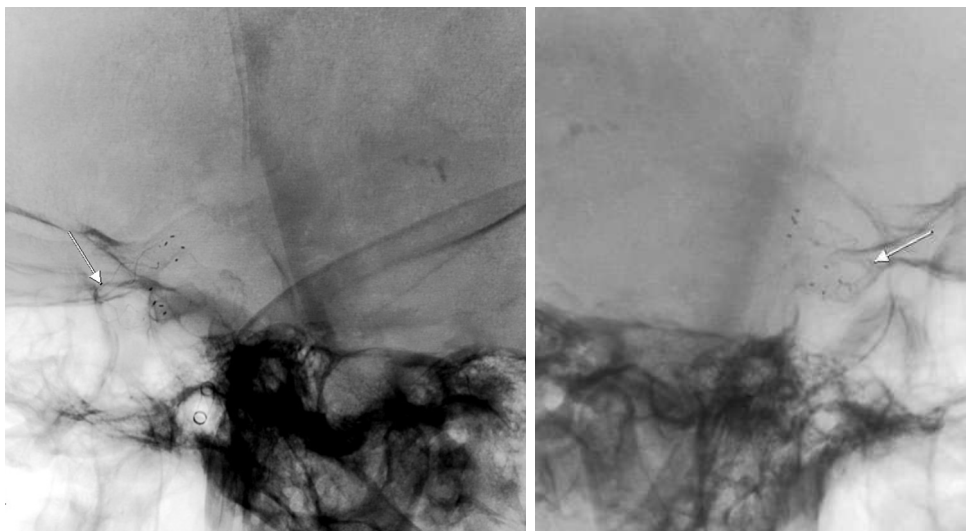


Рис. 15. Інтраопераційні знімки демонструють недорозкритий ФД у клиноподібному сегменті правої ВСА (білі стрілки)

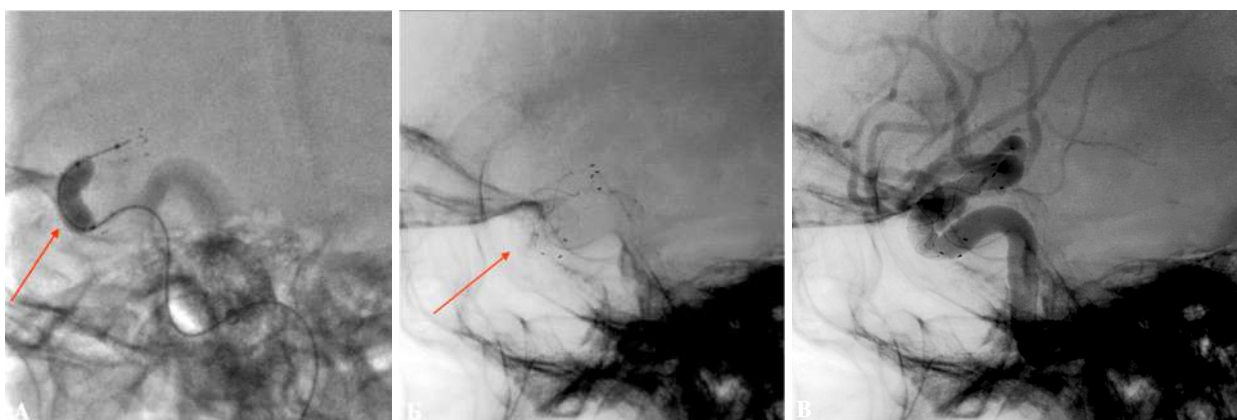


Рис. 16. Інтраопераційні знімки: А – балонна пластика ФД у клиноподібному сегменті правої ВСА (червона стрілка); Б – тінь ФД після балонної пластики (червона стрілка); В – контрольна серія ангиографії демонструє задовільну прохідність правої ВСА після імплантації ФД

