

Гаджега Вікторія Михайлівна,
доктор філософії,
асистент кафедри хірургічних хвороб,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
v.dobosh@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2485-8266>
м. Ужгород, Україна

Інструментальна діагностика ішемічних порушень кінцівки при артеріо-венозних норицях для гемодіалізу

Недивлячись на успіхи в хірургії судинного доступу та наявність адекватних, як видається, алгоритмів передопераційного обстеження хворих, частота ішемічного синдрому залишилася незмінною з 80-х років минулого століття. А потреба у лікуванні гемодіалізом по різних даних в розвинутих країнах світу складає від 70 до 120 випадків на 100 людей в рік. Більше 30% госпіталізованих хворих, які знаходяться на гемодіалізі, пов'язані з ускладненнями в генезі яких є артеріо-венозні фістули сформовані для виконання даного способу еферентної терапії. Найбільш грізним ускладненням є ішемічний синдром обкрадання, який розвивається у 2–18% пацієнтів із сформованою артеріо-венозною фістулою.

Мета роботи. Провести аналіз інструментальних методів дослідження ішемічного синдрому обкрадання з метою визначення оптимальних способів невідкладної корекції при гемодіалізі.

Матеріали та методи дослідження. Інструментальна діагностика ішемічного синдрому обкрадання спрямована на підтвердження діагнозу, а також застосовується для контролю ефективності хірургічного лікування. Найбільш живимим у клінічній практиці вважаються: ультразвукове дуплексне сканування з кольоровим доплерівським картуванням, ангіографія, фотоплетизмографія, пульсоксиметрія, транскутанне вимірювання парціальної напруги кисню. Рідше використовуються електроміографія та дослідження провідності периферичних нервів, магнітно-резонансна ангіографія або спіральна комп'ютерна томографія.

Результати та їх обговорення. Найбільш застосовним на сьогоднішній день методом діагностики є ультразвукове дуплексне сканування з кольоровим доплерівським картуванням. Метою даного виду дослідження є: визначення стану живильної артерії, діаметра та локалізації анастомозу, стенотичних уражень магістральних артерій проксимальніше артеріо-венозної комунікації на ділянках, що візуалізуються, об'ємна швидкість кровотоку артеріо-венозної фістули, характер кровотоку в дистальній артерії, стан периферичного судинного русла. При виявленні чи підозрі на гемодинамічно значущий стеноз магістральної артерії показана ангіографія з негайним виконанням ангіопластики. Важливість ангіографії в діагностиці ІСО підкреслюється багатьма авторами, особливо за наявності різниці тисків на кінцівки з АВФ та протилежної > 20 мм рт. ст. У більшості зарубіжних публікацій методом «об'єктивізації» ішемічного синдрому обкрадання, що часто використовується, вважається застосування фотоплетизмографії та пневмоплетизмографії з визначенням пальцево-плечового індексу. Оцінку нервової провідності використовують для визначення ступеня пошкодження нерва при ішемічному синдромі обкрадання.

Ключові слова: гемодіаліз, артеріо-венозна фістула, ішемія, синдром обкрадання, судинний доступ, ультразвукове дуплексне сканування.

Hadzheha Viktoria Mykhailivna, PhD, Assistant of Professor at the Department of Surgery Diseases, Uzhhorod National University, v.dobosh@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2485-8266>, Uzhhorod, Ukraine

Instrumental diagnostics of limb ischemic disorders in arterio-venous fistulas for haemodialysis

Despite the advances in vascular access surgery and the availability of seemingly adequate algorithms for preoperative examination of patients, the incidence of ischaemic syndrome has remained unchanged since the 80s of the last century. According to various data, the need for haemodialysis treatment in developed countries ranges from 70 to 120 cases per 100 people per year. More than 30% of hospitalised patients undergoing haemodialysis are associated with complications in the genesis of arterio-venous fistulas formed for this method of efferent therapy. The most formidable complication is the ischaemic steal syndrome, which develops in 2-18% of patients with a formed arterio-venous fistula.

The purpose of the study. To analyse the instrumental methods of studying the ischaemic steal syndrome in order to determine the optimal methods of urgent correction during hemodialysis.

Research materials and methods. Instrumental diagnostics of ischemic steal syndrome is aimed at confirming the diagnosis and is also used to monitor the effectiveness of surgical treatment. The most commonly used in clinical practice are: ultrasound duplex scanning with colour Doppler mapping, angiography, photoplethysmography, pulse oximetry, transcutaneous measurement of partial oxygen tension. Less widely used are electromyography and peripheral nerve conduction studies, magnetic resonance angiography or spiral computed tomography.

