

Ультразвукове дослідження як метод ранньої «приліжкової» діагностики гострого пошкодження нирок у геріатричних пацієнтів після ургентної абдомінальної хірургії

Н. В. Момот  *A,B,C,D,E, Н. В. Туманська  A,C,E,F, С. І. Воротинцев  A,C,E,F

Запорізький державний медичний університет, Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Ключові слова:
геріатричні пацієнти, гостре пошкодження нирок, нирковий резистивний індекс.

Патологія. 2021. Т. 18, № 2(52). С. 142-151

*E-mail:
vera.gedrovc@gmail.com

Геріатричні пацієнти особливо схильні до розвитку післяопераційних ускладнень, одним із яких є гостре пошкодження нирок (ГПН). Рання діагностика ГПН – важлива складова ефективності його профілактики та лікування. Вважають, що ультразвукове дослідження ниркового кровотоку може бути перспективним методом «приліжкової» діагностики ГПН.

Мета роботи – визначити прогностичну цінність величини ниркового резистивного індексу (RRI) та напівкількісного оцінювання ниркової перфузії (SQP) як методів ранньої діагностики ГПН у геріатричних пацієнтів після ургентної абдомінальної хірургії.

Матеріали та методи. У проспективне одноцентрове дослідження залучили 40 пацієнтів (72,5 (65,0; 81,5) року), яким визначали ризик розвитку, наявність і стадію ГПН, додатково вимірювали показники гемодинаміки, внутрішньочеревний тиск (ВЧТ), внутрішньочеревний перфузійний тиск (ВЧПТ). Нирковий резистивний індекс (RRI), SQP визначали за допомогою ультразвукової доплерографії (ультразвуковий датчик CH-6, SIEMENS, Acuson Antares). Статистичний аналіз виконали за допомогою програми Statistica for Windows 13 (StatSoft Inc., № JPZ8041382130ARCN10-J).

Результати. В післяопераційному періоді ГПН спостерігали у 26 (65 %) осіб. Порівняно з пацієнтами без ГПН вони мали на 14 % нижчий рівень середнього артеріального тиску ($p = 0,008$), в середньому на 4 мм рт. ст. вищий ВЧТ ($p = 0,005$) та суттєво нижчий ВЧПТ ($p = 0,0348$). У пацієнтів із ГПН RRI на 13,9 % вищий, ніж у хворих без ГПН (0,75 (0,72; 0,81) в. од. проти 0,66 (0,61; 0,69) в. од. відповідно, $p = 0,000001$), але ступінь SQP нирок вірогідно не відрізнявся у групах ($p = 0,636$). Логістичний регресійний аналіз показав, що у хворих із високим RRI в 15 разів частіше виникає ГПН. ROC-аналіз засвідчив, що $RRI > 0,71$ в. од. є пороговим рівнем для розвитку ГПН із чутливістю 87,2 % та специфічністю 73,5 %, має велику прогностичну цінність (площа під кривою AUC 0,868, $p < 0,0001$). CI, ВЧТ і ВЧПТ вірогідно дуже слабо корелювали з RRI ($r = -0,31$; $r = 0,26$, $r = -0,28$ відповідно, $p < 0,05$).

Висновки. Високі значення RRI в геріатричних пацієнтів після ургентної абдомінальної хірургії пов'язані з розвитком ГПН. RRI може бути інструментом «приліжкової» діагностики ГПН, на відміну від SQP нирок, яка не показала прогностичної цінності.

Key words:
elderly, acute kidney injury, renal resistive index.

Pathologia 2021; 18 (2), 142-151

Ultrasound examination as a method of early “bedside” diagnosis of acute kidney injury in geriatric patients after urgent abdominal surgery

N. V. Momot, N. V. Tumanska, S. I. Vorotyntsev

Geriatric patients are particularly vulnerable to the development of postoperative complications, one of which is acute kidney injury (AKI). Early diagnosis of AKI is an important component of the effectiveness of its prevention and treatment. It is believed that ultrasound examination of renal blood flow may be a promising method for “bedside” diagnosis of AKI.

The aim is to evaluate the predictive value of renal resistance index (RRI) and semiquantitative renal perfusion (SQP) as methods for early diagnosis of AKI in geriatric patients after urgent abdominal surgery.

Materials and methods. A prospective single-center study included 40 patients (72.5 (65; 81.5) r. u.) who were assessed for the risk of development, the presence and stage of AKI, and additionally hemodynamic parameters, intra-abdominal pressure (IAP), and abdominal perfusion pressure (APP) were measured. Renal resistance index (RRI) and semi-quantitative renal perfusion score (SQP) were determined using Doppler ultrasound (ultrasound probe CH-6, SIEMENS, Acuson Antares). Statistical analysis was performed using the Statistica for Windows 13 program (StatSoft Inc., No. JPZ8041382130ARCN10-J).

Results. In the postoperative period, AKI developed in 26 patients (65 %). Compared with patients without AKI, they had a 14 % lower level of mean arterial pressure ($P = 0.008$), as well as an average of 4 mmHg higher IAP ($P = 0.005$) and significantly lower APP ($P = 0.0348$). Patients with AKI had a 13.9 % higher RRI than patients without AKI (0.75 (0.72; 0.81) r. u. vs 0.66 (0.61; 0.69) r. u., respectively, $P = 0.000001$), however, the degree of SQP of the kidneys did not differ significantly between the groups ($P = 0.636$). Logistic regression analysis showed that patients with a high RRI were 15 times more likely to develop AKI. ROC analysis showed that $RRI > 0.71$ r. u. is the threshold level for AKI with 87.2 % sensitivity and 73.5 % specificity, and it has a high predictive value (area under the curve AUC 0.868, $P < 0.0001$). CI, IAP, and APP were significantly very weakly correlated with RRI ($r = -0.31$; $r = 0.26$, $r = -0.28$, respectively, $P < 0.05$).

Conclusions. High RRI values are associated with AKI in geriatric patients after urgent abdominal surgery. RRI may be a “bedside” diagnostic tool for AKI, in contrast to renal SQP, which has shown no predictive value.

Ультразвуковое исследование как метод ранней «прикроватной» диагностики острого повреждения почек у гериатрических пациентов после ургентной абдоминальной хирургии

Н. В. Момот, Н. В. Туманская, С. И. Воротынец

Гериатрические пациенты особенно уязвимы для развития послеоперационных осложнений, одним из которых является острое повреждение почек (ОПП). Ранняя диагностика ОПП – важная составляющая эффективности его профилактики и лечения. Считается, что ультразвуковое исследование почечного кровотока может быть перспективным методом «прикроватной» диагностики ОПП.

Цель работы – установить прогностическую ценность величины почечного резистивного индекса (RRI) и полуколичественной оценки почечной перфузии (SQP) как методов ранней диагностики ОПП у гериатрических пациентов после ургентной абдоминальной хирургии.

Материалы и методы. В проспективное одноцентровое исследование включили 40 пациентов (72,5 (65,0; 81,5) года), которым определяли риск развития, наличие и стадию ОПП, дополнительно измеряли показатели гемодинамики, внутрибрюшное давление (ВБД), внутрибрюшное перфузионное давление (ВБПД). Почечный резистивный индекс (RRI) и полуколичественную оценку почечной перфузии (SQP) определяли с помощью ультразвуковой доплерографии (ультразвуковой датчик CH-6, SIEMENS, Acuson Antares). Статистический анализ проведен с помощью программы Statistica for Windows 13 (StatSoft Inc., № JPZ8041382130ARCN10-J).

Результаты. В послеоперационном периоде ОПП развилось у 26 (65 %) больных. По сравнению с пациентами без ОПП у них на 14 % ниже уровень среднего артериального давления ($p = 0,008$), в среднем на 4 мм рт. ст. выше ВБД ($p = 0,005$) и значительно ниже ВБПД ($p = 0,0348$). У пациентов с ОПП RRI на 13,9 % выше, чем у больных без ОПП (0,75 (0,72; 0,81) отн. ед. против 0,66 (0,61; 0,69) отн. ед. соответственно, $p = 0,000001$), но степень SQP почек достоверно не отличалась в группах ($p = 0,636$). Логистический регрессионный анализ показал, что у больных с высоким RRI в 15 раз чаще возникает ОПП. ROC-анализ показал, что RRI $>0,71$ отн. ед. – пороговый уровень для развития ОПП с чувствительностью 87,2 % и специфичностью 73,5 %, имеет высокую прогностическую ценность (площадь под кривой AUC 0,868, $p < 0,0001$). СИ, ВБД, ВБПД достоверно очень слабо коррелировали с RRI ($r = -0,31$; $r = 0,26$, $r = -0,28$ соответственно, $p < 0,05$).

