



<https://doi.org/10.34883/PI.2022.11.1.006>
УДК 616.831-005-07-073.756.8



Турлюк Д.В.¹, Терехов В.И.³, Янушко В.А.², Кардаш О.Ф.¹, Роговой Н.А.¹,
Свинковская Т.В.⁴, Пинчук Н.А.⁴, Хрыщанович В.Я.¹✉

¹ Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

² Республиканский научно-практический центр «Кардиология», Минск, Беларусь

³ 4-я городская клиническая больница имени Н.Е. Савченко, Минск, Беларусь

⁴ Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии,
Минск, Беларусь

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография головного мозга в определении степени гипоперфузии при вертебробазилярной недостаточности, вызванной позиционной компрессией позвоночных артерий

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования – Турлюк Д.В., Янушко В.А.; сбор материала и создание базы данных – Турлюк Д.В., Терехов В.И., Янушко В.А., Кардаш О.Ф., Свинковская Т.В., Пинчук Н.А.; статистическая обработка данных – Турлюк Д.В., Хрыщанович В.Я.; редактирование и обсуждение данных – Турлюк Д.В., Терехов В.И., Янушко В.А., Кардаш О.Ф., Роговой Н.А., Хрыщанович В.Я.; обзор публикаций по теме статьи – Турлюк Д.В., Хрыщанович В.Я.; проверка критически важного содержания и утверждение рукописи для публикации – Хрыщанович В.Я.

Подана: 28.01.2022

Принята: 28.02.2022

Контакты: vladimirkh77@mail.ru

Резюме

Цель. Определить степень гипоперфузии головного мозга при позиционной пробе де Клейна на основании показателей однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ).

Материалы и методы. В исследование было включено 114 пациентов с вертебробазилярной недостаточностью (ВБН). Средний возраст пациентов составил $48,1 \pm 0,8$ года. Для определения степени выраженности ВБН проводили тестирование всех пациентов по шкалам Tinetti и оригинальной шкале ВБН (овВБН). С целью определения степени снижения перфузии головного мозга (ГМ) всем пациентам проводили ОФЭКТ в покое и при позиционной пробе де Клейна. Полученные томограммы оценивали визуально с расчетом коэффициента асимметрии по отношению радиоактивности в очагах ее снижения к радиоактивности контралатерального участка. Исследование выполняли по однодневному протоколу в последовательности «ОФЭКТ → rest ГМ» через 15 минут после введения радиофармпрепарата (РФП). Промежуток между исследованиями в покое и провокационной пробой де Клейна составлял в среднем 120 минут. Второе исследование «ОФЭКТ → stress ГМ» начинали с введения РФП через 5 минут после проведения функциональной нагрузочной пробы де Клейна с целью инициации нарушения распределения ^{99m}Tc в момент провокации динамической гипоперфузии ГМ. Для верификации этиологии и патогенеза заболевания пробу де Клейна проводили только при варианте поворота

и запрокидывания головы, сопровождавшегося наибольшими клиническими проявлениями ВБН. Особенности распределения изотопа у пациентов с ВБН сравнивали с аналогичными показателями у здоровых людей.

Результаты. Тридцать пациентов были исключены из дальнейшего анализа в связи с обнаружением легкой степени ВБН. В 18 случаях была выявлена умеренная степень ВБН – 6–7 баллов по шкале oВБН и 11–20 баллов по шкале Tinetti. В 48 наблюдениях диагностировали выраженную ВБН – 8–10 баллов по шкале oВБН и 5–10 баллов по шкале Tinetti. Грубые нарушения присутствовали у 35 пациентов – 11–15 баллов по шкале oВБН и менее 5 баллов по шкале Tinetti. Снижение плотности распределения РФП в ткани ГМ в состоянии покоя не превышало 10% от референтных показателей в группе здоровых лиц. При провокационной пробе площадь зон гипоперфузии ткани ГМ увеличивалась в затылочной области (более чем в 2 раза) и в лобных долях. Выявлена прямая корреляционная связь между клиническими проявлениями ВБН и снижением перфузии на 20% и более при пробе де Клейна ($r=0,71$).