Research results and discussion. The most widely used diagnostic method today is ultrasound duplex scanning with colour Doppler mapping. The purpose of this type of research is to determine the condition of the feeding artery, diameter and location of the anastomosis, stenotic lesions of the main arteries, proximal arterio-venous communication in the areas under visualisation, the volume flow rate of the arterio-venous fistula, the nature of blood flow in the distal artery, the condition of the peripheral vascular bed. If a haemodynamically significant stenosis of the main artery is detected or suspected, angiography with immediate angioplasty is indicated. The importance of angiography in the diagnosis of ISS is emphasised by many authors, especially in the presence of a pressure difference between the limbs with AVF and the opposite limb > 20 mm Hg. In most foreign publications, the most commonly used method of "objectifying" ischemic steal syndrome is the use of photoplethysmography and pneumoplethysmography with the determination of the finger-brachial index. Nerve

conduction assesment is used to determine the degree of nerve damage in ischaemic steal syndrome. Other methods of 'objectifying' ischaemia include transcutaneous oxygen tension measurement and pulse oximetry, which are relatively simple and non-invasive to use. In addition, these methods are also used for intraoperative monitoring of the success of reconstruction.

Conclusions. Ultrasound Doppler has only certain advantages over angiography in suspected ISS due to its non-invasive nature, speed, ability to be monitored, and low cost. Nevertheless, angiography is of crucial importance, as it is the only tool to determine the indication for urgent angioplasty. The use of intraoperative digital photoplethysmography and pulse oximetry as a guide is a useful method to alleviate the steal syndrome and preserve the shunt. Ultrasound and digital brachial indices measured by photoplethysmography or Doppler are used to predict fistulas that are more likely to cause ischaemia, but they are not reliable.

Key words: hemodialysis, arteriovenous fistulas, ischemia, steal syndrome, vascular access, ultrasound duplex.

Вступ. Потреба у лікуванні гемодіалізом по різним даним в розвинутих країнах світу складає від 70 до 120 випадків на 100 людей в рік. Половина хворих подібним способом еферентної терапії помирає від серцево-судинних ускладнень. Більше 30% госпіталізованих хворих, які знаходяться на гемодіалізі, пов'язані з ускладненнями в генезі яких є артеріо-венозні фістули сформовані для виконання даного способу еферентної терапії [1, 2].

Одним із найбільш грізним ускладненням створення артеріо-венозних нориць (АВН) для гемодіалізу є ішемічний синдром обкрадання (ІСО) [1]. Він розвивається у 2–18% пацієнтів при лікуванні хронічної хвороби нирок V ст. методом гемодіалізу. Ризик розвитку важкого ІСО (стадія III або IV) становить 5–15% при брахіоцефальних/базиллярних фістулах і 1–2% при дистальних радіоцефальних АВФ [1, 2]. На сьогоднішній день об'єктивно відсутній патогенетично обґрунтований діагностичний алгоритм діагностики цього ускладнення [1, 2].

Мета роботи. Провести аналіз інструментальних методів дослідження ІСО з метою визначення оптимальних способів невідкладної корекції при гемодіалізі.

Матеріали та методи дослідження. Інструментальна діагностика ІСО спрямована на підтвердження діагнозу, а також застосовується для контролю ефективності хірургічного лікування [4]. Найбільш вживаним у клінічній практиці вважаються: дуплексне сканування з кольоровим доплерівським картуванням (УЗДГ), ангіографія, фотоплетизмографія, пульсоксиметрія, транскутанне вимірювання парціальної напруги кисню [1–5]. Рідше використовуються електроміографія та дослідження провідності периферичних нервів [6, 9, 16, 21], магнітно-резонансна ангіографія або спіральна комп'ютерна томографія [8, 14].

Метод інвазивного контролю артеріального тиску на різних ділянках артерії, що приносить, у зоні анастомозу і дистальніше, має швидше науковий, ніж практичний інтерес [5]. Транскутана лазерна доплерівська флоуметрія для оцінки мікроциркуляції також має обмежене клінічне застосування [3]. Для інтраопераційного контролю ефективності реконструкції традиційно застосовується контактна доплерівська флоуметрія [2, 6, 8–12].