Выводы. Высокие значения RRI у гериатрических пациентов после ургентной абдоминальной хирургии связаны с развитием ОПП. RRI может быть инструментом «прикроватной» диагностики ОПП, в отличие от SQP почек, которая не показала прогностической ценности.

Ключевые слова: гериатрические пациенты, острое повреждение почек, почечный резистивный индекс.

Патология. 2021. Т. 18, № 2(52). С. 142-151

Гостре пошкодження нирок (ГПН) – поширене явище в госпіталізованих хірургічних пацієнтів, що має негативний вплив на результати лікування. ГПН пов'язане зі збільшенням витрат на лікування, тривалішим перебуванням у лікарні, підвищенням рівня короткочасної та віддаленої летальності [1–7]. Після епізоду ГПН частина хворих, які вижили, так і не відновлюють ниркову функцію повністю та потребують замісної ниркової терапії [8,9]. Отже, післяопераційне ГПН викликає особливий інтерес для лікаря, оскільки є вимірюваним показником періопераційного ушкодження та важливою потенційною метою для втручання [6].

Вікові зміни функції нирок, множинні супутні захворювання можуть збільшити схильність літніх людей до ГПН [1]. Вік визнаний одним з основних факторів ризику ГПН [10,11] та прогностичним критерієм смертності у пацієнтів із ГПН [12]. Саме тому гериатричні хворі потребують особливої уваги в аспекті запобігання розвитку ГПН у післяопераційному періоді.

Рання діагностика ГПН – важливий компонент ефективності його профілактики, лікування [13]. Основна наявних прогностичних шкал розвитку ГПН – величина сироваткового креатиніну, але рівень креатиніну та швидкість його підвищення залежить від багатьох факторів (ступінь волемії, використання протеїнового харчування або стероїдів, травма м'язів тощо) і не завжди коректно показує ступінь пошкодження функції нирок. Швидкість клубочкової фільтрації (ШКФ), що вимірюють за допомогою проби Реберґа, є точнішим методом діагностики ГПН, але техніка її виконання –

трудомістка й витратна за часом. Сучасні роботи показують високу надійність визначення таких біомаркерів ГПН, як ліпокалін, асоційований із желатиназою нейтрофілів (NGAL) [14], інтерлейкін 18 [15], цистатин С [16]. Висока вартість цих досліджень робить їх недоступними для більшості лікарень.

Нирковий резистивний індекс (RRI) – показник ультразвукового дослідження нирок, що використовують для оцінювання ниркової мікроциркуляції, кількісно показує зміни як ниркового судинного опору, так і податливості судин. Bellos I. et al. [17] здійснили метааналіз 10 досліджень (загальна кількість пацієнтів – 911), у них вивчали визначення RRI як методу діагностики післяопераційного ГПН. Автори підсумували, що RRI – корисний прогностичний маркер, адже в пацієнтів, які мали епізод ГПН, виявили вищі значення цього індексу до операції (середня різниця (СР) 0,02; 95 % довірчий інтервал (ДІ): 0,00–0,03), відразу після (СР 0,07; 95 % ДІ: 0,04–0,11) і через 24 години після операції (СР 0,07; 95 % ДІ: 0,04–0,09). Сумарна чутливість методу становила 81,8 %, специфічність – 77,6 %, площа під кривою – 0,866. Але ці дослідження включали хворих тільки після кардіальних та ортопедичних втручань. Отже, питання його прогностичної цінності в абдоминальній хірургії залишається відкритим, особливо в гериатричних хворих, в яких інтерпретація значень RRI може бути ускладнена через жорсткість аорти, підвищений діастолічний артеріальний тиск, атеросклеротичне ураження судин [18,19].

Таблиця 1. Критерії класифікації KDIGO при ГПН

Стадія	Креатинін сироватки (SCr)	Темп діурезу (UO)
1	Зростання в 1,5–1,9 раза від базового рівня в межах 7 днів або зростання ≥ 27 мкмоль/л (0,3 мг/дл) у межах 48 годин.	$< 0,5$ мл/кг-год протягом 6–12 годин.
2	Зростання у 2,0–2,9 раза від базового рівня в межах 7 днів.	$< 0,5$ мл/кг-год протягом ≥ 12 годин.
3	Зростання в 3,0 раза від базового рівня в межах 7 днів або зростання ≥ 354 мкмоль/л (≥ 4 мг/дл), або початок замісної ниркової терапії.	$< 0,3$ мл/кг-год протягом ≥ 24 годин або анурія ≥ 12 годин.

Таблиця 2. УЗ-ознаки під час напівкількісного оцінювання ниркової перфузії

Ступінь	Якість ниркової перфузії, що оцінена за допомогою кольорової доплерографії
0	Судини не ідентифікуються.
1	Мала кількість судин у ділянці миски.
2	Судини у ділянці миски та міждолькові судини в більшій частині ниркової паренхіми.
3	Ниркові судини ідентифікуються до дугоподібних артерій у всьому полі зору.

Таблиця 3. Антропометричні показники прооперованих пацієнтів

Показники, одиниці вимірювання	Усі пацієнти (n = 40)	ГПН (n = 26)	Без ГПН (n = 14)	P
Вік, роки	72,5 (65,0; 81,5)	72 (65,0; 76,0)	80,5 (65,0; 84,0)	0,480
Чоловіча стать, n (%)	14 (35 %)	7 (26,9 %)	7 (50 %)	0,239
ІМТ, кг/м ²	24,2 (22,7; 31,0)	26,4 (23,3; 31,2)	22,9 (21,6; 27,8)	0,094

ІМТ: індекс маси тіла.

Напівкількісне оцінювання перфузії нирок (semi-quantitative perfusion, SQP) – ще один метод визначення ниркового кровотоку за допомогою кольорової доплерографії. За даними досліджень [20,21], ця техніка є простішою, ніж визначення RRI, але вона може надати подібну інформацію щодо функції нирок.

Мета роботи

Визначити прогностичну цінність величини ниркового резистивного індексу та напівкількісного оцінювання ниркової перфузії як методів ранньої діагностики гострого пошкодження нирок у гериатричних пацієнтів після ургентної абдомінальної хірургії.

Матеріали і методи дослідження

Одноцентрове проспективне дослідження (вересень 2020 – квітень 2021 року) здійснене на базі відділення інтенсивної терапії (ВІТ) КНП «Міська лікарня екстреної та швидкої медичної допомоги» м. Запоріжжя. Після отримання згоди комісії з питань біоетики Запорізького державного медичного університету та інформованої згоди пацієнтів у дослідження увійшли 50 осіб, яким в ургентному порядку виконали оперативні втручання на органах черевної порожнини з приводу перитоніту.

Критерії залучення: вік понад 60 років, первинне ургентне оперативне втручання з приводу перитоніту, надходження у ВІТ одразу після операції. Критерії

виключення: неможливість виконання ультразвукового дослідження нирок, хронічна ниркова недостатність (ХНН) в анамнезі, перитоніт на тлі важкого панкреатиту або панкреонекрозу, надходження у ВІТ після релапаротомії.

Періопераційно пацієнтам виконали стандартний моніторинг, додатково визначаючи ризик розвитку ГПН за допомогою калькулятора ACS-NSQIP [22], тяжкість стану хворих – за шкалою SOFA [23], серцевий індекс (CI) – за технологією esCOO (монітор Vismo PVM-2701K, «Nihon Kohden», Японія), внутрішньочеревний тиск (ВЧТ) – за допомогою непрямого методу (Kron та Iberti, 1984), внутрішньочеревний перфузійний тиск (ВЧПТ) – як різницю між середнім артеріальним тиском і ВЧТ.

Наявність і стадію ГПН визначали відповідно до класифікації KDIGO [24], щодня під час перебування пацієнтів у ВІТ (табл. 1).

Резистивний індекс (RI) вимірювали за допомогою ультразвукової доплерографії з використанням конвексного датчика з частотою 3 МГц (ультразвуковий датчик CH-6, SIEMENS, Acuson Antares). Після візуалізації нирки та ниркових артерій у В-режимі та режимах кольорової та імпульсної доплерографії виконали три послідовні вимірювання RRI в сегментарних або міждолькових артеріях (рис. 1). Для аналізу використовували найліпше значення резистивного індексу.

Напівкількісне оцінювання перфузії (SQP) нирок здійснили за допомогою кольорового доплерівського картування, визначаючи ступінь кровотоку в балах згідно з таблицею 2 [20]. УЗ-зображення різних ступенів якості ниркового кровотоку наведено на рис. 2.