Выводы. ОФЭКТ головного мозга с провокационной пробой де Клейна позволяет оценить влияние экстравазальной компрессии позвоночных артерий на показатели церебральной перфузии. Выполнение пробы де Клейна на стороне поражения сопровождается значительным снижением мозгового кровотока в задней черепной ямке у пациентов с ВБН тяжелой степени тяжести и имеет прямую корреляционную связь с выраженностью неврологических проявлений. Впервые выявлены достоверные изменения перфузии ткани головного мозга на 20% и более в затылочной области по сравнению с состоянием покоя у пациентов с грубыми нарушениями при вертебробазилярной недостаточности.

Ключевые слова: головной мозг, перфузия, вертебробазилярная недостаточность, однофотонная эмиссионная компьютерная томография



Turliuk D.¹, Terekhov V.³, Yanushko V.², Kardash O.¹, Rogovoy N.¹, Svinkovskaya T.⁴,
Pinchuk N.⁴, Khryshchanovich V.¹✉

¹ Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

² Republican Scientific and Practical Center "Cardiology", Minsk, Belarus

³ 4th City Clinical Hospital named after N.E. Savchenko, Minsk, Belarus

⁴ Republican Research and Clinical Center of Neurology and Neurosurgery, Minsk, Belarus

Single-Photon Emission Computed Tomography of the Brain in Determining the Degree of Hypoperfusion in Vertebrobasilar Insufficiency Caused by Positional Compression of the Vertebral Arteries

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: study concept and design – Turliuk D., Yanushko V.; collection of material and creation of a sample database – Turliuk D., Terekhov V., Yanushko V., Kardash O., Svinkovskaya T., Pinchuk N.; statistical data processing – Turliuk D., Khryshchanovich V.; editing and data discussion – Turliuk D., Terekhov V., Yanushko V., Kardash O., Rogovoy N., Khryshchanovich V.; review of publications on the topic of the article – Turliuk D., Khryshchanovich V.; review of critical content and approval of the manuscript for publication – Turliuk D., Khryshchanovich V.

Submitted: 28.01.2022

Accepted: 28.02.2022

Contacts: vladimirkh77@mail.ru

Abstract

Purpose. To determine the degree of cerebral hypoperfusion during the de Klein positional test based on the indicators of single photon emission computed tomography (SPECT).

Materials and methods. The study included 114 pts with vertebrobasilar insufficiency (VBI). The mean was 48.1 ± 0.8 years. To determine the severity of VBI, all pts were tested according to the Tinetti scales and the original VBI scale (oVBI). In order to determine the degree of decrease in cerebral perfusion (CP), all patients underwent SPECT at "rest" and with the de Klein positional test. The obtained tomograms were evaluated visually with the calculation of the asymmetry coefficient. The study was performed according to a one-day protocol in the sequence "SPECT → rest CP" 15 minutes after the administration of the radiopharmaceutical (RP). The interval between studies at rest and de Klein's provocative test averaged 120 minutes. The second study "SPECT → stress CP" was started with the introduction of RP 5 minutes after the functional stress test of de Klein. Features of the distribution of the isotope in patients with VBI were compared with similar indicators in healthy people.

Results. 30 patients were excluded from further analysis due to the detection of a mild degree of VBI. In 18 cases, a moderate degree of VBI was detected ~ 6–7 points on the oVBI scale and 11–20 points on the Tinetti scale. 48 pts were diagnosed with severe VBI ~ 8–10 points on the oVBI scale and ~ 5–10 points on the Tinetti scale. Severe impairments were present in 35 patients ~ 11–15 points on the oVBI scale and less than 5 points on the Tinetti scale. The decrease in the distribution density of RP in the cerebral tissue at rest did not exceed 10% of the reference values in the group of healthy individuals.

During the provocative test, the area of CP zones increased in the occipital region (more than 2 times) and in the frontal lobes. A direct correlation was found between the clinical manifestations of VBI and a decrease in perfusion by 20% or more in the de Klein test ($r=0.71$).

