

DOI:10.23873/2074-0506-2019-11-2-116-127

Мониторинг артериального давления при трансплантации печени: способ измерения имеет значение

М.Л. Катин*, А.М. Дзядзько, М.Ю. Гурова, О.О. Руммо
ГУ «МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии»,
220045, Республика Беларусь, Минск, ул. Семашко, д. 8

* Контактная информация: Максим Леонидович Катин, заведующий отделением анестезиологии и реанимации
№ 2 МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии, e-mail: katinml@gmail.com

Дата поступления статьи: 26.02.2019

Принята в печать: 12.03.2019

Введение. Точное измерение инвазивного артериального давления (АД) во время ортотопической трансплантации печени (ОТП) является основой эффективной коррекции возникающих нарушений гемодинамики и перфузии.

Материал и методы. В исследование проспективно включены 39 пациентов. Мы сравнили показатели АД, измеренного в бедренной и лучевой артериях, в течение различных фаз ОТП.

Результаты. Центральное систолическое и среднее АД, измеренные инвазивным способом в бедренной артерии, были статистически значимо выше, чем аналогичные показатели, измеренные в периферической артерии во время агепатической фазы ($95,1 \pm 10,6$ против $84,5 \pm 9,9$ мм рт.ст. и $66 \pm 8,8$ против $59,7 \pm 7,1$ мм рт.ст. соответственно), через 5 ($91,1 \pm 17,3$ против $78,5 \pm 18,4$ мм рт.ст. и $63,9 \pm 13,1$ против $57,7 \pm 13,6$ мм рт.ст. соответственно) и 15 мин ($102,2 \pm 16,8$ против $88,1 \pm 14,4$ мм рт.ст. и $67,7 \pm 10,7$ против $62,5 \pm 10,4$ мм рт.ст. соответственно) после реперфузии. Нами была найдена сильная корреляция между разницей центрального и периферического АД и дозой норадреналина в течение агепатической фазы ($r=0,76$ и $r=0,77$ для систолического и среднего АД соответственно) и через 5 мин после реперфузии ($r=0,71$ и $r=0,52$ для систолического и среднего АД соответственно). В то же время разница центрального и периферического АД через 15 мин после реперфузии в большей степени зависела от изменения концентрации в крови калия ($r=0,55$ для систолического и среднего АД) и дефицита оснований ($r=0,73$ и $r=0,82$ для систолического и среднего АД соответственно).

Заключение. Доказано, что артериальное давление в бедренной артерии, измеренное инвазивным способом («инвазивное» артериальное давление) является более точным показателем по сравнению с данными при его измерении в лучевой артерии, в меньшей степени подверженным воздействию высоких доз вазопрессоров и колебаниям кислотно-основного состояния при ортотопической трансплантации печени.

Ключевые слова: артериальное давление, ортотопическая трансплантация печени

Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Финансирование Исследование проводилось без спонсорской поддержки

Катин М.Л., Дзядзько А.М., Гурова М.Ю., Руммо О.О. Мониторинг артериального давления при трансплантации печени: способ измерения имеет значение. Трансплантология. 2019;11(2):116–127. DOI:10.23873/2074-0506-2019-11-2-116-127

Blood pressure monitoring during liver transplantation: the method of measurement does matter

M.L. Katin*, A.M. Dzyadz'ko, M.Yu. Gurova, O.O. Rummo

Minsk Scientific and Practical Center of Surgery, Transplantation and Hematology,
8 Semashko St., Minsk, 220045, Republic of Belarus

* Correspondence to: Maksim L. Katin, Head of Anesthesiology and Intensive Care Unit № 2 at the Minsk Scientific and Practical Center of Surgery, Transplantation and Hematology, e-mail: katinml@gmail.com

Received: February 26, 2019

Accepted for publication: March 12, 2019

Introduction. Accurate blood pressure (BP) measurements are the mainstay for the efficient management of abrupt changes of hemodynamics and perfusion during orthotopic liver transplantation (OLT).

Material and methods. The prospective study included 39 patients. We compared the BP values measured in the femoral and radial arteries during the different phases of the OLT.

Results. The central systolic arterial pressure (SAP) and mean arterial pressure (MAP) measured invasive in the femoral artery were significantly higher than those measured in the peripheral artery during the anhepatic phase (95.1 ± 10.6 vs. 84.5 ± 9.9 mm Hg, and 66 ± 8.8 vs. 59.7 ± 7.1 mm Hg, respectively), after 5 minutes of reperfusion (91.1 ± 17.3 vs. 78.5 ± 18.4 mm Hg, and 63.9 ± 13.1 vs. 57.7 ± 13.6 mm Hg, respectively), and after 15 minutes of reperfusion (102.2 ± 16.8 vs. 88.1 ± 14.4 mm Hg, and 67.7 ± 10.7 vs. 62.5 ± 10.4 mm Hg, respectively). We found a strong correlation between the differences of SAP and MAP and the dose of norepinephrine administered during the anhepatic phase ($r=0.76$ and $r=0.77$ for SAP and MAP, respectively), and after 5 minutes of reperfusion ($r=0.71$ and $r=0.52$ for SAP and MAP, respectively). The difference between central and peripheral BPs after 15 minutes of reperfusion mainly depended on the changes in the potassium concentration ($r=0.55$ for SAP and MAP) and base deficiency ($r=0.73$ and $r=0.82$ for SAP and MAP, respectively).

Conclusion. Thus, it was proved that the invasive measurement of BP in the femoral artery is a more accurate method compared with that in the radial artery as it is less exposed to high doses of vasopressors and variations in the acid-base state during OLT.

Keywords: blood pressure, orthotopic liver transplantation

CONFLICT OF INTERESTS Authors declare no conflict of interest

FINANCING The study was performed without external funding

Katin M.L., Dzyadz'ko A.M., Gurova M.Yu., Rummo O.O. Blood pressure monitoring during liver transplantation: the method of measurement does matter. *Transplantologiya. The Russian Journal of Transplantation*. 2019;11(2):116–127. (In Russian). DOI:10.23873/2074-0506-2019-11-2-116-127

АД – артериальное давление
АД_{диаст.} – диастолическое артериальное давление
АД_{сист.} – систолическое артериальное давление
АД_{сред.} – среднее артериальное давление
НПВ – нижняя полая вена
ОТП – ортотопическая трансплантация печени

BE – дефицит оснований
EtCO₂ – концентрация CO₂ в конце выдоха
MELD – Model for End-stage Liver Disease
SD – стандартное отклонение
SpO₂ – периферическая кислородная сатурация

Введение

Инвазивный мониторинг артериального давления (АД) является стандартом анестезиологического обеспечения ортотопической трансплантации печени (ОТП). Количество и места установки артериальных линий варьируют от центра к центру [1]. Наиболее частым местом доступа для мониторинга АД по причине простоты установки и низкой частоты осложнений является лучевая артерия [2]. Множество клинических решений в повседневной практике базируется на измерении

величины АД, в особенности в течение больших хирургических вмешательств, таких как ОТП. Систолическое артериальное давление (АД_{сист.}), измеренное в лучевой артерии, обычно несколько выше, чем в аорте, в то время как среднее артериальное давление (АД_{сред.}) остается постоянным на любом уровне артериального сосудистого дерева [3]. Обратное соотношение центрального и периферического давления наблюдается после искусственного кровообращения [4, 5] и в других клинических ситуациях, включая сепсис и инфузию вазопрессоров [6]. Сведения о подоб-

ных изменениях в соотношении показателей центрального и периферического давления во время ОТП уже публиковались ранее [7], но они не были подтверждены для рестриктивной тактики периперационной инфузионной терапии при волемиической поддержке в ходе операции.