Статистичний аналіз виконали за допомогою програми Statistica for Windows 13 (StatSoft Inc., №JPZ8041382130ARCN10-J). Безперервні дані наведені як медіана та міжквартильний розмах. Категоріальні дані – як відсотки. Для порівняння клінічних характеристик і RRI пацієнтів із ГПН і без ГПН використовували U критерій Манна-Вітна. За допомогою ROC-аналізу та логістичної регресії визначали зв'язки між RRI та ГПН. Для визначення кореляції між показниками застосовували коефіцієнт Спірмена. Відмінності зі значенням $p < 0,05$ вважали вірогідними.

З 50 пацієнтів, які спочатку увійшли в дослідження, 10 хворих виключили через наявність панкреонекрозу ($n = 2$) або ХНН в анамнезі ($n = 2$), через технічну неможливість виконання ультразвукового дослідження нирок ($n = 6$). Врешті у дослідження залучили 40 пацієнтів, характеристика яких наведена в таблиці 3 (показники визначені як для всіх пацієнтів, так і окремо для пацієнтів із ГПН і без ГПН). Групи зіставні за віком, статтю, індексом маси тіла хворих (табл. 3).

Результати

За даними, що наведені в таблиці 3, у 26 (65 %) пацієнтів у післяопераційному періоді спостерігали розвиток ГПН. За даними ASC-NSQIP, вони мали вищий понад удвічі вихідний допустимий ризик ГПН ($p = 0,0135$) порівняно з пацієнтами без ГПН. Але фактичний ризик ГПН вірогідно не відрізнявся в гру-

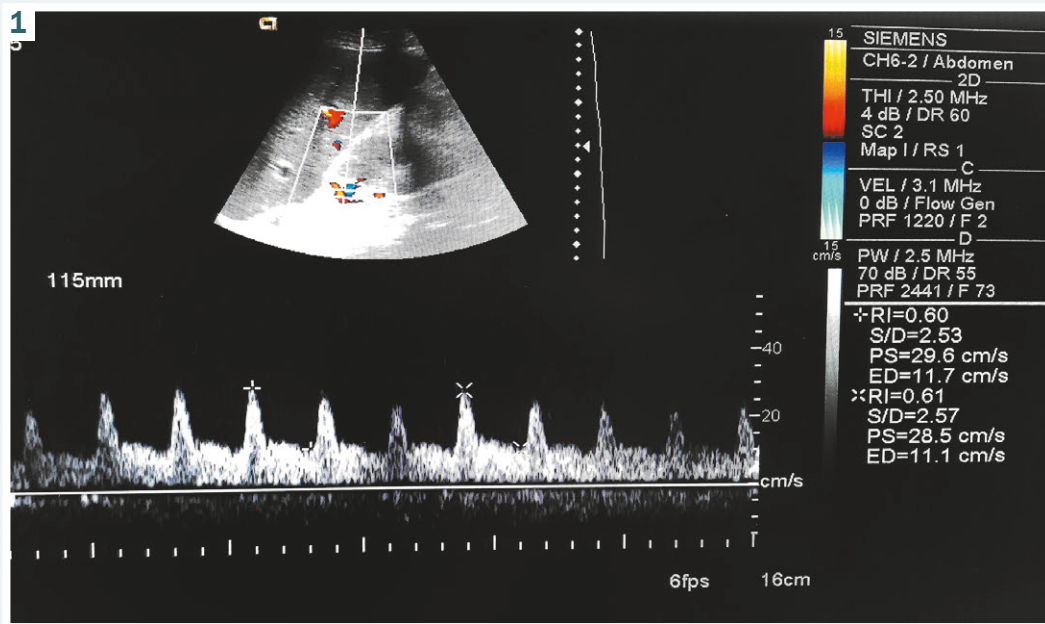


Рис. 1. Ультразвукове визначення ниркового резистивного індексу (RRI).

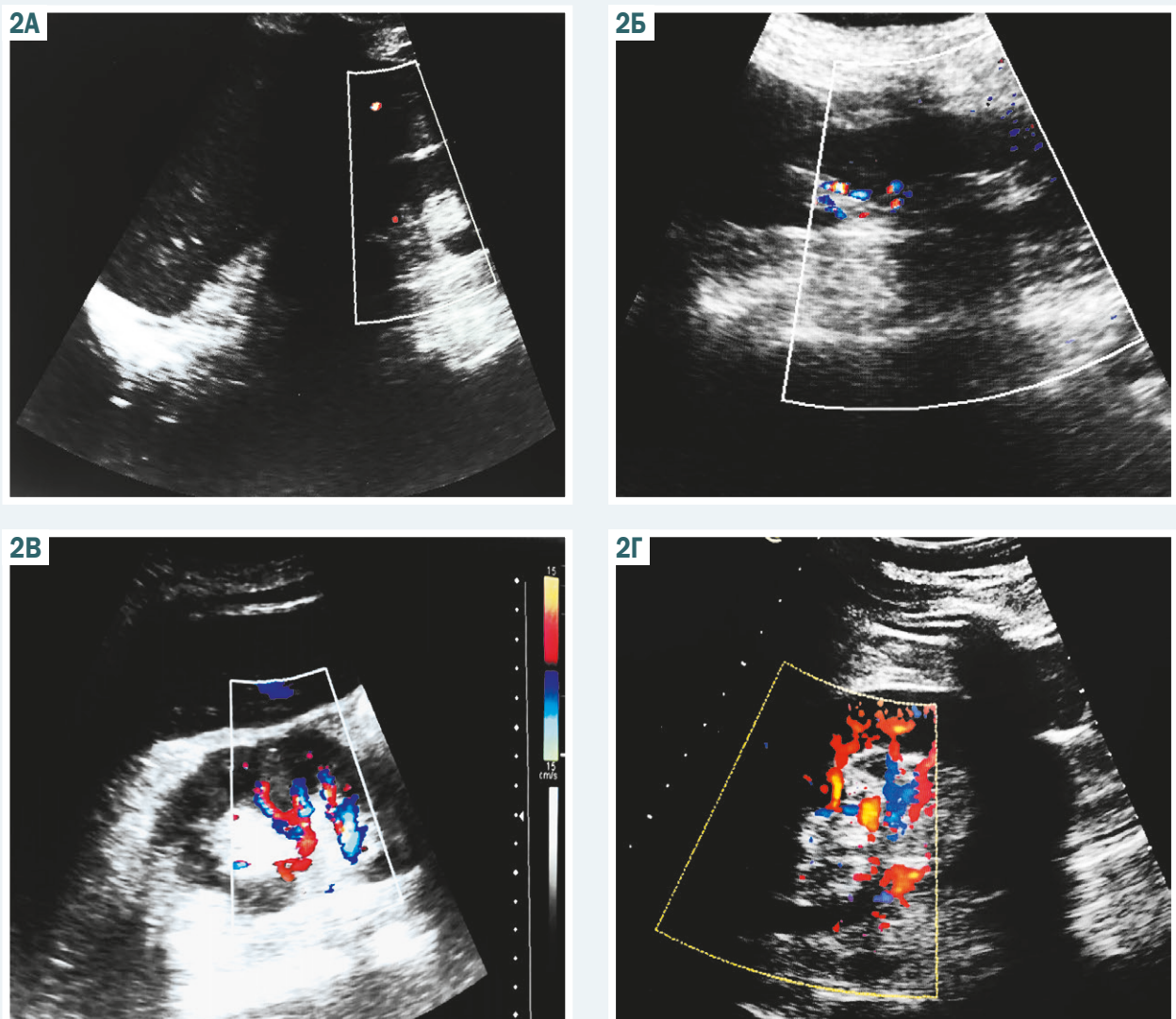


Рис. 2. Ультразвукове зображення якості перфузії нирок: А: 0 ступінь, Б: 1 ступінь, В: 2 ступінь, Г: 3 ступінь.