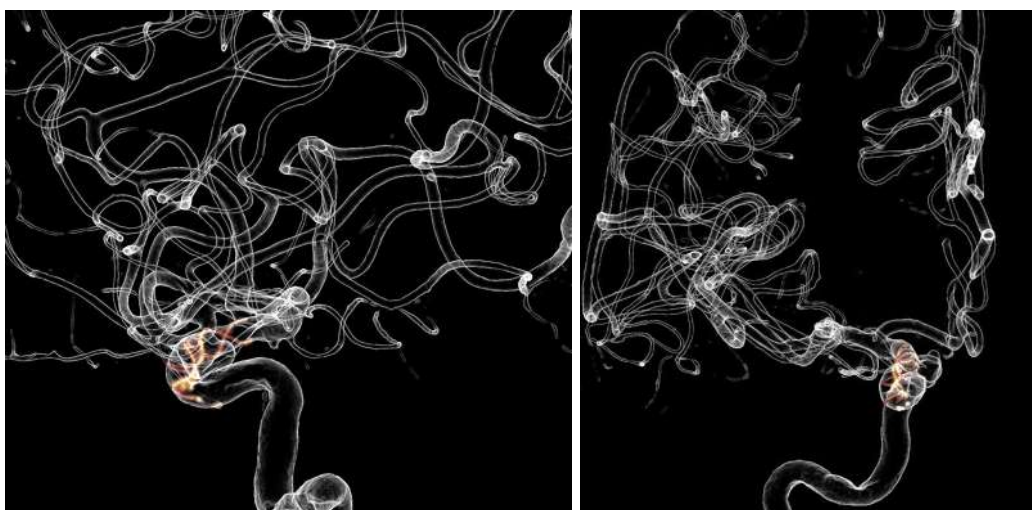


Рис. 17. Контрольні післяопераційні серії ФД КТ з ангиопротоколом Virtual dilation

Висновки

1. При ендovasкулярному лікуванні гігантських аневризм та аневризм складної форми використання ФД нового покоління FRED X з антитромбогенним покриттям при правильному виборі розміру пристроїв не спричиняє технічних труднощів та є контрольованим.

2. Використання PreSize Neurovascular simulation software для доопераційного віртуального моделювання дає змогу обрати оптимальні розмір та позицію ФД, чітко спланувати операцію, що прогнозовано зменшує час операції, технічні складнощі та ризик ускладнень і невдач, потребу в оптимізації розкриття ФД за рахунок балонної ангіопластики чи імплантації іншого ФД.

3. Флоу-дивертор для нового покоління FRED X з антитромбогенним покриттям є безпечним пристроєм для лікування інтракраніальних аневризм, гігантських за розмірами, складної будови, а також множинних аневризм. Оптимальний розмір ФД FRED X (як діаметр, так і довжина) сприяє правильному саморозширенню пристрою та оптимальному притисканню до стінки артерії без потреби ангіопластики після розгортання в більшості випадків. Якщо діаметр флоу-дивертора занадто великий, то він має тенденцію не розширюватися повністю, особливо у місцях вигонів артерії.

4. Не було потреби у використанні декількох ФД FRED X у наведених спостереженнях, як і в більшості випадків проф. R.A. Armonda (>30 випадків застосування ФД FRED X). Один ФД FRED X може викривати та лікувати множинні аневризми.

Перспективи подальших досліджень

Для формулювання статистично значущих висновків роботи слід продовжити набір пацієнтів, яким імплантовано ФД FRED X, до досліджуваної групи та провести порівняльний аналіз з іншими видами ФД, імплантованими раніше в нашому центрі.

Для визначення частоти повної оклюзії аневризми всім пацієнтам призначено контрольне ангіографічне дослідження через 3 та 6 міс після першої церебральної ангіографії. Отримані результати будуть висвітлені в наших подальших публікаціях.

Подяка

Ми щиро вдячні професору Джорджтаунського університету R.A. Armonda, який у межах волонтерської медичної місії RAZOM for Ukraine допоміг з витратними матеріалами для виконання зазначених операцій та разом з лікарем-нейрохірургом Ю.В. Чередниченком провів імплантацію перших двох ФД FRED X.

Розкриття інформації

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Етичні норми

Усі процедури, виконані пацієнтам під час дослідження, відповідають етичним стандартам інституційного та національного комітетів з етики і Гельсінській декларації 1964 року та її поправкам або аналогічним етичним стандартам.

Інформована згода

Від усіх хворих отримана усвідомлена та добровільна письмова згода на участь у дослідженні.

Фінансування

Дослідження не мало спонсорської підтримки.