Цель исследования

Целью данного исследования была сравнительная оценка показателей «инвазивного» АД, измеренных в лучевой и бедренной артериях при использовании рестриктивного периперационного инфузионного протокола у реципиентов печени, а также оценка влияния различных гемодинамических и метаболических факторов на точность измерения «инвазивного» АД во время ОТП.

Материал и методы

После получения одобрения локальным этическим комитетом и подписания информированного согласия в проспективное наблюдательное исследование влияния рестриктивной периперационной инфузионной терапии на гемодинамику пациентов во время ОТП были последовательно включены 39 пациентов с циррозом печени в конечной стадии (табл. 1).

Табл. 1. Характеристика пациентов
Table 1. Patient characteristics

Общее количество	39
Возраст, лет	50 (10)
Пол, м:ж	20:19
Индекс массы тела, кг/м ²	24 (4.2)
Child–Pugh A, %	12
Child–Pugh B, %	60
Child–Pugh C, %	28
MELD	16 (3,5)
Асцит, %	59
Гепаторенальный синдром, %	26

Примечание:
MELD – оценка тяжести состояния пациентов с циррозом печени по шкале MELD (Model for End-stage Liver Disease, 2016)

Характеристики пациентов показаны в табл. 1. Причиной цирроза печени являлись: вирусные гепатиты – 62% пациентов, первичный билиарный цирроз – 10%, неалкогольный стеатогепатит – 5%, болезнь Вильсона – 5%, криптогенный цирроз печени и другие – 18%. Из всех пациен-

тов тяжесть цирроза печени по Child–Pugh A была оценена в 12% случаев, B – в 60% и C – в 28% случаев. Среднее значение MELD пациентов составило 16 баллов. Гепаторенальный синдром до операции наблюдался у 26%, асцит – у 59% реципиентов.

Трансплантацию печени выполняли с использованием «классической» техники с полным пережатием полой вены [8] на этапе сосудистых анастомозов без использования веновенозного обхода. Стандартный мониторинг включал электрокардиографию, пульсоксиметрию, капнометрию и неинвазивное измерение АД. Для индукции в анестезию использовали следующие агенты: фентанил 2 мкг×кг⁻¹, пропофол 2 мг×кг⁻¹ и рокуроний 0,6 мг×кг⁻¹. После оротрахеальной интубации проводили вентиляцию легких пациентов с поддержанием SpO₂ и EtCO₂ в пределах нормальных значений. Анестезию поддерживали фентанилом 1–2 мкг×кг⁻¹×ч⁻¹, атракурием 0,3–0,6 мкг×кг⁻¹×ч⁻¹ и ингаляционной анестезией севофлораном 0,7–1 об.%. Контроль глубины анестезии обеспечивался мониторингом биспектрального индекса.

После индукции в анестезию производили катетеризацию лучевой артерии справа катетером 20G длиной 8 см (Vygon arterial leadercath 115.090, Vygon, France). Катетер соединяли заполненной физиологическим раствором ригидной линией длиной 150 см, подключенной к идентичной трансдюсерной системе (TrueWave™ T100209A, Edwards Lifesciences LLC, USA), которую устанавливали на уровне средней подмышечной линии пациента. Также всем пациентам проводили катетеризацию бедренной артерии слева катетером 5F длиной 20 см (PiCCO Catheter PV2015L20N, Pulsion Medical Systems SE, Germany). Катетер соединялся с заполненной физиологическим раствором ригидной линией длиной 100 см, подключенной к идентичной трансдюсерной системе (PiCCO Monitoring Kit PV8215CVP, Pulsion Medical Systems SE, Germany), которую располагали на уровне средней подмышечной линии пациента. Системы обнулялись по уровню атмосферного давления до начала операции. Кривые АД отображались на мониторе пациента (IntelliVue MP70, Phillips Healthcare, Netherlands) с записью систолического (АД_{сисст.}), среднего (АД_{сред.}) и диастолического (АД_{диаст.}) АД из лучевой и бедренной артерии. Анализ полученных данных и их фиксацию проводили в конце анестезии. Бедренный артериальный катетер подключали к системе измере-

ния центральной гемодинамики (PiCCO2, Pulsion Medical Systems SE, Germany) для постоянного измерения сердечного индекса и производных параметров: глобального конечно-диастолического индекса, вариабельности ударного объема и индекса системного сосудистого сопротивления. Температуру тела измеряли термистором бедренного катетера.

Данные «инвазивного» АД регистрировали:

- в начале операции (непосредственно до разреза кожи);
- в преагепатическую фазу (90 мин после разреза кожи);
- в агепатическую фазу (10 мин после наложения зажимов на нижнюю полую вену – НПВ);
- в фазу реперфузии (на 5-й и 15-й мин после снятия зажимов с НПВ);
- в неогепатическую фазу (90 мин после реперфузии).

Регистрировали наименьшие АД_{сист.}, АД_{сред.} и АД_{диаст.}, полученные из лучевой и бедренной артерии в указанные временные промежутки до проведения измерения сердечного выброса, так как быстрые изменения температуры в процессе калибровки монитора PiCCO2 могли оказывать влияние на величину АД.

Периоперационную инфузионную терапию, вазопрессорную и кардиотоническую поддержку проводили на основании алгоритма рестриктивной инфузионной терапии периоперационного периода. Скорость базовой инфузии поддерживалась на уровне 2 мл×кг⁻¹×мин⁻¹. Болюсы коллоида (растворы 4% гелофузина, 5% альбумина или свежезамороженной плазмы в зависимости от клинической ситуации) назначались при выявлении дефицита преднагрузки (вариабельность ударного объема не менее 13%, индекс глобального конечно-диастолического объема не более 500 мл/м²). Вазопрессорную поддержку назначали со старта оперативного вмешательства. Дозу подбирали для поддержания АД_{сред.} более 65 мм рт.ст.

Статистический анализ проводили при помощи программы “Statistica 10”. Клинически значимая разница АД была определена как разница более 10 мм рт.ст. для АД_{сист.} и 5 мм рт.ст. для АД_{сред.} и АД_{диаст.} Для оценки статистической разницы измерения инвазивного АД в лучевой и бедренной артерии были проведены Bland–Altman анализ и t-критерий для зависимых выборок [9]. Линейная регрессия была использована для определения взаимосвязи между гемодинамическими и метаболическими (доза норадреналина, концен-

трация в крови калия и дефицит оснований – ВЕ) переменными и величиной разницы АД в различные временные интервалы. Независимые переменные включали возраст, индекс массы тела, тяжесть цирроза печени по шкале Child–Pugh [10] и дозу норадреналина. Зависимые переменные включали разницу АД_{сист.} и АД_{сред.} в различные фазы ОТП. Данные представлены как средние величины (стандартное отклонение – SD).

Результаты

Всего было получено 468 измерений АД у 39 пациентов, включенных в исследование. Данные о АД_{сист.} и АД_{сред.}, полученные из лучевой и бедренной артерии на различных этапах операции, представлены в табл. 2.