Таблиця 4. Загальна характеристика пацієнтів і факторів ризику ГПН

Показники, одиниці вимірювання	Усі пацієнти (n = 40)	ГПН (n = 26)	Без ГПН (n = 14)	p
Коморбідна патологія				
Серцева недостатність, n (%)	28 (70,0 %)	19 (73,0 %)	9 (64,3 %)	0,800
Гіпертонічна хвороба, n (%)	35 (87,5 %)	24 (92,3 %)	11 (85,7 %)	0,700
Цукровий діабет, n (%)	7 (17,5 %)	5 (19,23 %)	2 (14,3 %)	0,530
Передопераційний період				
ASA, клас	3 (3; 4)	3 (3; 4)	3 (3; 3)	0,117
Ризик ГПН:				
Допустимий, %	1,2 (0,7; 2,2)	1,60 (0,95; 2,50)	0,75 (0,4; 1,3)	0,014
Фактичний, %	2,1 (1,1; 3,3)	2,55 (1,35; 4,10)	1,8 (0,8; 3,3)	0,173
Нь вихідний, г/л	117,5 (91,5; 150,5)	113,0 (85,0; 138,0)	145,5 (105,0; 159,0)	0,122
Анемія, n (%)	15 (37,5 %)	12 (46,15 %)	3 (21,4 %)	0,210
Інтраопераційний період				
Операція:				
Лапаротомія, n (%)	36 (90 %)	24 (92,30 %)	12 (85,72 %)	0,740
Лапароскопія, n (%)	4 (10 %)	2 (7,69 %)	2 (14,28 %)	0,740
Тривалість операції, хв	100,0 (75,0; 160,0)	117,5 (80,0; 185,0)	90,0 (75,0; 110,0)	0,357
Тривалість анестезії, хв	112,5 (85,0; 165,0)	145,0 (95,0; 200,0)	102,5 (80,0; 125,0)	0,300
Загальна інфузія, мл	2200 (1400; 3400)	2300 (1200; 3546)	2100 (1400; 3400)	0,676
Вазопресори, n (%)	13 (32,50 %)	9 (34,61 %)	4 (28,57 %)	0,527
Післяопераційний період				
SOFA, бали	3 (2; 4)	3 (2; 5)	3 (2; 3)	0,410
Анемія, n (%)	30 (75,0 %)	22 (84,6 %)	8 (57,14 %)	0,126
Інфузія, мл/добу	2300 (1800; 3100)	2300 (1950; 3100)	2100(1600; 2800)	0,140
Вазопресори, n (%)	17 (42,50 %)	14 (53,84 %)	3 (21,43 %)	0,085
Гемотрансфузія, n (%)	11 (27,50 %)	9 (34,61 %)	2 (14,28 %)	0,189
CI, л/хв·м ²	3,40 (2,78; 4,55)	3,25 (2,61; 4,14)	3,75 (3,09; 4,89)	0,179
CAT, мм рт. ст.	87,5 (73,0; 97,5)	80,0 (70,0; 93,0)	93 (82,0; 110,0)	0,008
ВЧТ, мм рт. ст.	12,0 (8,0; 16,5)	14,0 (10,0; 20,0)	10,0 (6,0; 13,0)	0,005
ВЧПТ, мм рт. ст.	74,4 (57,9; 82,0)	64,0 (54,0; 80,7)	82,2 (65,8; 112,1)	0,035

CI: серцевий індекс; CAT: середній артеріальний тиск; ВЧТ: внутрішньочеревний тиск; ВЧПТ: внутрішньочеревний перфузійний тиск.

Таблиця 5. Рівень креатиніну та показники УЗД нирок

Показники, одиниці вимірювання	Усі пацієнти (n = 40)	ГПН (n = 26)	Без ГПН (n = 14)	p
Креатинін вихідний, мкмоль/л	108 (84; 175)	113 (83; 188)	103 (93; 149)	0,910
Креатинін максимальний, мкмоль/л	154 (112; 261)	195 (140; 373)	115 (98; 154,8)	0,002
SQP нирок, ступінь	2 (1; 2)	2 (1; 2)	2 (1; 2)	0,636
RRI, відносні одиниці	0,73 (0,68; 0,8)	0,75 (0,72; 0,81)	0,66 (0,61; 0,69)	<0,001

пах дослідження ($p = 0,173$), що дало можливість вважати їх зіставними за цим та іншими показниками (коморбідною патологією, тяжкістю стану, характеристиками оперативних утручань тощо) (табл. 4).

Також пацієнти у групах не відрізнялися за величиною серцевого індексу ($p = 0,179$), який був у межах нормодинамії, що, ймовірно, пов'язано з використанням вазопресорів для підтримання оптимальних показників гемодинаміки. Але пацієнти з ГПН порівняно з хворими без ГПН періопераційно мали в середньому на 14 % нижчий рівень CAT ($p = 0,008$), на 4 мм рт. ст. вищий ВЧТ ($p = 0,005$) та, як наслідок, істотно нижчий ВЧПТ (64 (54; 80,7) мм рт. ст. проти 82,2 (65,8; 112,1) мм рт. ст. відповідно, $p = 0,0348$). Отже, можна припустити, що саме ці показники – основні фактори ризику розвитку ГПН.

Вихідний рівень креатиніну не мав істотних відмінностей у пацієнтів груп, що досліджували, ($p = 0,91$), але надалі в пацієнтів із ГПН він досяг рівня 195 (140; 373) мкмоль/л, що відповідало наявності в них 1–2 стадії ниркового пошкодження (табл. 5). Зареє-

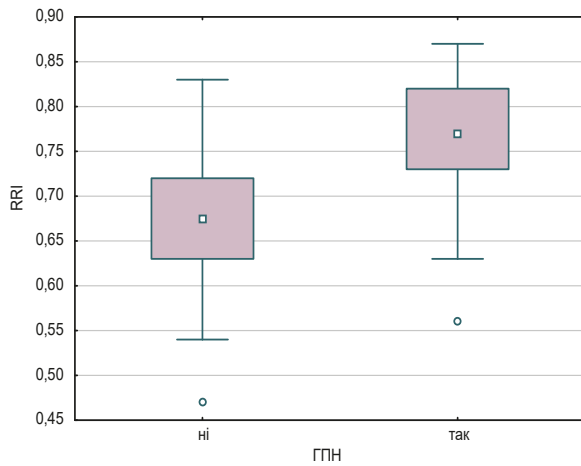
стровані значення RRI в цих пацієнтів перевищували величину RRI в осіб без ГПН у середньому на 13,9 % ($p = 0,000001$) (рис. 3), але ступінь SQP нирок вірогідно не відрізнявся в групах дослідження ($p = 0,636$) і характеризувався передусім наявністю кровотоку в судинах миски та міждолькових судинах у більшій частині ниркової паренхіми.

За результатами логістичного регресійного аналізу виявили зв'язок між високими значеннями RRI та розвитком гострого пошкодження нирок (рис. 4): показник відношення шансів (OR) дорівнював 15,4 при значенні критерію $\chi^2 = 35,4$ ($p < 0,0001$).

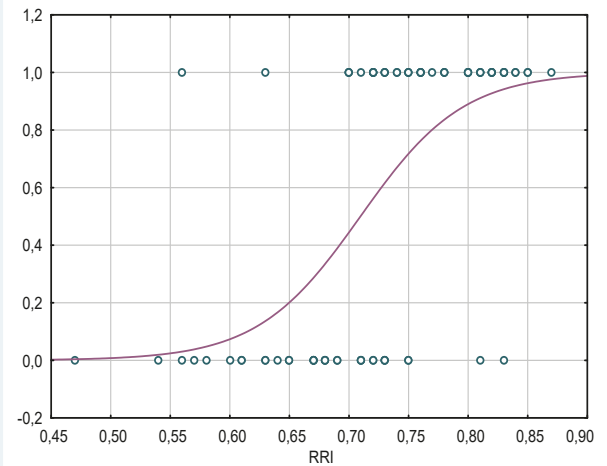
ROC-аналіз показав, що RRI $>0,71$ в од. є пороговим рівнем для розвитку ГПН із чутливістю 87,2 % та специфічністю 73,5 %, а вимірювання саме RRI для ранньої діагностики ГПН у пацієнтів похилого віку після ургентної абдомінальної хірургії має велику прогностичну цінність (площа під кривою AUC 0,868 ($p < 0,0001$)) (рис. 5).