Список літератури

1. Lv X, Yang H, Liu P, Li Y. Flow-diverter devices in the treatment of intracranial aneurysms: A meta-analysis and systematic review. *Neuroradiol J*. 2016 Feb;29(1):66-71. doi: 10.1177/1971400915621321
2. Möhlenbruch MA, Kizilkilic O, Killer-Oberpfalzer M, Baltacioglu F, Islak C, Bendszus M, Cekirge S, Saatci I, Kocer N. Multicenter Experience with FRED Jr Flow Re-Direction Endoluminal Device for Intracranial Aneurysms in Small Arteries. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2017 Oct;38(10):1959-1965. doi: 10.3174/ajnr.A5332
3. Kallmes DF, Brinjikji W, Boccardi E, Ciceri E, Diaz O, Tawk R, Woo H, Jabbour P, Albuquerque F, Chapot R, Bonafe A, Dashti SR, Delgado Almandoz JE, Given C 2nd, Kelly ME, Cross DT 3rd, Duckwiler G, Razack N, Powers CJ, Fischer S, Lopes D, Harrigan MR, Huddle D, Turner R 4th, Zaidat OO, Defreyne L, Pereira VM, Cekirge S, Fiorella D, Hanel RA, Lylyk P, McDougall C, Siddiqui A, Szikora I, Levy E. Aneurysm Study of Pipeline in an Observational Registry (ASPIRe). *Interv Neurol*. 2016 Jun;5(1-2):89-99. doi: 10.1159/000446503
4. Brinjikji W, Murad MH, Lanzino G, Cloft HJ, Kallmes DF. Endovascular treatment of intracranial aneurysms with flow diverters: a meta-analysis. *Stroke*. 2013 Feb;44(2):442-7. doi: 10.1161/STROKEAHA.112.678151
5. Fiehler J, Ries T. Prevention and treatment of thromboembolism during endovascular aneurysm therapy. *Klin Neuroradiol*. 2009 Mar;19(1):73-81. doi: 10.1007/s00062-009-8029-9
6. Ihn YK, Shin SH, Baik SK, Choi IS. Complications of endovascular treatment for intracranial aneurysms: Management and prevention. *Interv Neuroradiol*. 2018 Jun;24(3):237-245. doi: 10.1177/1591019918758493
7. Marosfoi M, Clarencon F, Langan ET, King RM, Brooks OW, Tamura T, Wainwright JM, Gounis MJ, Vedantham S, Puri AS. Acute thrombus formation on phosphorilcholine surface modified flow diverters. *J Neurointerv Surg*. 2018 Apr;10(4):406-411. doi: 10.1136/neurintsurg-2017-013175
8. King RM, Langan ET, Ughi GJ, Raskett CM, Puri AS, Henkes H, Gounis MJ. Acute Thrombus Burden on Coated Flow Diverters Assessed by High Frequency Optical Coherence Tomography. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2020 Aug;43(8):1218-1223. doi: 10.1007/s00270-020-02482-w
9. Mantilla D, Ferreira-Prada CA, Galvis M, Vargas O, Valenzuela-Santos C, Canci P, Ochoa M, Nicoud F, Costalat V. Clinical impact of Sim & Size® simulation software in the treatment of patients with cerebral aneurysms with flow-diverter Pipeline stents. *Interv Neuroradiol*. 2023 Feb;29(1):47-55. doi: 10.1177/15910199211068668
10. Kallmes DF, Hanel R, Lopes D, Boccardi E, Bonafé A, Cekirge S, Fiorella D, Jabbour P, Levy E, McDougall C, Siddiqui A, Szikora I, Woo H, Albuquerque F, Bozorgchami H, Dashti SR, Delgado Almandoz JE, Kelly ME, Turner R 4th, Woodward BK, Brinjikji W, Lanzino G, Lylyk P. International retrospective study of the pipeline embolization device: a multicenter aneurysm treatment study. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2015 Jan;36(1):108-15. doi: 10.3174/ajnr.A4111
11. Killer-Oberpfalzer M, Kocer N, Griessenauer CJ, Janssen H, Engelhorn T, Holtmannspötter M, Buhk JH, Finkenzeller T, Fesl G, Trenkler J, Reith W, Berlis A, Hausegger K, Augustin M, Islak C, Minnich B, Möhlenbruch M. European Multicenter Study for the Evaluation of a Dual-Layer Flow-Diverting Stent for Treatment of Wide-Neck Intracranial Aneurysms: The European Flow-Redirection Intraluminal Device Study. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2018 May;39(5):841-847. doi: 10.3174/ajnr.A5592
12. Möhlenbruch MA, Herweh C, Jestaedt L, Stampfl S, Schönerberger S, Ringleb PA, Bendszus M, Pham M. The FRED flow-diverter stent for intracranial aneurysms: clinical study to assess safety and efficacy. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2015 Jun;36(6):1155-61. doi: 10.3174/ajnr.A4251
13. Pierot L, Spelle L, Berge J, Januel AC, Herbreteau D, Aggour M, Piotin M, Biondi A, Barreau X, Mounayer C, Papagiannaki C, Lejeune JP, Gauvrit JY, Derelle AL, Chabert E, Costalat V. SAFE study (Safety and efficacy Analysis of FRED Embolic device in aneurysm treatment): 1-year clinical and anatomical results. *J Neurointerv Surg*. 2019