Табл. 2. Артериальное давление по этапам ортотопической трансплантации печени

Table 2. Blood pressure at the orthotopic liver transplantation phases

Фаза операции	АД _{сист.} , мм рт.ст.		АД _{сред.} , мм рт.ст.	
	Лучевая артерия	Бедренная артерия	Лучевая артерия	Бедренная артерия
Начало операции	108,1 (12,9)	107,6 (11,4)	78,4 (10,3)	78 (11,3)
Преагепатическая	102,9 (9,1)*	104,7 (8,4)	75,6 (8,1)	76,4 (8,5)
Агепатическая	84,5 (9,9)**	95,1 (10,6)	59,7 (7,1)**	66 (8,8)
Реперфузия 1	78,5 (18,3)**	91,1 (17,3)	57,7 (13,6)**	63,9 (13,1)
Реперфузия 2	88,1 (14,4)**	102,2 (16,8)	62,5 (10,4)**	67,7 (10,7)
Неогепатическая	99,5 (9,6)**	109,4 (9,3)	69,3 (18,5)*	71,9 (15,6)

* – статистически значимая разница между давлением в лучевой и бедренной артериях, p<0,05

** – статистически значимая разница между давлением в лучевой и бедренной артериях, p<0,01

В начале операции АД_{сист.} и АД_{сред.} в лучевой и бедренной артериях статистически значимо не различались. В течение преагепатического периода была выявлена статистически значимая разница между АД_{сист.} в лучевой и бедренной артериях (102,9±9,1 мм рт.ст. против 104,7±8,4 мм рт.ст., p=0,04), которая не имела клинического значения. Во время агепатического периода центральные АД_{сист.} и АД_{сред.} были статистически значимо выше, чем аналогичные показатели, измеренные в периферической артерии (95,1±10,6 против 84,5±9,9 мм рт.ст.; p=0,005 для АД_{сист.} и 66±8,8

против $59,7 \pm 7,1$ мм рт.ст.; $p=0,007$ для $AD_{\text{сред.}}$). Подобная закономерность наблюдалась через 5 ($91,1 \pm 17,6$ против $78,5 \pm 18,3$ мм рт.ст.; $p=0,006$ для $AD_{\text{сист.}}$ и $63,9 \pm 13,1$ против $57,7 \pm 13,6$ мм рт.ст.; $p=0,009$ для $AD_{\text{сред.}}$) и 15 мин после реперфузии ($102,2 \pm 16,8$ против $88,1 \pm 14,4$ мм рт.ст.; $p=0,005$ для $AD_{\text{сист.}}$ и $67,7 \pm 10,7$ против $62,5 \pm 10,4$ мм рт.ст.; $p=0,007$ для $AD_{\text{сред.}}$). В течение неогепатического периода была выявлена статистически значимая разница между $AD_{\text{сист.}}$ и $AD_{\text{сред.}}$, измеренными в лучевой и бедренной артериях ($99,5,5 \pm 9,6$ против $109,4 \pm 9,3$ мм рт.ст.; $p=0,003$ для $AD_{\text{сист.}}$ и $69,3 \pm 18,5$ против $71,9 \pm 15,6$ мм рт.ст.; $p=0,04$ для $AD_{\text{сред.}}$), однако клиническое значение имело только первое расхождение. Графики Bland-Altman для агепатического периода и 15-й мин реперфузии представлены на рис. 1 и 2.

Во время агепатического периода отмечалось снижение как центрального, так и периферического $AD_{\text{сист.}}$ и $AD_{\text{сред.}}$. Однако степень снижения периферического $AD_{\text{сист.}}$ ($18,4 \pm 10,9$ мм рт.ст.) между преагепатическим и агепатическим периодами была статистически значимо выше, чем центрального $AD_{\text{сист.}}$ ($9,64 \pm 10,1$ мм рт.ст.; $p=0,008$). Такая закономерность наблюдалась и в отношении степени снижения периферического и центрального $AD_{\text{сред.}}$ ($13 \pm 9,5$ мм рт.ст. против $7,2 \pm 8,9$ мм рт.ст.; $p=0,009$) (табл. 3).

Все пациенты в течение ОТП потребовали инфузии различных доз норадреналина. При проведении корреляционного анализа была выявлена сильная корреляция между центральным и периферическим систолическим ($\Delta AD_{\text{сист.}}$) и средним давлением ($\Delta AD_{\text{сред.}}$) и дозой норадреналина во время агепатического периода ($r=0,76$; $p=0,00000$ и $r=0,77$; $p=0,00000$ соответственно), а также на 5-й мин периода реперфузии ($r=0,71$; $p=0,00000$ и $r=0,52$; $p=0,0006$ соответственно) (рис. 3 и 4).

Корреляция между $\Delta AD_{\text{сист.}}$ и $\Delta AD_{\text{сред.}}$ и дозой норадреналина на 15-й мин периода реперфузии была не столь убедительна ($r=0,21$; $p=0,2084$ и $r=0,27$; $p=0,0935$ соответственно), что побудило нас к поиску других причинных факторов для этого явления. Мы предположили, что изменения в регуляции сосудистого тонуса периферических артерий после реперфузии связаны с поступлением в кровотоки избыточного количества продуктов анаэробного метаболизма. В табл. 4 показана динамика изменения концентрации в крови калия (K^+) и ВЕ.

Во время реперфузионного периода отмечали статистически значимое увеличение в крови кон-

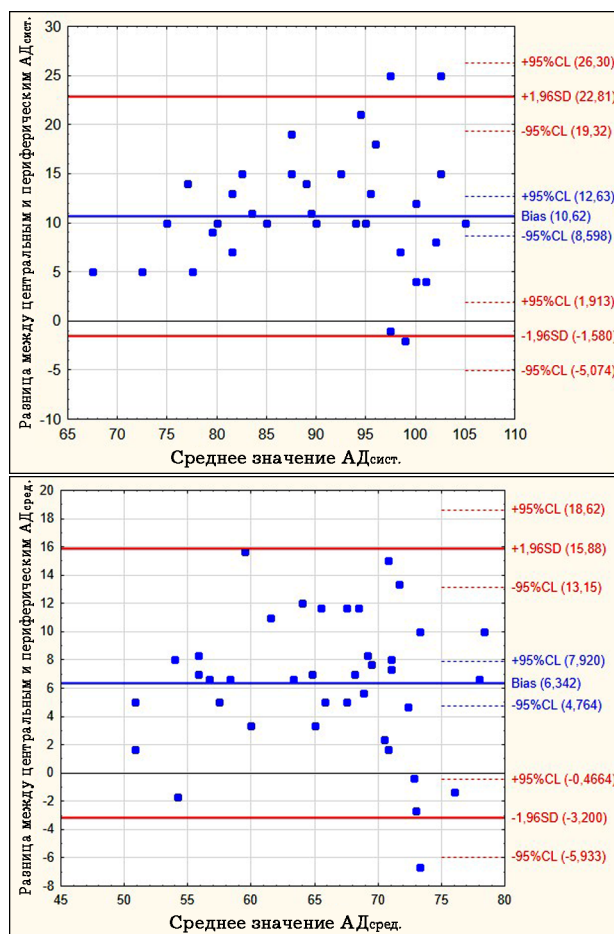


Рис. 1. Разница между систолическим и средним артериальным давлением, измеренными в бедренной и лучевой артериях, в агепатическую фазу ортотопической трансплантации печени. Горизонтальные линии отражают среднее значение разницы и диапазона $1,96 \times SD$
 Fig. 1. The difference between the SAP and MAP measured in the femoral and radial arteries in the anhepatic phase of orthotopic liver transplantation. Horizontal lines show the mean bias and the upper and lower limits of agreement $1.96 \times SD$

центрации ионов калия и дальнейшее снижение величины ВЕ по сравнению с аналогичными показателями агепатического периода. Статистически значимое снижение ВЕ в крови во время агепатического периода по сравнению с данными в преагепатическом периоде не оказывало влияния на разницу между центральным и периферическим $AD_{\text{сист.}}$ и $AD_{\text{сред.}}$.