Conclusions. Performing the de Klein test on the side of the lesion is accompanied by a significant decrease in cerebral blood flow in the posterior cranial fossa in pts with severe VBI and has a direct correlation with the severity of neurological manifestations. Significant changes in perfusion of the brain tissue by 20% or more in the occipital region compared with the state of "rest" in patients with severe disorders in VBI were revealed.

Keywords: brain, perfusion, vertebrobasilar insufficiency, single photon emission computed tomography

■ ВВЕДЕНИЕ

Разнообразие подходов к определению состояния кровотока в головном мозге (ГМ) свидетельствует об отсутствии «золотого» диагностического стандарта для принятия решения о необходимости хирургического вмешательства при нарушении церебральной перфузии. В нормальных условиях перфузионные характеристики ГМ представлены широким диапазоном колебаний и зависят от множества сопутствующих факторов. С другой стороны, по-прежнему отсутствуют достоверные критерии, позволяющие установить критическое для ГМ снижение перфузионного кровотока. В отдельных работах предпринимались попытки оценить параметры церебрального кровообращения у здоровых добровольцев, в то время как его изучение при патологии всегда представляет значительные трудности для исследователей. В прошлом клинические решения относительно лечения ишемических сосудисто-нервных расстройств определялись процентом стеноза целевого сосуда. Подобный подход предполагал предсказуемую и стабильную взаимосвязь между выраженностью стеноза и степенью уменьшения кровотока, однако указанный тип взаимосвязи достаточно трудно было задокументировать. Вместе с тем методы неинвазивного измерения абсолютного кровотока в конкретных церебральных артериях до настоящего времени сохраняют потенциальный практический интерес.

Современные методы оценки церебрального кровотока насчитывают не менее пяти визуализирующих технологий, в числе которых применяются N_2O -и ксенон-133- (^{133}Xe -) однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), ^{133}Xe -компьютерная томография (КТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), динамическая магнитно-резонансная томография (МРТ) и перфузионная КТ [1–6]. Все вышеперечисленные технологии, разработанные для измерения мозгового кровотока (МК), были апробированы в различных клинических ситуациях как для количественной, так и для качественной оценки перфузии ГМ. Качественная оценка предназначена для персонифицированного выявления изменений МК в каком-либо из сосудистых бассейнов при различных обстоятельствах, например, вследствие спровоцированной ишемии или в результате увеличения функциональной нагрузки, приводящей к росту потребления кислорода тканями. Количественный анализ МК может быть полезен для стратификации риска церебральной ишемии, вызванной нарушением гемодинамики.



Недостаточность кровообращения в вертебробазилярном бассейне (ВББ) – клинический симптомокомплекс, вызванный снижением перфузии ткани головного мозга в бассейне основной артерии (ОА). Этиологией патологического процесса служит уменьшение поступления крови по позвоночным артериям в заднюю черепную ямку. Компенсаторные механизмы круга Willis успешно срабатывают при медленно протекающих экстра- и интравазальных окклюзионных процессах, поэтому медленно формирующаяся окклюзия позвоночной артерии (ПА) на фоне опухолевого процесса или атеросклеротической бляшки часто не вызывает симптомов вертебробазилярной недостаточности (ВБН). Более того, при окклюзии первого сегмента подключичной артерии с формированием steal-синдрома и ретроградного кровотока по ПА не наблюдается тяжелых клинических проявлений ВБН [7]. Прерывистое же воздействие на ПА различных структур (костной ткани, мембран, элементов межпозвонкового диска) приводит к временному прекращению кровотока по ПА или к значительному снижению его объема с ярко выраженными симптомами ВБН [8, 9]. При этом в зоне контакта не обязательна полная компрессия ПА. Достаточно индуцировать ангиоспазм ПА, который рефлекторно распространяется на все ветви основной артерии (в том числе заднюю соединительную артерию (ЗСА)), приводя к функциональному размыканию круга Willis [9]. В результате формируются позиционные drop-атаки без перспективы компенсации. Быстрая нормализация просвета ПА после спазма и последующее восстановление кровообращения в ВББ не приводит к формированию коллатералей и/или неоангиогенезу, поскольку не запущены долгосрочные молекулярные механизмы ангиогенеза, как это происходит при хронических окклюзиях.