- Feb;11(2):184-189. doi: 10.1136/neurintsurg-2018-014261
14. McDougall CG, Diaz O, Boulos A, Siddiqui AH, Caplan J, Fifi JT, Turk AS, Kayan Y, Jabbour P, Kim LJ, Hetts SW, Cooke DL, Dowd CF. Safety and efficacy results of the Flow Redirection Endoluminal Device (FRED) stent system in the treatment of intracranial aneurysms: US pivotal trial. *J Neurointerv Surg.* 2022 Jun;14(6):577-584. doi: 10.1136/neurintsurg-2021-017469
 15. Gunaydin S, Farsak B, Kocakulak M, Sari T, Yorgancioglu C, Zorlutuna Y. Clinical performance and biocompatibility of poly(2-methoxyethylacrylate)-coated extracorporeal circuits. *Ann Thorac Surg.* 2002 Sep;74(3):819-24. doi: 10.1016/s0003-4975(02)03796-7
 16. Nutter BT, Stammers AH, Schmer RG, Ahlgren RL, Ellis TA, Gao C, Holcomb HB, Hock L, Burkeman T. The rheological effects of X-Coating with albumin and hetastarch on blood during cardiopulmonary bypass. *J Extra Corpor Technol.* 2004 Mar;36(1):36-43.
 17. Vollherbst DF, Lücking H, DuPlessis J, Sonnberger M, Maurer C, Kocer N, Killer-Oberpfalzer M, Rautio R, Valvassori L, Berlis A, Gasser S, Gatt S, Dörfler A, Bendszus M, Möhlenbruch MA. The FRESH Study: Treatment of Intracranial Aneurysms with the New FRED X Flow Diverter with Antithrombotic Surface Treatment Technology-First Multicenter Experience in 161 Patients. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2023 Apr;44(4):474-480. doi: 10.3174/ajnr.A7834
 18. Rai AT, Boo S, Downer J, DuPlessis J, Rautio R, Sinisalo M, Pekkola J, Carraro do Nascimento V, Given C, Patankar T. High variability in physician estimations of flow-diverting stent deployment versus PreSize Neurovascular software simulation: a comparison study. *J Neurointerv Surg.* 2023 Jun 24:jnis-2023-020527. doi: 10.1136/jnis-2023-020527
 19. Bouthillier A, van Loveren HR, Keller JT. Segments of the internal carotid artery: a new classification. *Neurosurgery.* 1996 Mar;38(3):425-32; discussion 432-3. doi: 10.1097/00006123-199603000-00001
 20. Skukalek SL, Winkler AM, Kang J, Dion JE, Cawley CM, Webb A, Dannenbaum MJ, Schuette AJ, Asbury B, Tong FC. Effect of antiplatelet therapy and platelet function testing on hemorrhagic and thrombotic complications in patients with cerebral aneurysms treated with the pipeline embolization device: a review and meta-analysis. *J Neurointerv Surg.* 2016 Jan;8(1):58-65. doi: 10.1136/neurintsurg-2014-011145
 21. Patankar T, Madigan J, Downer J, Sonwalkar H, Cowley P, Iori F. How precise is PreSize Neurovascular? Accuracy evaluation of flow diverter deployed-length prediction. *J Neurosurg.* 2022 Feb 4:1-9. doi: 10.3171/2021.12.JNS211687
 22. Rai AT, Boo S, Downer J, DuPlessis J, Rautio R, Sinisalo M, Pekkola J, Carraro do Nascimento V, Given C, Patankar T. High variability in physician estimations of flow-diverting stent deployment versus PreSize Neurovascular software simulation: a comparison study. *J Neurointerv Surg.* 2023 Jun 24:jnis-2023-020527. doi: 10.1136/jnis-2023-020527