При проведении корреляционного анализа была выявлена сильная корреляция между $\Delta AD_{\text{сист.}}$, концентрацией в крови калия ($r=0,55$; $p=0,0003$ и $r=0,55$; $p=0,0002$, соответственно $AD_{\text{сист.}}$ и $AD_{\text{сред.}}$) и ВЕ в крови ($r=0,73$; $p=0,0000$ и

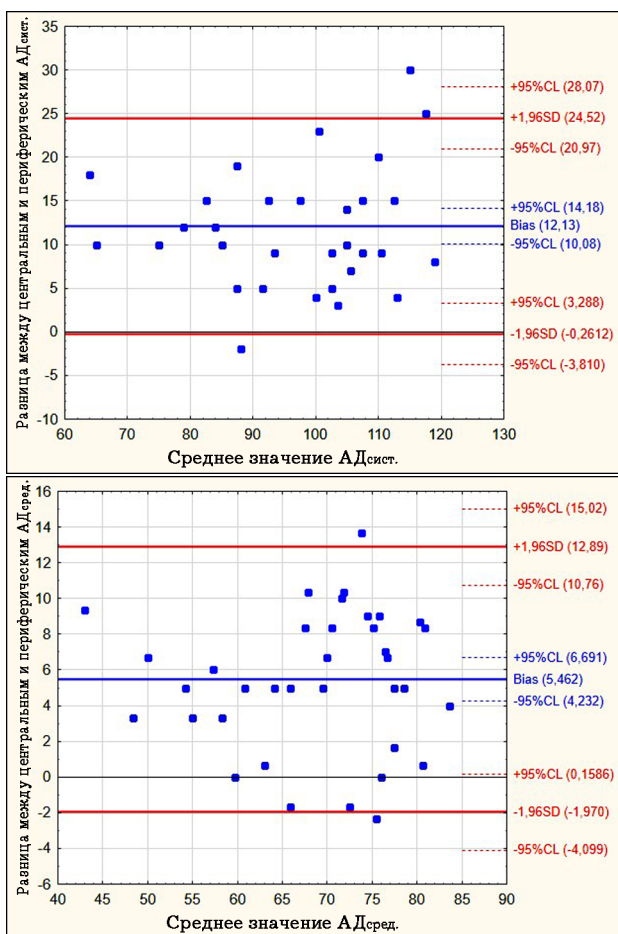


Рис. 2. Разница между систолическим и средним артериальным давлением, измеренными в бедренной и лучевой артериях, через 15 мин после реперфузии. Горизонтальные линии отражают среднее значение разницы и диапазона $1,96 \times SD$

Fig. 2. The difference between the SAP and MAP measured in the femoral and radial arteries after 15 minutes of reperfusion. Horizontal lines show the mean bias and the upper and lower limits of agreement $1.96 \times SD$

$r=0,82$; $p=0,0000$, соответственно АДсист. и АДсред.) на 15-й мин периода реперфузии (рис. 5 и 6).

Обсуждение

Это наблюдательное исследование позволило получить несколько результатов. Во-первых, получена статистически и клинически значимая разница между значениями АДсист. и АДсред., измеренными в лучевой и бедренной артериях в течение агепатического периода, а также через 5 и 15 мин после реперфузии. Во-вторых, выявлена очевидная связь между величинами центрального и периферического АДсист. и АДсред., изме-

Табл. 3. Динамика артериального давления во время трансплантации печени

Table 3. Arterial pressure changes during the liver transplantation surgery

Фаза операции	АДсист.		АДсред.	
	Лучевая артерия	Бедренная артерия	Лучевая артерия	Бедренная артерия
Преагепатическая	102,9 (9,14)	104,7 (8,4)	75,6 (8,1)	76,4 (8,5)
Агепатическая	84,5 (9,9)**	95,1 (10,6)	59,7 (7,1)**	66 (8,8)
Разница	18,4 (10,9)**	9,64 (10,1)	13 (9,5)**	7,2 (8,9)

* – статистически значимая разница между давлением в лучевой и бедренной артериях, $p < 0,05$

** – статистически значимая разница между давлением в лучевой и бедренной артериях, $p < 0,01$

ренными в течение агепатического периода и на 5-й мин периода реперфузии, и дозой введенного норадреналина. В-третьих, продемонстрирована прочная ассоциация между концентрацией в крови калия, избытком оснований и величинами центрального и периферического АДсист. и АДсред. через 15 мин после реперфузии.

Статистический анализ (t-критерий для зависимых выборок) продемонстрировал статистически значимую разницу между центральным и периферическим АДсист., равную 10,6 мм рт.ст., и АДсред., равную 6,3 мм рт.ст., в течение агепатического периода (табл. 2). Данные отличия были проверены при помощи анализа Bland-Altman (специальный инструмент для сравнения результатов двух измерений, ни одно из которых не является абсолютно надежным), также показывало статистически значимую разницу между центральным и периферическим АДсист., равную 10,6 мм рт.ст., и АДсред., равную 6,3 мм рт.ст. (рис. 1 и 2). Мы интерпретировали эти результаты как доказательство того, что точность измерения как систолического, так и среднего АД в течение агепатического периода ОТП зависит от локализации катетера для мониторинга. В нормальных условиях у относительно компенсированных пациентов систолическое АД в лучевой артерии выше в сравнении с его значениями в бедренной и прочими центральными артериями. Эта разница объясняется увеличением амплитуды пульсовой волны в результате наличия более высокого сопротивления и гармонического резонанса в сосудах мышечного типа. Вместе с тем, значения среднего АД в центральных и периферических артериях практически не отличаются [6, 11] Специфические обстоятельства могут вызывать