Вышеизложенные предпосылки объясняют трудности диагностики позиционных нарушений кровотока в ВББ, в то время как инвазивное лечение экстравазальной компрессии ПА связано с высокой травматичностью хирургического вмешательства.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение степени гипоперфузии головного мозга при позиционной пробе де Клейна на основании показателей однофотонной эмиссионной компьютерной томографии.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование было включено 114 пациентов с системными и несистемными головокружениями, проходивших обследование в ГУ «Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии». В 33 наблюдениях были определены показания к наружно-сонно-позвоночному перемещению в V3 сегмент ПА. Хирургические вмешательства проводились в ГУ «РНПЦ «Кардиология» и УЗ «4-я городская клиническая больница им. Н.Е. Савченко» г. Минска в период с 2003 по 2017 г. Средний возраст пациентов составил $48,1 \pm 0,8$ года (варьировал от 31 до 71 года). Клинические и демографические характеристики пациентов с экстравазальной компрессией ПА во втором (V2) и третьем (V3) сегментах представлены в табл. 1.

Для определения степени выраженности симптоматики проводили тестирование всех пациентов по шкалам Tinetti и оригинальной шкале ВБН (оВБН). Тринадцать пациентов были исключены из дальнейшего анализа в связи с обнаружением легкой степени ВБН. В 18 случаях была выявлена умеренная степень ВБН – 6–7 баллов

Таблица 1

Клинические и демографические характеристики оперированных пациентов с экстравазальной компрессией позвоночной артерии

Table 1

Clinical and demographic characteristics of operated patients with extravascular compression of the vertebral artery

Показатель	Значение
Возраст, лет	48,1±0,8
Мужской пол, n (%)	18 (54,5)
Средний индекс массы тела, кг/м ²	23,5±1,5
Курение, n (%)	3 (9)
Сахарный диабет, n (%)	2 (6)
Периферические вертеброгенные симптомы, %	100
Нистагм, n (%)	28 (84,8)
Артериальная гипертензия, n (%)	6 (18,8)
Посттравматическая энцефалопатия, n (%)	12 (36,6)
Зрительные симптомы, n (%)	26 (78,8)
Головная боль, n (%)	30 (90,1)
Кохлеарные симптомы, %	100
Головокружение, % (в том числе системное, %)	100 (37,7)
«+» пробы Ромберга и де Клейна, %	100
Синкопальные состояния, drop-атаки, %	100
Астенические проявления, n (%)	17 (51,5)

по шкале оВБН и 11–20 баллов по шкале Tinetti. В 48 наблюдениях диагностировали выраженную ВБН – 8–10 баллов по шкале оВБН и 5–10 баллов по шкале Tinetti. Грубые нарушения присутствовали у 35 пациентов – 11–15 баллов по шкале оВБН и менее 5 баллов по шкале Tinetti. С целью определения степени снижения перфузии ГМ всем пациентам проводили ОФЭКТ в покое и при позиционной пробе де Клейна. Кроме того, во всех наблюдениях выполняли транскраниальную доплерографию (ТКДГ). Для выявления корреляционной связи клинических проявлений с результатами ОФЭКТ пациенты были разделены на группы в зависимости от степени тяжести ВБН.

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография проводилась на двух-детекторном томографе Nucline X-Ring/R (Siemens, Германия). В качестве радиофармацевтического препарата (РФП) применяли ^{99m}Tc-ECD (Ceretek, Республика Польша). Каждому пациенту вводили в локтевую вену РФП с активностью 555–740 МБк на 3–5 мл физиологического раствора натрия хлорида и через 5 минут выполняли ОФЭКТ. Каждое исследование включало 64 или 120 проекций ГМ при матрице сбора проекций 64r64 или 128r128. Анализ срезов проводили в аксиальной, фронтальной и сагиттальной плоскостях с применением фильтра Low-Pass Cosine. Полученные томограммы оценивали визуально с количественным определением зон или очагов сниженной радиоактивности ^{99m}Tc, обусловленных снижением перфузии (рис. 1). В случае выявления таких очагов рассчитывали коэффициент асимметрии (КА) общепринятыми методами по отношению радиоактивности в очагах ее снижения к радиоактивности контралатерального участка.