Кореляційний аналіз взаємозв'язку RRI з показниками гемодинаміки та ВЧТ виявив дуже слабкі

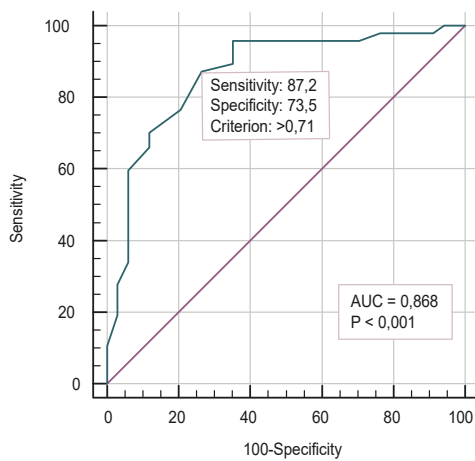
3



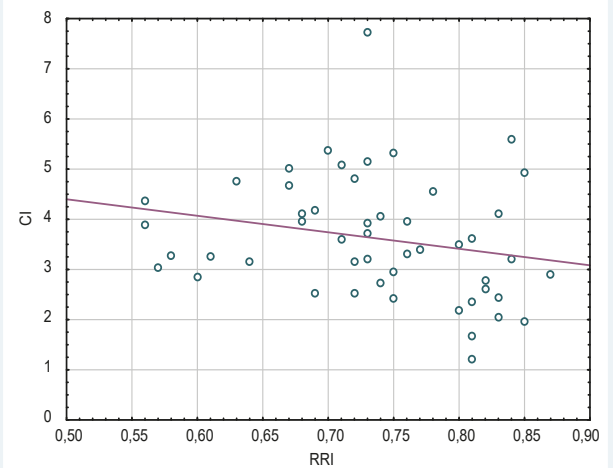
4



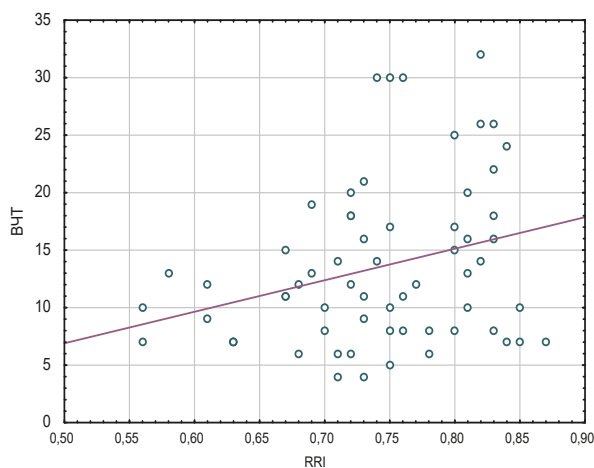
5



6a



6б



6в

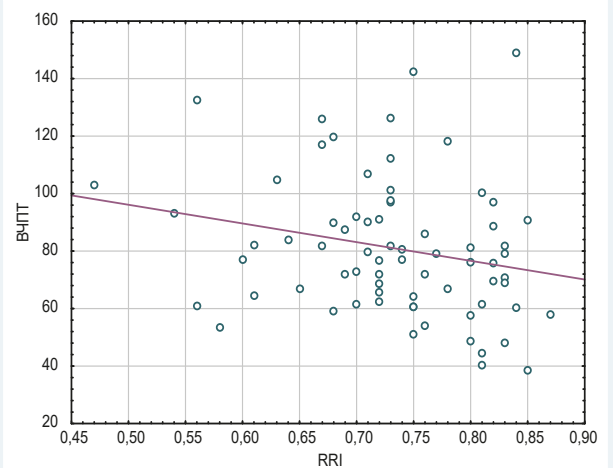


Рис. 3. Нирковий резистивний індекс у пацієнтів із гострим пошкодженням нирок (ГПН так) та без гострого пошкодження нирок (ГПН ні).

Рис. 4. Логістична крива залежності ймовірності розвитку гострого пошкодження нирок від значення ниркового резистивного індексу.

Рис. 5. ROC-крива значення ниркового резистивного індексу (RRI).

Рис. 6. Кореляційний аналіз між величиною ниркового резистивного індексу (RRI) та значеннями серцевого індексу – CI (а), внутрішньочеревного тиску – ВЧТ (б), внутрішньочеревного перфузійного тиску – ВЧПТ (в).

Таблиця 6. Кореляційний зв'язок між RRI та CAT, CI, BЧТ і ВЧПТ

	г-критерій Спірмена	p
RRI – CAT	-0,15	>0,05
RRI – CI	-0,31	<0,05
RRI – BЧТ	0,26	<0,05
RRI – ВЧПТ	-0,27	<0,05

RRI: нирковий резистивний індекс; **CAT:** середній артеріальний тиск; **CI:** серцевий індекс; **BЧТ:** внутрішньочеревний тиск; **ВЧПТ:** внутрішньочеревний перфузійний тиск.

різноспрямовані зсуви (табл. 6). Але якщо залежність RRI від величини CAT мала невірогідну тенденцію, то значення CI, BЧТ і ВЧПТ мали вірогідно дуже слабкий вплив на RRI (рис. 6).

Обговорення

Частота гострого пошкодження нирок у нашому дослідженні становила 65 %. Це значення збігається з інцидентністю ГПН у ВІТ за даними робіт, в яких використовували критерій KDIGO як маркер ГПН [25–27]. Частота ГПН у них становила 55,6–74,5 %, але вік не був основним критерієм включення. У 2017 р. на V Паризькій міжнародній конференції з інтенсивної терапії представили метааналіз 11 досліджень поширеності ГПН у ВІТ [14]. Розбіжність відсотків інцидентності ГПН була більшою – від 19,2 % до 74,5 %. До того ж середній вік хворих у 10 з 11 цих досліджень був понад 60 років, що підтверджує значущість вивчення ГПН саме в таких пацієнтів.

Результати нашого дослідження вказують на вище значення ниркового резистивного індексу в осіб із ГПН порівняно з пацієнтами без ГПН. Такі результати узгоджуються з більшістю досліджень, що здійснені на змішаній популяції хворих ВІТ, пацієнтів із септичним шоком, осіб після ортопедичних і кардіохірургічних утручань [28–37]. І хоча абсолютні значення RRI остаточно не визначені для різних груп пацієнтів, тенденція до його збільшення може допомогти у прогнозуванні розвитку ГПН.

У 2018 р. M. Darmon et al. [38] опублікували відомості, що RRI на підставі доплера не є корисними для прогнозування стійкого ГПН, а всі попередні дослідження RRI як маркера ГПН мають суперечливі результати. На їхню думку, більшість досліджень мали високий ризик упередженості, в них наведені численні фактори, що можуть впливати на RRI [39–41], як-от жорсткість артерій, індекс пульсового тиску, середній артеріальний тиск і частота серцевих скорочень, внутрішньочеревний тиск тощо. У результаті нашого дослідження не виявили статистично значущий кореляційний зв'язок між RRI та CAT, а зв'язок між RRI та CI, BЧТ, ВЧПТ дуже слабкий. Враховуючи, що кореляція між названими показниками тиску та розвитком ГПН також слабка, можна стверджувати про незначний вплив цих факторів на величину RRI як маркера ГПН. Dewitte A. et al. [42] вимірювали RRI в пацієнтів із сепсисом після стабілізації гемодинаміки та виявили, що CAT мав середній кореляційний зв'язок із резистивним індексом тільки в хворих без ГПН, а в осіб із ГПН вірогідну кореляцію між CAT і RRI не виявили. Результати нашого дослідження мають аналогічну тенденцію.

Результати ефективності напівкількісного оцінювання ниркової перфузії для діагностики ГПН відрізняються від даних фахової літератури. Так, D. Schnell et al. [20] повідомляють: результати оцінювання RRI та SQP нирок зівставні, а надійність SQP нирок, схоже, така сама, як і надійність RRI. Крім того, автори стверджують, що SQP нирок із використанням кольорової доплерографії простіша у виконанні, ніж визначення RRI, та може надати подібну інформацію щодо функції нирок. На жаль, ми не виявили різниці за ступенями SQP нирок у геріатричних хворих з ГПН і без ГПН після ургентної абдомінальної хірургії, що примушує поставити під сумнів прогностичне значення цього методу. У нещодавньому дослідженні [38] також показано, що значення SQP нирок для визначення ГПН є перебільшеним (площа під кривою AUC становила 0,59 (95 % ДІ: 0,54–0,65), поріг чутливості та специфічності – 39 % (32–45 %) та 75 % (66–82 %) відповідно).

Суттєвим обмеженням у дослідженні резистивного індексу як маркера гострого пошкодження нирок є неоднорідність у розумінні його визначення. Bude R. O. et al. [43] показали, що зв'язок між судинним опором і RRI ставав слабкішим зі збільшенням артеріальної жорсткості. Автори стверджують, що RRI – неправильна назва, індекс фактично повинен називатися «індексом імпедансу», оскільки значення RRI та форма доплерографічної кривої залежать не тільки від судинного опору, але й від податливості судин. Отже, в геріатричних хворих, для яких характерна патологія серцево-судинної системи та, як наслідок, висока жорсткість судин, цілком зрозуміло є відсутність значущої кореляції між середнім артеріальним тиском, серцевим і резистивним індексами. Але це твердження потребує ретельної перевірки, може стати напрямом дальших досліджень.