Результати та їх обговорення. ІСО – це термін, який відображає синдром недостатності кровообігу сегмента кінцівки дистальніше АВФ [2]. Він зумовлений надлишковим шунтуванням крові безпосередньо у венозне русло напряму, а також нездатністю компенсаторних механізмів регуляції локальної гемодинамики коригувати дефіцит кровопостачання, що виник у дис-

тальних відділах кінцівки (ішемічний гіперперфузійний синдром) [3, 4]. Симптоми ІСО частіше загострюються під час гемодіалізу, при чому у 54% випадків симптоми виникають під час гемодіалізу.

Найбільш застосовним на сьогоднішній день методом діагностики є УЗДГ [5, 9–13, 19, 21]. На думку М. Napoli, УЗДГ має бути першим методом при підозрі на ІСО [13]. Метою даного виду дослідження є: визначення стану живильної артерії, діаметра та локалізації анастомозу, стенотичних уражень магістральних артерій проксимальніше артеріо-венозно комунікація (АВК) на ділянках, що візуалізуються, об'ємна швидкість кровотоку (ОШК) артеріо-венозної фістули (АВФ), характер кровотоку в дистальній артерії, стан периферичного судинного русла. Під УЗДГ-контролем може бути проведений тест Аллена для радіоцефалічних фістул. Кровопотік у променевій та ліктьовій артеріях слід оцінювати з функціонуючою та оклюзованою АВФ. Зменшення ОШК та ретроградний кровопотік класично спостерігаються при ІСО. ОШК через фістулу можна визначити шляхом вимірювання більш точного артеріального кровотоку, де як високий можна оцінити >800 мл/хв для АВФ і >200 мл/хв для АВФ за допомогою протезу (3, 4). При проведенні даного обстеження слід також оцінити наявність та кількість венозних гілок АВФ. Виявлення реверсивного характеру кровотоку в артерії, що виносить, говорить про «істинний» синдром обкрадання [4, 9, 12, 14].

Низька частота (3,7%) стенозу артеріального притоку (при стенозі >50%) була виявлена в одному дослідженні відразу ж після створення АВФ, хоча відсутні дані про проведення оцінки артерії дистальніше анастомозу (5). Це є набагато менше, ніж наведено іншими дослідженнями, де частота виявлення стенозу коливалася в межах 14–83% [6, 7].

Таким чином, УЗДГ дозволяє виявити здебільшого етіопатогенетичні механізми розвитку ІСО, що має велике практичне значення [13].

При виявленні чи підозрі на гемодинамічно значущий стеноз магістральної артерії показана ангіографія з негайним виконанням ангіопластики [5, 8]. Визначення ОШК поділяє артеріо-венозне співгірло (АВС) на АВФ з великим об'ємним скиданням та з низьким скиданням [14]. А відношення ОШК АВФ до ОШК живильної артерії, визначеної проксимальніше анастомозу, дозволяє обчислити артеріально-шунтову фракцію (АШФ) [289]. Більшість пацієнтів мають мінімальний або взагалі не візуалізований рентгенконтраст, яких надходить у артерії дистальніше анастомозу, якщо АВФ не перекрита. У деяких пацієнтів спостерігається надходження контрасту під тиском, який потім

повертається назад в артеріовенозний доступ. Часто спостерігається дуже повільний кровопотік ліктьової артерії в артеріальну дугу долоні у пацієнтів, які мають прогресуюче захворювання периферичних артерій [8].

При оцінці периферичного русла можуть бути виявлені стенози та оклюзії дистальних артерій, збіднення кровотоку, відкладення кальцію у стінки судин [15–18].

Крім розрахунку пікових швидкостей кровотоку (ПШК) у периферичних артеріях [10], запропоновано методику визначення їх індексів резистивності (М), як відношення різниці ПШК та діастолічної швидкості в кінці серцевого циклу до ПШК. Цей показник характеризує здатність артерій до вазодилатації, та її велике значення (від 0,7 до 1) може свідчити про ризик важких ускладнень [19]. Також цей параметр рекомендується вимірювати до формування АВФ як предиктор ІСО [14]. Крім сказаного, застосування УЗДГ разом з компресійним тестом здатне довести вплив скидання АВФ на розвиток ішемії, і при поліпшенні ознак периферичної перфузії підтверджує певний успіх реконструктивної операції [10, 16, 18, 21].