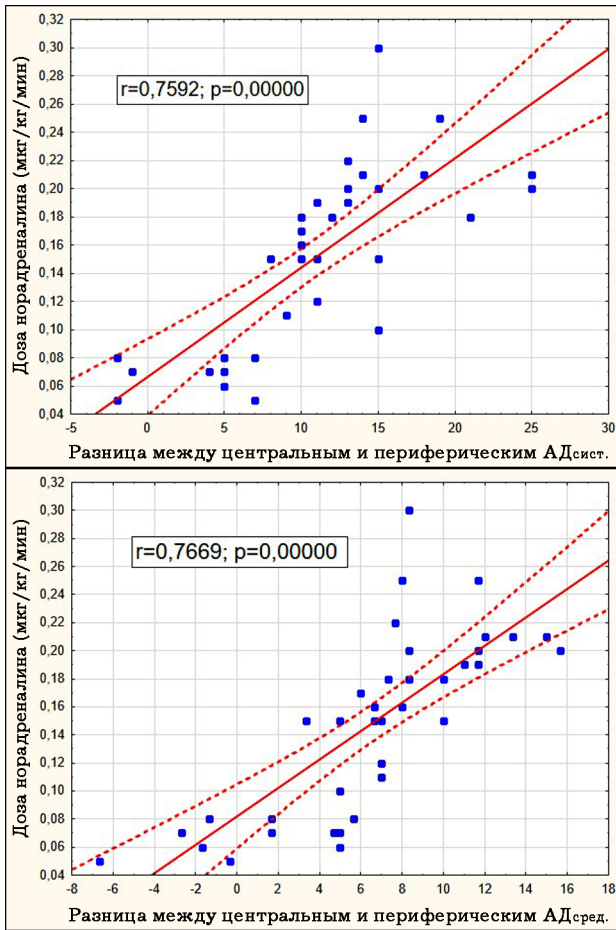


Рис. 3. Корреляция между $\Delta AD_{сис.т.}$, $\Delta AD_{сред.}$ и дозой норадреналина, введенного во время агепатического периода

Fig. 3. The correlation between ΔSAP , ΔMAP , and the norepinephrine dose administered during the anhepatic phase

значительные расхождения между средним давлением в лучевой артерии и центральным средним АД. При инвазивном измерении АД через катетер в лучевой артерии такие факторы, как наличие проксимального обструктивного сосудистого повреждения, согревание после гипотермического искусственного кровообращения [4, 5, 12], высокие дозы вазопрессоров [6, 13, 14], глубокая гипотермия [12], сердечно-легочная реанимация [15] и анестезия изофлюраном [5] приводят к недооценке уровня центрального АД. Причина этого расхождения при обструктивном сосудистом поражении очевидна, однако существуют определенные противоречия в определении этиологии этого явления при искусственном кровообращении и вазопрессорной терапии. Существует теория, представляющая, что артерии мышечного

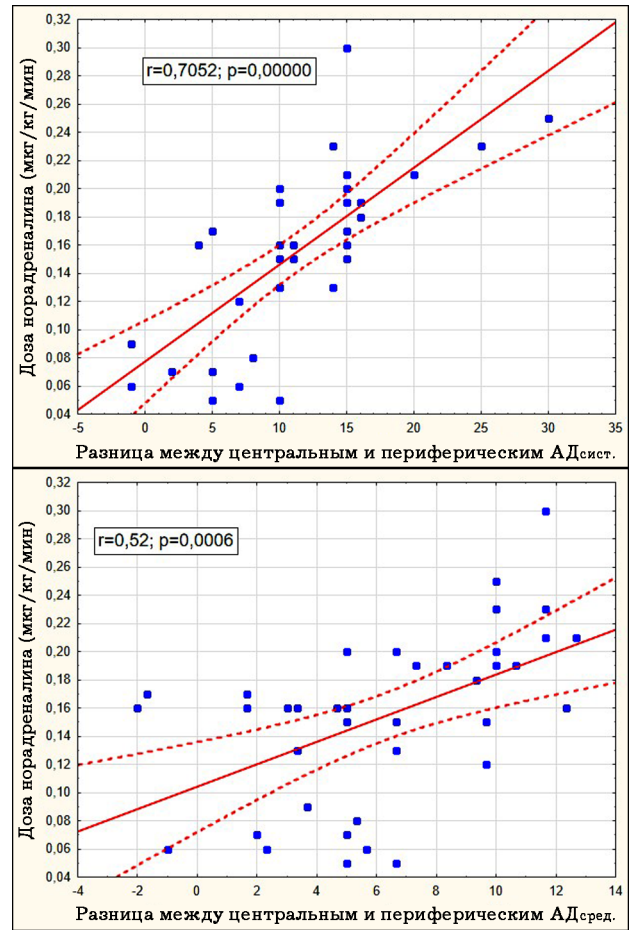


Рис. 4. Корреляция между $\Delta AD_{сис.т.}$, $\Delta AD_{сред.}$ и дозой введенного норадреналина через 5 мин после реперфузии

Fig. 4. The correlation between ΔSAP , ΔMAP , and the dose of norepinephrine administered after 5 min of reperfusion

Табл. 4. Динамика концентрации в крови ионов калия и избытка оснований в течение трансплантации печени

Table 4. Changes in the blood concentration of potassium ions and base excess during the liver transplantation surgery

	Преагепатическая фаза	Агепатическая фаза	Реперфузия 2 (15 мин)
K ⁺ , ммоль/л	3,9	4,1	5,3**
BE, ммоль/л	-0,9	-3,4*	-7,9**

* – статистически значимая разница между значениями показателя ($p < 0,01$) в преагепатическом и агепатическом периодах
 ** – статистически значимая разница между значениями показателя ($p < 0,01$) в агепатическом и реперфузионном периодах

типа в сравнении с центральными эластическими артериальными сосудами обладают большей чувствительностью к прессорному влиянию [16]. Этот механизм приводит к значительному снижению потока крови в лучевой артерии при воздей-

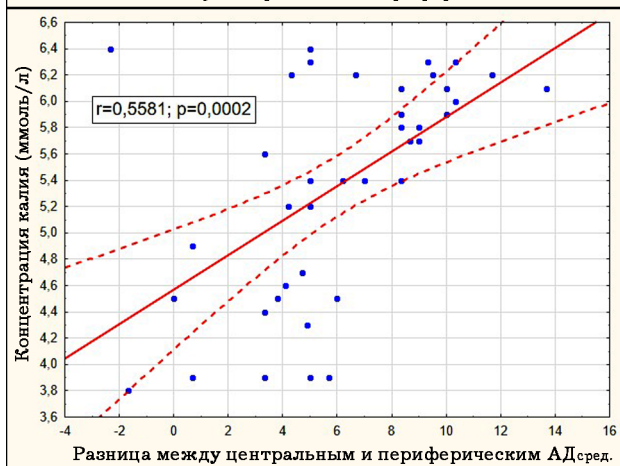
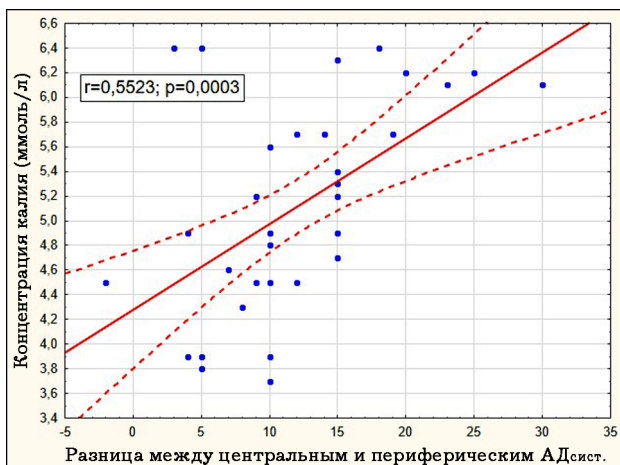


Рис. 5. Корреляция между центральным и периферическим АДсисст., АДсред. и концентрацией в крови калия через 15 мин после реперфузии

Fig. 5. Correlation between central and peripheral SAP, MAP, and blood potassium concentration after 15 minutes of reperfusion