Висновки

1. Високі значення RRI в сегментарних або між-долькових артеріях нирок у геріатричних пацієнтів після ургентної абдомінальної хірургії пов'язані з розвитком гострого пошкодження нирок.

2. Нирковий резистивний індекс може бути інструментом «приліжкової» діагностики ГПН у геріатричних пацієнтів, на відміну від напівкількісного оцінювання ниркової перфузії, котра не показала прогностичної цінності.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of interest: authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 04.07.2021

Після доопрацювання / Revised: 23.07.2021

Прийнято до друку / Accepted: 27.07.2021

Відомості про авторів:

Момот Н. В., аспірантка каф. анестезіології та інтенсивної терапії, Запорізький державний медичний університет, Україна. ORCID ID: [0000-0002-3355-4910](https://orcid.org/0000-0002-3355-4910)

Туманська Н. В., канд. мед. наук, доцент каф. пропедевтики внутрішньої медицини, променевої діагностики та променевої терапії, Запорізький державний медичний університет, Україна. ORCID ID: [0000-0002-4290-7474](https://orcid.org/0000-0002-4290-7474)

Воротинцев С. І., д-р мед. наук, зав. каф. анестезіології та інтенсивної терапії, Запорізький державний медичний університет, Україна.

ORCID ID: [0000-0002-9159-6617](https://orcid.org/0000-0002-9159-6617)

Information about authors:

Momot N. V., PhD student of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, Zaporizhzhia State Medical University, Ukraine.

Tumanska N. V., MD, PhD, Associate Professor of the Department of Propaedeutics of Internal Medicine, Radiation Diagnostics and Therapy, Zaporizhzhia State Medical University, Ukraine.

Vorotyntsev S. I., MD, PhD, DSc, Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care, Zaporizhzhia State Medical University, Ukraine.

Сведения об авторах:

Момот Н. В., аспирант каф. анестезіології та інтенсивної терапії, Запорізький державний медичний університет, Україна.

Туманська Н. В., канд. мед. наук, доцент каф. пропедевтики внутрішньої медицини, лучової діагностики та лучової терапії, Запорізький державний медичний університет, Україна.

Воротынцев С. И., д-р мед. наук, зав. каф. анестезіології та інтенсивної терапії, Запорізький державний медичний університет, Україна.

Список літератури

- [1] Rewa O., Bagshaw S. M. Acute kidney injury-epidemiology, outcomes and economics. *Nature reviews. Nephrology*. 2014. Vol. 10, Iss. 4. P. 193-207. <https://doi.org/10.1038/nrneph.2013.282>
- [2] Minor Postoperative Increases of Creatinine Are Associated with Higher Mortality and Longer Hospital Length of Stay in Surgical Patients / F. Kork, F. Balzer, C. D. Spies et al. *Anesthesiology*. 2015. Vol. 123, Iss. 6. P. 1301-1311. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000891>
- [3] The incidence and risk factors of acute kidney injury after hepatobiliary surgery: a prospective observational study / E. Cho, S. C. Kim, M. G. Kim et al. *BMC nephrology*. 2014. Vol. 15. P. 169. <https://doi.org/10.1186/1471-2369-15-169>
- [4] Cost and Mortality Associated with Postoperative Acute Kidney Injury / C. Hobson, T. Ozrazgat-Baslanti, A. Kuxhausen et al. *Annals of surgery*. 2015. Vol. 261, Iss. 6. P. 1207-1214. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000732>
- [5] Acute kidney injury after major abdominal surgery: a retrospective cohort analysis / C. Teixeira, R. Rosa, N. Rodrigues et al. *Critical care research and practice*. 2014. Vol. 2014. P. 132175. <https://doi.org/10.1155/2014/132175>
- [6] Acute kidney injury in major abdominal surgery: incidence, risk factors, pathogenesis and outcomes / J. Gameiro, J. A. Fonseca, M. *Annals of intensive care*. 2018. Vol. 8, Iss. 1. P. 22. <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0369-7>
- [7] Incidence, risk factors, and outcomes of perioperative acute kidney injury in noncardiac and nonvascular surgery / M. Biteker, A. Dayan, A. İ. Tekkeşin et al. *American journal of surgery*. 2014. Vol. 207, Iss. 1. P. 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2013.04.006>
- [8] Características clínico-epidemiológicas de adultos e idosos atendidos em unidade de terapia intensiva pública da Amazônia (Rio Branco, Acre) [Clinical-epidemiological characteristics of adults and aged interned in an intensive care unit of the Amazon / K. Acuna, E. Costa, A. Grover et al. *Revista Brasileira de terapia intensiva*. 2007. Vol. 19, Iss. 3. P. 304-309.
- [9] Coca S. G., Singanamala S., Parikh C. R. Chronic kidney disease after acute kidney injury: a systematic review and meta-analysis. *Kidney international*. 2012. Vol. 81, Iss. 5. P. 442-448. <https://doi.org/10.1038/ki.2011.379>
- [10] Acute kidney injury in the ICU: from injury to recovery: reports from the 5th Paris International Conference / R. Bellomo, C. Ronco, R. L. Mehta et al. *Annals of intensive care*. 2017. Vol. 7, Iss. 1. P. 49. <https://doi.org/10.1186/s13613-017-0260-y>
- [11] Bucuvic E. M., Ponce D., Balbi A. L. Risk factors for mortality in acute kidney injury. *Revista da Associação Médica Brasileira*. 2011. Vol. 57, Iss. 2. P. 158-163. <https://doi.org/10.1590/s0104-42302011000200012>
- [12] Acute renal failure in critically ill patients: a multinational, multicenter study / S. Uchino, J. A. Kellum, R. Bellomo et al. *JAMA*. 2005. Vol. 294, Iss. 7. P. 813-818. <https://doi.org/10.1001/jama.294.7.813>
- [13] Perioperative Acute Kidney Injury / S. D. Gumbert, F. Kork, M. L. Jackson et al. *Anesthesiology*. 2020. Vol. 132, Iss. 1. P. 180-204. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002968>
- [14] Prediction of delayed graft function and long-term graft survival by serum and urinary neutrophilgelatinase-associated lipocalin during the early postoperative phase after kidney transplantation / H. T. Maier, M. I. Ashraf, C. Denecke et al. *PLoS One*. 2018. Vol. 13, Iss. 1. e0189932. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189932>
- [15] Prognostic value of levels of urine neutrophil gelatinase-associated Lipocalin and Interleukin-18 in patients with delayed graft function after kidney transplantation / L.-Y. Cui, X. Zhu, S. Yang et al. *Transplantation proceedings*. 2015. Vol. 47, Iss. 10. P. 2846-2851. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2015.10.042>
- [16] Predictive value of serum cystatin C for acute kidney injury in adults: a meta-analysis of prospective cohort trials / Z. Yong, X. Pei, B. Zhu et al. *Scientific reports*. 2017. Vol. 7. P. 41012. <https://doi.org/10.1038/srep41012>
- [17] Bellos I., Pergialiotis V., Kontzoglou K. Renal resistive index as predictor of acute kidney injury after major surgery: A systematic review and meta-analysis. *Journal of critical care*. 2019. Vol. 50. P. 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2018.11.001>
- [18] The relationship between renal resistive index, arterial stiffness, and atherosclerotic burden: the link between macrocirculation and microcirculation / J. Calabria, P. Torquet, I. Garcia et al. *Journal of clinical hypertension*. 2014. Vol. 16, Iss. 3. P. 186-191. <https://doi.org/10.1111/jch.12248>
- [19] Bellos I., Perrea D.N., Kontzoglou K. Renal resistive index as a predictive factor of delayed graft function: A meta-analysis. *Transplantation reviews*. 2019. Vol. 33, Iss. 3. P. 145-153. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.003>
- [20] Resistive Index or color-Doppler semi-quantitative evaluation of renal perfusion by inexperienced physicians: results of a pilot study / D. Schnell, M. Reynaud, M. Venot et al. *Minerva anesthesiologica*. 2014. Vol. 80, Iss. 12. P. 1273-1281.
- [21] Renal ultrasonography in critically ill patients / L. Barozzi, M. Valentino, A. Santoro et al. *Critical care medicine*. 2007. Vol. 35, Iss. 5. P. 198-205. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000260631.62219.B9>
- [22] ACS NSQIP Surgical Risk Calculator / American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program. URL : <https://riskcalculator.facs.org/RiskCalculator/>
- [23] Sequential Organ Failure Assessment (SOFA) Score // MDCalc. URL : <https://www.mdcalc.com/sequential-organ-failure-assessment-sofa-score>
- [24] Khwaja A. KDIGO clinical practice guidelines for acute kidney injury. *Nephron. Clinical practice*, 2012. Vol. 120, Iss. 4. P. c179-c184. <https://doi.org/10.1159/000339789>
- [25] Renal functional reserve in humans. Effect of protein intake on glomerular filtration rate / J. P. Bosch, A. Saccaggi, A. Lauer et al. *The American journal of medicine*. 1983. Vol. 75, Iss. 6. P. 943-950. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(83\)90873-2](https://doi.org/10.1016/0002-9343(83)90873-2)
- [26] Ronco C., Rosner M. H. Acute kidney injury and residual renal function. *Critical care*. 2012. Vol. 16, Iss. 4. P. 144. <https://doi.org/10.1186/cc11426>
- [27] Acute Kidney Injury Network: report of an initiative to improve outcomes in acute kidney injury / R. L. Mehta, J. A. Kellum, S. V. Shah et al. *Crit Care*. 2007. Vol. 11, Iss. 2. P. R 31. <https://doi.org/10.1186/cc5713>
- [28] Renal failure in septic shock: Predictive value of Doppler-based renal arterial resistive index / N. Lerolle, E. Guérot, C. Faisy et al. *Intensive care medicine*. 2006. Vol. 32, Iss. 10. P. 1553-1559. <https://doi.org/10.1007/s00134-006-0360-x>
- [29] Early detection of postoperative acute kidney injury by Doppler renal resistive index in cardiac surgery with cardiopulmonary bypass / G. Bossard, P. Bourgoin, J. J. Corbeau et al. *British journal of anaesthesia*. 2011. Vol. 107, Iss. 10. P. 891-898. <https://doi.org/10.1093/bja/aer289>
- [30] Diagnostic accuracy of Doppler renal resistive index for reversibility of acute kidney injury in critically ill patients / M. Darmon, F. Schortgen, F. Vargas et al. *Intensive care medicine*. 2011. Vol. 37, Iss. 1. P. 68-76. <https://doi.org/10.1007/s00134-010-2050-y>
- [31] Renal Resistive Index Better Predicts the Occurrence of Acute Kidney Injury Than Cystatin C / D. Schnell, S. Deruddre, A. Harrois et al. *Shock*. 2012. Vol. 38, Iss. 6. P. 592-597. <https://doi.org/10.1097/SHK.0b013e318271a39c>
- [32] Can Renal Resistive Index Predict Acute Kidney Injury After Acute Type A Aortic Dissection Repair? / H. Wu, H. Qin, W. Ma et al. *The Annals of thoracic surgery*. 2017. Vol. 104, Iss. 5. P. 1583-1589. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.03.057>
- [33] Renal resistive index as an early predictor and discriminator of acute kidney injury in critically ill patients; A prospective observational cohort study / J. Haitsma Mulier, S. Rozemeijer, J. G. Röttgering et al. *PLoS one*. 2018. Vol. 13, Iss. 6. e0197967. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197967>