Важливість ангиографії в діагностиці ІСО підкреслюється багатьма авторами, особливо за наявності різниці тисків на кінцівки з АВФ та протилежної > 20 мм рт. ст. [3, 5, 9, 16]. В даний час застосовується цифрова субтракційна ангиографія [18] переважно з стегового доступу [20], рідше через ретроградну пункцію самої АВФ [201]. Хороша візуалізація артеріального «деревця» від аорти до долонної дуги є необхідною умовою діагностики [13], зокрема при підозрі на стеноз проксимальної артерії (підключичної, пахвової, плечової). Збіднення периферичного русла та відновлення перфузії після компресії доступу підтверджує діагноз ІСО при наявності клінічних проявів [18]. Також при ангиографії може бути виявлений ретроградний струм контрасту у фістулу з артерії, що виносить [16], кальциноз артерій. Оцінка анатомії важлива під час підготовки до реконструктивної операції, наприклад, дистальної ревазуляризації (ДР) [20]. Безперечною перевагою даного методу є можливість виконання ендovasкулярних втручань при виявленні тих чи інших змін [21–23]. Недоліком методу є його інвазивність та економічний компонент.

A. Schanzer із співавторами (9) оцінювали базальний пальцевий тиск (БПТ) і так званий DBI (digital/brachial index), або пальцево-плечового індексу (ППІ) у пацієнтів, які мали симптоми ІСО та без них. БПТ був нижчий (30 мм.рт.ст. проти 102), а середній ППІ нижчий (0,3 проти 0,8 мм.рт.ст.) у пацієнтів з АВФ у порівнянні з пацієнтами без АВФ. Використовуючи дані, було виявлено, що при діагностиці ішемічного синдрому обкрадання порогове значення БПТ < 60 мм.рт.ст. має точність 92% (чутливість 100%, специфічність 87%) у порівнянні з 94% точністю ППІ (чутливість 92%, специфічність 96%) [3, 9].

У більшості зарубіжних публікацій методом «об'єктивізації» ІСО, що часто використовується, вважається застосування фотоплетизмографії (ФПГ) [3, 6–9, 17, 23] та пневмоплетизмографії з визначенням ППІ [16, 18]. SS Berman та співавт. (7) описали сплюснення плетизмографічної кривої у пацієнтів з ІСО та її повернення

до вихідного рівня після компресії АВФ [19]. ФПГ при ІСО також може бути не трифазною, а монофазною [15]. За допомогою пневмоплетизмографії CD Goff та співавт. запропонували вимірювати ППІ як відношення тиску на 3-му пальці, вимірюваного за допомогою мікропневматичної манжети під контролем ФПГ, до систолічного тиску на контралатеральній кінцівці [6]. У їх спостереженнях пацієнти з ІСО мали вихідний ППІ на рівні $0,4 \pm 0,16$, тоді як після компресії АВФ $0,71 \pm 0,22$. На основі ретроспективних та проспективних спостережень було зроблено висновок, що ППІ < 0,6 є пороговим показником для підтвердження ІСО, а пацієнти з таким показником одразу після формування АВФ перебувають у групі ризику виникнення ІСО (10,11).

Ці положення було підтверджено іншими авторами [(3, 9, 12)], які в той же час зазначили, що рівень ППІ не корелює з необхідністю в хірургічній реконструкції. Існує думка [22], що рівень ППІ для клінічно значущої ІСО вважається < 0,45. У публікації A. Schanzer та співавт. пропонується інтраопераційний контроль ефективності реконструкції за рівнем ППІ [(8, 10, 13)]. І все ж деякі дослідники [12] не виявили залежності між тяжкістю ІСО та рівнем ППІ.

Такий спосіб, заснований не так на ФПГ, але в УЗ-розрахунку систолічного тиску дистальніше АВК для проксимальних фістул, було запропоновано МК Lazarides і співавт. [(14, 15)]. Автори обчислювали індекс систолічного тиску, як відношення систолічного тиску дистальніше фістули (визначеного за допомогою УЗДГ) до систолічного тиску протилежної кінцівки. Рівнем критичної ішемії було визнано ППІ < 0,4, при субклінічній ішемії цей показник був у межах 0,6–0,8. Діагностичну цінність індексу оцінювали за допомогою аномальної швидкості нервової провідності (ШНП) як показника ІСО. Емпіричний рівень < 0,5 асоціювався з аномальною ШНП з чутливістю, специфічністю та позитивною прогностичною цінністю 80%, 75% та 75% у відповідно (8).