ствии вазопрессоров [5]. Различия в агепатический период, наблюдаемые нами также, очевидно обусловлены титрованием высоких доз вазопрессоров для поддержания адекватного уровня перфузии в условиях снижения венозного возврата после пережатия НПВ. Исследования, в которых изучался этот феномен у реципиентов печени, демонстрируют противоречивые результаты. Acosta et al. [7] не отмечали различия при центральном или периферическом измерении АДсред. на любом из этапов ОТП, в то время как Arnal et al. [17] наблюдали разницу лишь в АДсисст., но не в АДсред. в течение реперфузии. Исследование, рассматривающее ОТП у детей, напротив, показало значительную разницу как в АДсисст., так и в АДсред. при сравнении результатов измерений в бедренной и лучевой артериях у большинства

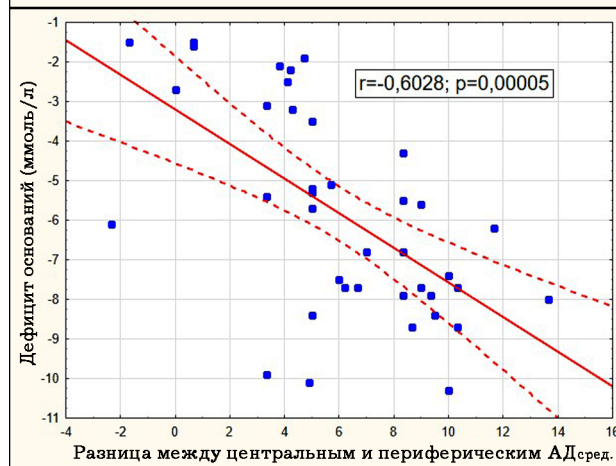
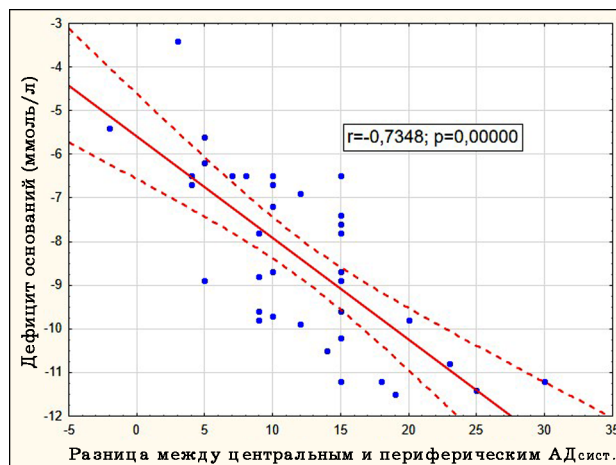


Рис. 6. Корреляция между центральным и периферическим АДсисст., АДсред. и дефицитом оснований через 15 мин после реперфузии

Fig. 6. Correlation between central and peripheral SAP, MAP, and base excess after 15 min of reperfusion

пациентов [18]. Интересным является исследование, показавшее лучшую корреляцию неинвазивного измерения АД на верхней конечности с инвазивным АД, измеренным в бедренной артерии, по сравнению с его величиной в лучевой артерии через 3–10 мин после реперфузии. Предположительно такая корреляция связана с более проксимальным расположением манжеты для неинвазивного измерения АД [19].

Мы считаем, что такое выраженное расхождение результатов обусловлено, во-первых, различными подходами к инфузионной терапии в каждом из центров, осуществляющих ОТП, а во-вторых, анализом различий в инвазивном измерении АД изолированно, без учета влияния других факторов, таких как доза вазопрессоров,

состояние периферического сосудистого сопротивления, преднагрузки и пр.

Результаты, полученные при анализе корреляции центрального и периферического АД с дозой вазопрессоров, показывают, что наибольшая взаимосвязь ($r=0,76$, $p=0,00000$ для АД_{сист.} и $r=0,77$; $p=0,00000$ для АД_{сред.}) наблюдалась в течение агепатического периода (рис. 3). Анализ корреляции через 5 мин после реперфузии (рис. 4) продемонстрировал умеренной силы зависимость АД_{сист.} ($r=0,71$; $p=0,00000$) и АД_{сред.} ($r=0,52$; $p=0,0006$) от скорости титрования введенного норадреналина. При сравнении же зависимости центрального и периферического АД от дозы норадреналина через 15 мин после реперфузии (рис. 5) была выявлена очень слабая корреляция ($r=0,21$; $p=0,2084$ для АД_{сист.} и $r=0,27$; $p=0,0935$ для АД_{сред.}).

Наши наблюдения демонстрируют более низкие значения систолического и среднего АД, измеренного в лучевой артерии, в сравнении с результатами аналогичных измерений в бедренной артерии (табл. 2) в реперфузионном периоде ОТП. Причины выявленного центрально-периферического декремента в ранний постреперфузионный период (через 5 мин после реперфузии) достаточно ясны и зависят в первую очередь от значительного снижения преднагрузки для правого желудочка, обусловленного уменьшением объема циркулирующей крови в результате заполнения трансплантата кровью и связанного с этим увеличения дозы вазопрессоров. В то же время нами не наблюдалась выраженная корреляционная зависимость величин центрального и периферического АД от дозы норадреналина на 15-й мин реперфузии. Причины этого становятся более понятными после анализа взаимосвязи нарушений периферического сосудистого тонуса с патофизиологическими изменениями, происходящими в организме реципиента при восстановлении кровотока в печеночном трансплантате. В результате реперфузии в системный кровоток выделяются значительные количества продуктов анаэробного метаболизма и ионов калия. Данные изменения приводят к нарушению ауторегуляции сосудистого тонуса, вызывая выраженное снижение общего периферического сопротивления сосудов. В основе этого явления лежат механизмы, аналогичные согреванию после гипотермического искусственного кровообращения. Существует теория об экстремальной вазоплегии, приводящей к проксимальному шунтированию и дистальной вазоконстрикции сосудов артериального русла,

что и является причиной низкого периферического давления [20]. Результаты, полученные при анализе корреляции центрального и периферического АД с концентрацией в крови калия через 15 мин после реперфузии, показали умеренной силы зависимость центрально-периферического декремента АД_{сист.} ($r=0,55$; $p=0,0003$) и АД_{сред.} ($r=0,55$; $p=0,0002$) от концентрации этого иона. В то время как результаты анализа корреляции между систолическим и средним АД, измеренными в центральной и периферической артериях, и уровнем в крови ВЕ показали сильную зависимость центрально-периферического декремента АД_{сист.} ($r=0,73$; $p=0,0000$) и в особенности АД_{сред.} ($r=0,82$; $p=0,0000$). Это подтвердило наши предположения о механизме выявленных значительных расхождений между средним АД в лучевой артерии и центральным средним АД в реперфузионный период, связанном с вазоплегией после гипотермического искусственного кровообращения.