- [34] Renal resistive index by transesophageal and transperietal echodoppler imaging for the prediction of acute kidney injury in patients undergoing major heart surgery / G. Regolisti, U. Maggiore, C. Cademartini et al. *Journal of nephrology*. 2017. Vol. 30, Iss. 2. P. 243-253. <https://doi.org/10.1007/s40620-016-0289-2>
- [35] Doppler renal resistive index for early detection of acute kidney injury after major orthopaedic surgery: a prospective observational study / P. Marty, S. Szatjnic, F. Ferre et al. *European journal of anaesthesiology*. 2015. Vol. 32, Iss. 1. P. 37-43. <https://doi.org/10.1097/EJA.000000000000120>
- [36] Renal Resistive Index and mortality in critical patients with acute kidney injury / M. Boddì, M. Bonizzoli, M. Chiostrì et al. *European journal of clinical investigation*. 2016. Vol. 46, Iss. 3. P. 242-251. <https://doi.org/10.1111/eci.12590>
- [37] Gornik I., Godan A., Gašparović V. Renal resistive index at ICU admission and its change after 24 hours predict acute kidney injury in sepsis. *Crit Care*. 2014. Vol. 18, Suppl. 1. P. 366. <https://doi.org/10.1186/cc13556>
- [38] Performance of Doppler-based resistive index and semi-quantitative renal perfusion in predicting persistent AKI: results of a prospective multicenter study / M. Darmon, A. Bourmaud, M. Reynaud et al. *Intensive care medicine*. 2018. Vol. 44, Iss. 11. P. 1904-1913. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5386-3>
- [39] Doppler-based renal resistive index for prediction of renal dysfunction reversibility: a systematic review and meta-analysis / S. Ninet, D. Schnell, A. Dewitte et al. *Journal of critical care*. 2015. Vol. 30, Iss. 3. P. 629-635. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2015.02.008>
- [40] Schnell D., Darmon M. Renal Doppler to assess renal perfusion in the critically ill: a reappraisal. *Intensive care medicine*. 2012. Vol. 38, Iss. 11. P. 1751-1760. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2692-z>
- [41] Lerolle N. Please don't call me RI anymore; I may not be the one you think I am! *Crit Care*. 2012. Vol. 16, Iss. 6. P. 174. <https://doi.org/10.1186/cc11831>
- [42] Doppler resistive index to reflect regulation of renal vascular tone during sepsis and acute kidney injury / A. Dewitte, J. Coquin, B. Meyssignac et al. *Crit Care*. 2012. Vol. 16, Iss. 5. P. R165. <https://doi.org/10.1186/cc11517>
- [43] Bude R. O., Rubin J. M. Relationship between the resistive index and vascular compliance and resistance. *Radiology*. 1999. Vol. 211, Iss. 2. P. 411-417. <https://doi.org/10.1148/radiology.211.2.r99ma48411>
- [10] Bellomo, R., Ronco, C., Mehta, R. L., Asfar, P., Boisramé-Helms, J., Darmon, M., Diehl, J. L., Duranteau, J., Hoste, E., Olivier, J. B., Legrand, M., Lerolle, N., Malbrain, M., Mårtensson, J., Oudemans-van Straaten, H. M., Parienti, J. J., Payen, D., Perinel, S., Peters, E., Pickkers, P., ... Laterre, P. F. (2017). Acute kidney injury in the ICU: from injury to recovery: reports from the 5th Paris International Conference. *Annals of intensive care*, 7(1), 49. <https://doi.org/10.1186/s13613-017-0260-y>
- [11] Bucuvic, E. M., Ponce, D., & Balbi, A. L. (2011). Risk factors for mortality in acute kidney injury. *Revista da Associação Médica Brasileira* (1992), 57(2), 158-163. <https://doi.org/10.1590/s0104-42302011000200012>
- [12] Uchino, S., Kellum, J. A., Bellomo, R., Doig, G. S., Morimatsu, H., Morgera, S., Schetz, M., Tan, I., Bouman, C., Macedo, E., Gibney, N., Tolwani, A., Ronco, C., & Beginning and Ending Supportive Therapy for the Kidney (BEST Kidney) Investigators (2005). Acute renal failure in critically ill patients: a multinational, multicenter study. *JAMA*, 294(7), 813-818. <https://doi.org/10.1001/jama.294.7.813>
- [13] Gumbert, S. D., Kork, F., Jackson, M. L., Vanga, N., Ghebremichael, S. J., Wang, C. Y., & Eltzschig, H. K. (2020). Perioperative Acute Kidney Injury. *Anesthesiology*, 132(1), 180-204. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002968>
- [14] Maier, H. T., Ashraf, M. I., Denecke, C., Weiss, S., Augustin, F., Messner, F., Vallant, N., Böcklein, M., Margreiter, C., Göbel, G., Pratschke, J., Öfner-Velano, D., & Aigner, F. (2018). Prediction of delayed graft function and long-term graft survival by serum and urinary neutrophil gelatinase-associated lipocalin during the early postoperative phase after kidney transplantation. *PLoS one*, 13(1), e0189932. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189932>
- [15] Cui, L. Y., Zhu, X., Yang, S., Zhou, J. S., Zhang, H. X., Liu, L., & Zhang, J. (2015). Prognostic Value of Levels of Urine Neutrophil Gelatinase-associated Lipocalin and Interleukin-18 in Patients With Delayed Graft Function After Kidney Transplantation. *Transplantation proceedings*, 47(10), 2846-2851. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2015.10.042>
- [16] Yong, Z., Pei, X., Zhu, B., Yuan, H., & Zhao, W. (2017). Predictive value of serum cystatin C for acute kidney injury in adults: a meta-analysis of prospective cohort trials. *Scientific reports*, 7, 41012. <https://doi.org/10.1038/srep41012>
- [17] Bellos, I., Pergialiotis, V., & Kontzoglou, K. (2019). Renal resistive index as predictor of acute kidney injury after major surgery: A systematic review and meta-analysis. *Journal of critical care*, 50, 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2018.11.001>
- [18] Calabria, J., Torguet, P., Garcia, I., Martin, N., Mate, G., Marin, A., Molina, C., & Valles, M. (2014). The relationship between renal resistive index, arterial stiffness, and atherosclerotic burden: the link between macrocirculation and microcirculation. *Journal of clinical hypertension*, 16(3), 186-191. <https://doi.org/10.1111/jch.12248>
- [19] Bellos, I., Perrea, D. N., & Kontzoglou, K. (2019). Renal resistive index as a predictive factor of delayed graft function: A meta-analysis. *Transplantation reviews*, 33(3), 145-153. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.003>
- [20] Schnell, D., Reynaud, M., Venot, M., Le Maho, A. L., Dinic, M., Baulieu, M., Ducos, G., Terreaux, J., Zeni, F., Azoulay, E., Meziani, F., Duranteau, J., & Darmon, M. (2014). Resistive Index or color-Doppler semi-quantitative evaluation of renal perfusion by inexperienced physicians: results of a pilot study. *Minerva anesthesiologica*, 80(12), 1273-1281.
- [21] Barozzi, L., Valentino, M., Santoro, A., Mancini, E., & Pavlica, P. (2007). Renal ultrasonography in critically ill patients. *Critical care medicine*, 35(5 Suppl), S198-S205. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000260631.62219.B9>
- [22] American College of Surgeons. (2021). ACS NSQIP Surgical Risk Calculator. <https://riskcalculator.facs.org/RiskCalculator/>
- [23] MDCalc. (2021). Sequential Organ Failure Assessment (SOFA) Score. <https://www.mdcalc.com/sequential-organ-failure-assessment-sofa-score>
- [24] Khwaja A. (2012). KDIGO clinical practice guidelines for acute kidney injury. *Nephron. Clinical practice*, 120(4), c179-c184. <https://doi.org/10.1159/000339789>
- [25] Bosch, J. P., Saccaggi, A., Lauer, A., Ronco, C., Belledonne, M., & Glabman, S. (1983). Renal functional reserve in humans. Effect of protein intake on glomerular filtration rate. *The American journal of medicine*, 75(6), 943-950. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(83\)90873-2](https://doi.org/10.1016/0002-9343(83)90873-2)
- [26] Ronco, C., & Rosner, M. H. (2012). Acute kidney injury and residual renal function. *Critical care*, 16(4), 144. <https://doi.org/10.1186/cc11426>
- [27] Mehta, R. L., Kellum, J. A., Shah, S. V., Molitoris, B. A., Ronco, C., Warnock, D. G., Levin, A., & Acute Kidney Injury Network (2007). Acute Kidney Injury Network: report of an initiative to improve outcomes in acute kidney injury. *Critical care*, 11(2), R31. <https://doi.org/10.1186/cc5713>
- [28] Lerolle, N., Guérot, E., Faisy, C., Bornstain, C., Diehl, J. L., & Fagon, J. Y. (2006). Renal failure in septic shock: predictive value of Doppler-based renal arterial resistive index. *Intensive care medicine*, 32(10), 1553-1559. <https://doi.org/10.1007/s00134-006-0360-x>