Оцінка нервової провідності використовується для визначення ступеня пошкодження нерва при ІСО. Це обстеження, як правило, складається з оцінки амплітуди та затримки викликаних потенціалом в ліктьовому та серединному нервах за допомогою поверхневих записів тенору та гіпотенор сказівного та мізинця відповідно. Аномальні дослідження добре корелюють з ішемією пов'язаною з ІСО та їх рекомендують як засіб спостереження за пацієнтами чий симптоми недостатньо серйозні, щоб вимагали негайного оперативного лікування. Рекомендується, що погіршення нервової провідності, навіть за наявності легких симптомів, розглядається як показ до хірургічного втручання (8, 15).

Інші методи «об'єктивізації» ішемії – це вимірювання транскутанної напруги кисню (TcPO₂) та пульсоксиметрія (SpO₂). Остання є простою та неінвазивною у використанні. Застосування пульсоксиметрії для верифікації ішемії описані у кількох роботах [10, 17, 21]. До того ж цей метод використано для інтраопераційного контролю успіху реконструкції [21]. У пацієнтів із болем на діаліз SpO₂ є нижчим, ніж на контралатеральній руці (16). Havey та інші (17) описали зниження SpO₂ також у серії з п'яти артеріо-венозних фістул із

синдромом обкрадання. SpO₂ перед лікуванням був від 42 до 63%. Після лікування зменшення кровопотоку (перев'язування гілок) рівень SpO₂ збільшився у всіх пацієнтів до 80–100% (8,17). Ще декілька досліджень демонструють збільшення рівня SpO₂, але кількісно не визначено (8). На думку інших авторів [16], різниця SpO₂ між рукою з АВФ та інтактною кінцівкою 4% і більше служить предиктором розвитку ІСО. Van Hoek G. та співавт. [9] запропонували методику вимірювання SpO₂ на вказівному пальці ураженої кінцівки або на 3-му пальці за наявності некротичних змін 2-го пальця. Для контролю рекомендується використовувати контралатеральну кінцівку.

Черезшкірний тиск PO₂ (TcPO₂), визначеного в другому проміжку між пальцями, нижче 40 мм рт. ст. після формування доступу та відновлення його на рівні понад 60 мм рт. ст. при компресії фістули, на думку деяких авторів, може бути переконливим доказом ішемії [(18)]. Важкий ступінь ішемії може демонструвати TcPO₂<20 мм рт. ст. [14]. Також вихідний (до формування АВФ) рівень TcPO₂<60 мм рт. ст. може бути чинником ризику розвитку ішемії.

Узагальнюючи дані, можна дійти невтішного висновку, що «золотого стандарту» в діагностиці ІСО до теперішнього часу немає. Очевидно, що у разі підозри на ІСО слід вдаватися до комплексного підходу в діагностиці, використовуючи все, що є у розпорядженні.

Щоб уникнути негативних наслідків, слід приділяти увагу попередженню виникнення ІСО при створенні

доступу de novo. Пацієнтами групи ризику є: літні пацієнти, особи, які страждають на цукровий діабет або артеріальну гіпертензію, генералізований атеросклероз, гіперпаратиреоз, а також хворі, які мали передсудинні доступи на цій же кінцівці. Формування проксимальних АВФ (особливо у разі АВП) також є сприятливим фактором розвитку ІСО [18, 22].

Разом про те, на думку SS Bermann [19] та RJ Valentine [23], жоден із запропонованих тестів виявлення ризиків розвитку ІСО не дає задовільних доказів настання даного ускладнення після створення доступу.

Висновки:

1. Ультразвукова доплерографія має тільки певні переваги над ангіографією при підозрі на ІСО завдяки своїй неінвазивності, швидкості виконання, можливості контрольного виконання та недороговартості. Проте ангіографія має вирішальне значення, так як тільки вона дає відповідь на покази до термінової ангіопластики.

2. Використання інтраопераційної цифрової фотоплетизмографії та пульсоксиметрії як орієнтира є корисним методом для полегшення синдрому обкрадання та збереження шунта.

3. Ультразвукове дослідження та цифрово-плечові індекси, виміряні за допомогою фотоплетизмографії або доплерографії, використовуються для прогнозування фістул, які з більшою ймовірністю спричиняють ішемію, але вони не є надійними.

Інформація про конфлікт інтересів. Конфлікту інтересів немає.

Інформація про фінансування. Автор гарантує, що він не отримувал жодних винагород у будь-якій формі, здатних вплинути на результати роботи.