Заключение

Инвазивный мониторинг артериального давления – это обязательная составляющая анестезиологического обеспечения пациентов в течение ортотопической трансплантации печени. В ряде случаев измерение инвазивного артериального давления в бедренной артерии имеет ряд преимуществ: (1) при инфузии высоких доз вазопрессоров для коррекции низкого общего периферического сопротивления сосудов и вазоплегии в течение трансплантации печени, когда измерение «инвазивного» артериального давления через катетер в лучевой артерии не является достаточно точной техникой; (2) катетеризация бедренной артерии у критически больных пациентов с предсуществующей гипотензией и вазоконстрикцией выполняется технически проще, чем лучевой, и с большим шансом на успех [14]; (3) а использование ультразвуковой навигации для катетеризации бедренной артерии делает эту методику не менее безопасной, чем катетеризация лучевой артерии [21]. Несмотря на очевидные преимущества катетеризации бедренной артерии для инвазивного мониторинга артериального давления во время ортотопической трансплантации печени, нельзя не отметить риски потенциальных осложнений при выполнении данной интервенции. Среди них наибольшую угрозу представляют кровотечение, формирование артериальной псевдоаневризмы и тромбоз бедренной артерии [22]. Следовательно, при принятии решения о

способе измерения «инвазивного» артериального давления необходимо руководствоваться балансом между относительным риском и пользой для каждого конкретного пациента.

Так как результаты, полученные при измерении «инвазивного» артериального давления в бедренной артерии в меньшей степени подвержены влиянию патофизиологических нарушений и изменения баланса волеми и вазопрессоров, происходящих в течение различных фаз ортотопической трансплантации печени, это обеспечивает большую точность мониторинга гемодинамики реципиентов печени, а следовательно, и

своевременность принятия клинических решений во время ортотопической трансплантации печени.

Вывод

У реципиентов с тяжелой печеночной недостаточностью и обусловленным последней синдромом гипердинамической циркуляции более чувствительным инструментом для отражения изменений гемодинамики при ортотопической трансплантации печени является инвазивное измерение артериального давления в бедренной артерии.

Литература

- Schumann R., Mandell M.S., Mercaldo N. et al. Anesthesia for liver transplantation in United States academic centers: intraoperative practice. *J. Clin. Anesth.* 2013;25(7):542–550. PMID:23994704 DOI:10.1016/j.jclinane.2013.04.017
- Frezza E.E., Mezghebe H. Indications and complications of arterial catheter use in surgical or medical intensive care units. Analysis of 4932 patients. *Am. Surg.* 1998;64(2):127–131. PMID:9486883
- Dorman T., Breslow M.J., Lipsett P.A., et al. Radial artery pressure monitoring underestimates central arterial pressure during vasopressor therapy in critically ill surgical patients. *Crit. Care Med.* 1998; 26(10):1646–1649. PMID:9781720 DOI:10.1097/00003246-199810000-00014
- Stern D.H., Gerson J.I., Allen F.B., Parker F.B. Can we trust the direct radial artery pressure immediately following cardiopulmonary bypass? *Anesthesiology.* 1985;62(5):557–561. PMID:3994020 DOI:10.1097/00000542-198505000-00002
- Pauca A.L., Hudspeth A.S., Wallenhaupt S.L., et al. Radial artery-to-aorta pressure difference after discontinuation of cardiopulmonary bypass. *Anesthesiology.* 1989;70(6):935–941. PMID:2729634 DOI:10.1097/00000542-198906000-00009
- Dorman T., Breslow M.J., Lipsett P.A., et al. Radial artery pressure monitoring underestimates central arterial pressure during vasopressor therapy in critically ill surgical patients. *Crit. Care Med.* 1998;26(10):1646–1649. PMID:9781720 DOI:10.1097/00003246-199810000-00014
- Acosta F., Sansano T., Beltran R., et al. Is femoral and radial artery pressure different during reperfusion in liver transplantation? *Transplant. Proc.* 2000;32(8):2647. PMID:11134741 DOI:10.1016/S0041-1345(00)01821-2
- Meirelles Júnior R.F., Salvalaggio P., Rezende M.B., et al. Liver transplantation: history, outcomes and perspectives. *Einstein (Sao Paulo).* 2015;13(1):149–152. PMID:25993082 DOI:10.1590/S1679-45082015RW3164
- Bland J.M., Altman D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1(8476):307–310. PMID:2868172
- Albers I., Hartmann H., Bircher J., Creutzfeldt W. Superiority of the Child-Pugh classification to quantitative liver function tests for assessing prognosis of liver cirrhosis. *Scand. J. Gastroenterol.* 1989;24(3):269–276. PMID:2734585
- Remington J.W., Wood E.H. Formation of peripheral pulse contour in man. *J. Appl. Physiol.* 1956;9(3):433–442. PMID:13376469 DOI:10.1152/jap.1956.9.3.433
- Manecke G.R. Jr., Parimucha M., Stratmann G., et al. Deep hypothermic circulatory arrest and the femoral-to-radial arterial pressure gradient. *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2004;18(2):175–179. PMID:15073707
- Riley L.E., Chen G.J., Latham H.E. Comparison of noninvasive blood pressure monitoring with invasive arterial pressure monitoring in medical ICU patients with septic shock. *Blood Press. Monit.* 2017;22(4):202–207. PMID:28379881 DOI:10.1097/MBP.0000000000000258
- Kim W.Y., Jun J.H., Huh J.W., et al. Radial to Femoral Arterial Blood Pressure Differences in Septic Shock Patients Receiving High-Dose Norepinephrine Therapy. *Shock.* 2013;40(6):527–531. DOI:10.1097/SHK.0000000000000064
- Rivers E.P., Lozon J., Enriquez E., et al. Simultaneous radial, femoral, and aortic arterial pressures during human cardio-pulmonary resuscitation. *Crit. Care Med.* 1993;21(6):878–883. PMID:8504656
- Fuda G., Denault A., Deschamps A., et al. Risk Factors Involved in Central-to-Radial Arterial Pressure Gradient During Cardiac Surgery. *Anesth. Analg.* 2016;122(3):624–632. PMID:26599795 DOI:10.1213/ANE.0000000000001096
- Arnal D., Garutti I., Perez-Peña J., et al. Radial to femoral arterial blood pressure differences during liver transplantation. *Anaesthesia.* 2005;60(8):766–771. PMID:16029225 DOI:10.1111/j.1365-2044.2005.04257.x
- Shin Y.H., Kim H.Y., Kim Y.R., et al. The comparison of femoral and radial arterial blood pressures during pediatric liver transplantation. *Transplant. Proc.* 2013;45(5):1924–1927. PMID:23769074 DOI:10.1016/j.transproceed.2012.08.025
- Shin B.S., Kim G.S., Ko J.S., et al. Comparison of femoral arterial blood pressure with radial arterial blood pressure and noninvasive upper arm blood pressure in the reperfusion period during liver transplantation. *Transplant. Proc.* 2007;39(5):1326–1328. PMID:17580132 DOI:10.1016/j.transproceed.2007.02.075
- Mohr R., Lavee J., Goor D.A. Inaccuracy of radial artery pressure measurement after cardiac operations. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1987;94(2):286–290. PMID:3497310

21. Seto A.H., Abu-Fadel M.S., Sparling J.M., et al. Real-time ultrasound guidance facilitates femoral arterial access and reduces vascular complications: FAUST (Femoral Arterial Access With

Ultrasound Trial). *JACC Cardiovasc. Interv.* 2010;3(7):751–758. DOI:10.1016/j.jcin.2010.04.015

22. Sobolev M., Slovut D.P., Lee Chang A., et al. Ultrasound-Guided

Catheterization of the Femoral Artery: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J. Invasive Cardiol.* 2015;27(7):318–323. PMID:26136279