References

- [29] Bossard, G., Bourgoin, P., Corbeau, J. J., Huntzinger, J., & Beydon, L. (2011). Early detection of postoperative acute kidney injury by Doppler renal resistive index in cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *British journal of anaesthesia*, 107(6), 891-898. <https://doi.org/10.1093/bja/aer289>
- [30] Darmon, M., Schortgen, F., Vargas, F., Liazydi, A., Schlemmer, B., Brun-Buisson, C., & Brochard, L. (2011). Diagnostic accuracy of Doppler renal resistive index for reversibility of acute kidney injury in critically ill patients. *Intensive care medicine*, 37(1), 68-76. <https://doi.org/10.1007/s00134-010-2050-y>
- [31] Schnell, D., Deruddre, S., Harrois, A., Pottecher, J., Cosson, C., Adoui, N., Benhamou, D., Vicaut, E., Azoulay, E., & Duran-teau, J. (2012). Renal resistive index better predicts the occurrence of acute kidney injury than cystatin C. *Shock*, 38(6), 592-597. <https://doi.org/10.1097/SHK.0b013e318271a39c>
- [32] Wu, H. B., Qin, H., Ma, W. G., Zhao, H. L., Zheng, J., Li, J. R., & Sun, L. Z. (2017). Can Renal Resistive Index Predict Acute Kidney Injury After Acute Type A Aortic Dissection Repair?. *The Annals of thoracic surgery*, 104(5), 1583-1589. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.03.057>
- [33] Haitisma Mulier, J., Rozemeijer, S., Röttgering, J. G., Spoelstra-de Man, A., Elbers, P., Tuinman, P. R., de Waard, M. C., & Oudemans-van Straaten, H. M. (2018). Renal resistive index as an early predictor and discriminator of acute kidney injury in critically ill patients; A prospective observational cohort study. *PLoS one*, 13(6), e0197967. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197967>
- [34] Regolisti, G., Maggiore, U., Cademartiri, C., Belli, L., Gherli, T., Cabassi, A., Morabito, S., Castellano, G., Gesualdo, L., & Fiaccadori, E. (2017). Renal resistive index by transesophageal and transperietal echo-doppler imaging for the prediction of acute kidney injury in patients undergoing major heart surgery. *Journal of nephrology*, 30(2), 243-253. <https://doi.org/10.1007/s40620-016-0289-2>
- [35] Marty, P., Szałjnic, S., Ferre, F., Conil, J. M., Mayeur, N., Fourcade, O., Silva, S., & Minville, V. (2015). Doppler renal resistive index for early detection of acute kidney injury after major orthopaedic surgery: a prospective observational study. *European journal of anaesthesiology*, 32(1), 37-43. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000000120>
- [36] Boddi, M., Bonizzoli, M., Chiostrì, M., Begliomini, D., Molinaro, A., Tadini Buoninsegni, L., Gensini, G. F., & Peris, A. (2016). Renal Resistive Index and mortality in critical patients with acute kidney injury. *European journal of clinical investigation*, 46(3), 242-251. <https://doi.org/10.1111/eci.12590>
- [37] Gornik, I., Godan, A., & Gašparović, V. (2014). Renal resistive index at ICU admission and its change after 24 hours predict acute kidney injury in sepsis. *Critical Care*, 18(Suppl 1), P366. <https://doi.org/10.1186/cc13556>
- [38] Darmon, M., Bourmaud, A., Reynaud, M., Rouleau, S., Meziani, F., Boivin, A., Benyamina, M., Vincent, F., Lautrette, A., Leroy, C., Cohen, Y., Legrand, M., Morel, J., Terreaux, J., & Schnell, D. (2018). Performance of Doppler-based resistive index and semi-quantitative renal perfusion in predicting persistent AKI: results of a prospective multicenter study. *Intensive care medicine*, 44(11), 1904-1913. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5386-3>
- [39] Ninet, S., Schnell, D., Dewitte, A., Zeni, F., Meziani, F., & Darmon, M. (2015). Doppler-based renal resistive index for prediction of renal dysfunction reversibility: A systematic review and meta-analysis. *Journal of critical care*, 30(3), 629-635. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2015.02.008>
- [40] Schnell, D., & Darmon, M. (2012). Renal Doppler to assess renal perfusion in the critically ill: a reappraisal. *Intensive care medicine*, 38(11), 1751-1760. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2692-z>
- [41] Lerolle N. (2012). Please don't call me RI anymore; I may not be the one you think I am!. *Critical care*, 16(6), 174. <https://doi.org/10.1186/cc11831>
- [42] Dewitte, A., Coquin, J., Meyssignac, B., Joannès-Boyau, O., Fleureau, C., Roze, H., Ripoche, J., Janvier, G., Combe, C., & Ouattara, A. (2012). Doppler resistive index to reflect regulation of renal vascular tone during sepsis and acute kidney injury. *Critical care*, 16(5), R165. <https://doi.org/10.1186/cc11517>
- [43] Bude, R. O., & Rubin, J. M. (1999). Relationship between the resistive index and vascular compliance and resistance. *Radiology*, 211(2), 411-417. <https://doi.org/10.1148/radiology.211.2.r99ma48411>