Особистий внесок кожного автора у виконання роботи:

Гаджега В.М. – ідея, мета, збір матеріалу дослідження, аналіз отриманих результатів, підготовка тексту статті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cordova E, Pettorini L, Scrivano J, Baldinelli M, Punzo G, Menè P, et al. Preoperative Duplex Examination in Patients with Dialysis Access-related Hand Ischemia: Indication for Distal Radial Artery Ligation. *J Vasc Access* [Internet]. 2015 May 27;16(3):255–7. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.5301/jva.5000341>
2. Mickley V. Steal syndrome—strategies to preserve vascular access and extremity. *Nephrol Dial Transplant*. 2008;23(1):19–24.
3. Inston N, Schanzer H, Widmer M, Deane C, Wilkins J, Davidson I, et al. Arteriovenous access ischemic steal (AVAIS) in haemodialysis: a consensus from the Charing Cross Vascular Access Masterclass 2016. *J Vasc Access*. 2017;18(1):3–12.
4. Zanow J, Kruger U, Scholz H. Proximalization of the arterial inflow: a new technique to treat access-related ischemia. *J Vasc Surg*. 2006;43(6):1216–21.
5. Grogan J, Castilla M, Lozanski L, Griffin A, Loth F, Bassiouny H. Frequency of critical stenosis in primary arteriovenous fistulae before hemodialysis access: should duplex ultrasound surveillance be the standard of care? *J Vasc Surg*. 2005;41(6):1000–6.
6. Rocha A, Silva F, Queirós J, Malheiro J, Cabrita A. Predictors of steal syndrome in hemodialysis patients. *Hemodial Int*. 2012;16(4):539–44.
7. Berman SS, Gentile AT, Glickman MH, Mills JL, Hurwitz RL, Westerband A, et al. Distal revascularization—interval ligation for limb salvage and maintenance of dialysis access in ischemic steal syndrome. *J Vasc Surg*. 1997;26(3):393–404.
8. Beathard GA, Spergel LM. Hand Ischemia Associated With Dialysis Vascular Access: An Individualized Access Flow-based Approach to Therapy. In: *Seminars in dialysis*. 2013. p. 287–314.
9. Schanzer A, Nguyen LL, Owens CD, Schanzer H. Use of digital pressure measurements for the diagnosis of AV access-induced hand ischemia. *Vasc Med* [Internet]. 2006 Nov 30;11(4):227–31. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1358863x06072204>
10. Van Hoek F, Scheltinga MR, Kouwenberg I, Moret KEM, Beerenhout CH, Tordoir JHM. Steal in hemodialysis patients depends on type of vascular access. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2006;32(6):710–7.

11. Minion DJ, Moore E, Endean E. Revision using distal inflow: a novel approach to dialysis-associated steal syndrome. *Ann Vasc Surg.* 2005;19:625–8.
12. Beathard GA, Spergel LM. Hand Ischemia Associated With Dialysis Vascular Access: An Individualized Access Flow-based Approach to Therapy. *Semin Dial [Internet].* 2013 May;26(3):287–314. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/sdi.12088>
13. Tynan-Cuisinier GS, Berman SS. Strategies for predicting and treating access induced ischemic steal syndrome. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2006;32(3):309–15.
14. Lazarides MK, Stamos DN, Kopadis G, Maltezos C, Tzilalis VD, Georgiadis GS. Onset of arterial ‘steal’ following proximal angioaccess: immediate and delayed types. *Nephrol Dial Transplant.* 2003;18(11):2387–90.
15. Lazarides MK, Staamos DN, Panagopoulos GN, Tzilalis VD, Eleftheriou GJ, Dayantas JN. Indications for surgical treatment of angioaccess-induced arterial “steal.” *J Am Coll Surg.* 1998;187(4):422–6.
16. Joannides R, Haefeli WE, Linder L, Richard V, Bakkali EH, Thuillez C, et al. Nitric oxide is responsible for flow-dependent dilatation of human peripheral conduit arteries in vivo. *Circulation.* 1995;91(5):1314–9.
17. Tohda K, Masuda H, Kawamura K, Shozawa T. Difference in dilatation between endothelium-preserved and-desquamated segments in the flow-loaded rat common carotid artery. *Arterioscler Thromb A J Vasc Biol.* 1992;12(4):519–28.
18. Roy-Chaudhury P, Spergel LM, Besarab A, Asif A, Ravani P. Biology of arteriovenous fistula failure. *J Nephrol.* 2007;20(B):150.