References

1. Schumann R., Mandell M.S., Mercaldo N., et al. Anesthesia for liver transplantation in United States academic centers: intraoperative practice. *J Clin Anesth.* 2013;25(7):542–550. PMID:23994704 DOI:10.1016/j.jclinane.2013.04.017

2. Frezza E.E., Mezgebe H. Indications and complications of arterial catheter use in surgical or medical intensive care units. Analysis of 4932 patients. *Am Surg.* 1998;64(2):127–131. PMID:9486883

3. Dorman T., Breslow M.J., Lipsett P.A., et al. Radial artery pressure monitoring underestimates central arterial pressure during vasopressor therapy in critically ill surgical patients. *Crit Care Med.* 1998;26(10):1646–1649. PMID:9781720 DOI:10.1097/00003246-199810000-00014

4. Stern D.H., Gerson J.I., Allen F.B., Parker F.B. Can we trust the direct radial artery pressure immediately following cardiopulmonary bypass? *Anesthesiology.* 1985; 62(5): 557–561. PMID:3994020 DOI:10.1097/00000542-198505000-00002

5. Pauca A.L., Hudspeth A.S., Wallenhaupt S.L., et al. Radial artery-to-aorta pressure difference after discontinuation of cardiopulmonary bypass. *Anesthesiology.* 1989;70(6):935–941. PMID:2729634 DOI:10.1097/00000542-198906000-00009

6. Dorman T., Breslow M.J., Lipsett P.A., et al. Radial artery pressure monitoring underestimates central arterial pressure during vasopressor therapy in critically ill surgical patients. *Crit Care Med.* 1998;26(10):1646–1649. PMID:9781720 DOI:10.1097/00003246-199810000-00014

7. Acosta F., Sansano T., Beltran R., et al. Is femoral and radial artery pressure different during reperfusion in liver transplantation? *Transplant Proc.* 2000;32(8):2647. PMID:11134741 DOI:10.1016/S0041-1345(00)01821-2

8. Meirelles Júnior R.F., Salvalaggio P., Rezende M.B., et al. Liver transplanta-

tion: history, outcomes and perspectives. *Einstein (Sao Paulo).* 2015;13(1):149–152. PMID:25993082 DOI:10.1590/S1679-45082015RW3164

9. Bland J.M., Altman D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1(8476):307–310. PMID:2868172

10. Albers I., Hartmann H., Bircher J., Creutzfeldt W. Superiority of the Child-Pugh classification to quantitative liver function tests for assessing prognosis of liver cirrhosis. *Scand J Gastroenterol.* 1989;24(3):269–276. PMID:2734585

11. Remington J.W., Wood E.H. Formation of peripheral pulse contour in man. *J Appl Physiol.* 1956;9(3):433–442. PMID:13376469 DOI:10.1152/jappl.1956.9.3.433

12. Manecke G.R. Jr., Parimucha M., Stratmann G., et al. Deep hypothermic circulatory arrest and the femoral-to-radial arterial pressure gradient. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2004;18(2):175–179. PMID:15073707

13. Riley L.E., Chen G.J., Latham H.E. Comparison of noninvasive blood pressure monitoring with invasive arterial pressure monitoring in medical ICU patients with septic shock. *Blood Press Monit.* 2017;22(4):202–207. PMID:28379881 DOI:10.1097/MBP.0000000000000258

14. Kim W.Y., Jun J.H., Huh J.W., et al. Radial to Femoral Arterial Blood Pressure Differences in Septic Shock Patients Receiving High-Dose Norepinephrine Therapy. *Shock.* 2013;40(6):527–531. DOI:10.1097/SHK.0000000000000064

15. Rivers E.P., Lozon J., Enriquez E., et al. Simultaneous radial, femoral, and aortic arterial pressures during human cardio-pulmonary resuscitation. *Crit Care Med.* 1993;21(6):878–883. PMID:8504656

16. Fuda G., Denault A., Deschamps A., et al. Risk Factors Involved in Central-to-Radial Arterial Pressure Gradient During Cardiac Surgery. *Anesth Analg.* 2016;122(3):624–632. PMID:26599795 DOI:10.1213/ANE.0000000000001096

17. Arnal D., Garutti I., Perez-Peña J., et al. Radial to femoral arterial blood pressure differences during liver transplantation. *Anaesthesia.* 2005;60(8):766–771. PMID:16029225 DOI:10.1111/j.1365-2044.2005.04257.x

18. Shin Y.H., Kim H.Y., Kim Y.R., et al. The comparison of femoral and radial arterial blood pressures during pediatric liver transplantation. *Transplant Proc.* 2013;45(5):1924–1927. PMID:23769074 DOI:10.1016/j.transproceed.2012.08.025

19. Shin B.S., Kim G.S., Ko J.S., et al. Comparison of femoral arterial blood pressure with radial arterial blood pressure and noninvasive upper arm blood pressure in the reperfusion period during liver transplantation. *Transplant Proc.* 2007;39(5):1326–1328. PMID:17580132 DOI:10.1016/j.transproceed.2007.02.075

20. Mohr R., Lavee J., Goor D.A. Inaccuracy of radial artery pressure measurement after cardiac operations. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1987;94(2):286–290. PMID:3497310

21. Seto A.H., Abu-Fadel M.S., Sparling J.M., et al. Real-time ultrasound guidance facilitates femoral arterial access and reduces vascular complications: FAUST (Femoral Arterial Access With Ultrasound Trial). *JACC Cardiovasc Interv.* 2010;3(7):751–758. DOI:10.1016/j.jcin.2010.04.015

22. Sobolev M., Slovut D.P., Lee Chang A., et al. Ultrasound-Guided Catheterization of the Femoral Artery: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Invasive Cardiol.* 2015;27(7):318–323. PMID:26136279

Информация об авторах

Максим Леонидович Катин	заведующий отделением анестезиологии и реанимации № 2 ГУ «МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии», ORCID: 0000-0001-8129-1249
Александр Михайлович Дзядзько	д-р мед. наук, заведующий отделом анестезиологии и реанимации ГУ «МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии», ORCID: 0000-0003-1965-1850
Марианна Юзефовна Гурова	заведующая отделением анестезиологии и реанимации № 5 ГУ «МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии», ORCID: 0000-0003-4923-7204
Олег Олегович Руммо	член-корр. НАН Республики Беларусь, проф., д-р мед. наук, директор ГУ «МНПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии», ORCID: 0000-0001-7023-4767

Information about authors

Maksim L. Katin	Head of Anesthesiology and Intensive Care Unit No. 2 at Minsk Scientific and Practical Center of Surgery, Transplantation, and Hematology, ORCID: 0000-0001-8129-1249
Alexandr M. Dzyadz'ko	Dr. Med. Sci., Head of Anesthesiology and Intensive Care Department at Minsk Scientific and Practical Center of Surgery, Transplantation, and Hematology, ORCID: 0000-0003-1965-1850
Maryanna Yu. Gurova	Head of Anesthesiology and Intensive Care Unit No. 5 at Minsk Scientific and Practical Center of Surgery, Transplantation, and Hematology, ORCID: 0000-0003-4923-7204
Oleg O. Rummo	Corr. Member of NAS of Republic of Belarus, Prof., Dr. Med. Sci., Director of Minsk Scientific and Practical Center of Surgery, Transplantation, and Hematology, ORCID: 0000-0001-7023-4767