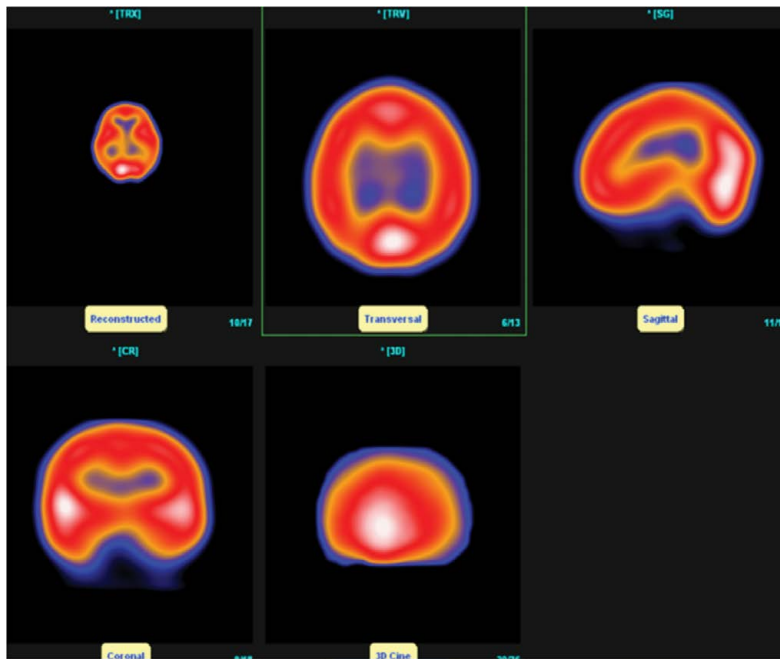


Рис. 1. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография при нормальной перфузии головного мозга (2D-реконструкция)

Fig. 1. Single photon emission computed tomography with normal brain perfusion (2D reconstruction)

Исследование выполняли по однодневному протоколу в последовательности «ОФЭКТ → rest ГМ» через 15 минут после введения РФП. Промежуток между исследованиями в покое и провокационной пробой де Клейна составлял в среднем 120 минут, что было связано с необходимостью естественной элиминации РФП после предыдущего исследования. Второе исследование «ОФЭКТ → stress ГМ» начинали с введения РФП через 5 минут после проведения функциональной нагрузочной пробы де Клейна с целью инициации нарушения распределения ^{99m}Tc в момент провокации динамической гипоперфузии ГМ. Для верификации этиологии и патогенеза заболевания пробу де Клейна проводили только при варианте поворота и запрокидывания головы, сопровождавшегося наибольшими клиническими проявлениями ВБН.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Состояние перфузии ГМ в покое в группах пациентов представлено в табл. 2. Особенности распределения изотопа у пациентов с ВБН сравнивали с аналогичными показателями у здоровых людей. Снижение плотности распределения РФП в ткани ГМ в состоянии покоя не превышало 10% от референтных показателей в группе здоровых лиц. Поэтому даже у пациентов с базовой гипоперфузией подобное снижение не было критическим. В связи с этим задачей настоящего исследования являлась оценка накопления РФП при провокационной пробе де Клейна. Полученные данные служили ключевым критерием в определении ишемической этиологии симптомов ВБН.

Таблица 2

Показатели однофотонной эмиссионной компьютерной томографии головного мозга пациентов
с различной степенью вертебробазилярной недостаточности в покое

Table 2

Indicators of single-photon emission computed tomography of the brain of patients with various
degrees of vertebrobasilar insufficiency at rest

Зона оценки перфузии, % пациентов с гипоперфузией	Степень вертебробазилярной недостаточности		
	Умеренная (n=18)	Выраженная (n=48)	Грубые нарушения (n=35)
Лобная доля, %	5,5	10,4	8,6
Височно-теменная (справа и слева), %	0	0	0
Затылочная, %	11	10,4	11,4

Результаты влияния провокационной пробы де Клейна на распределение изотопа в ГМ представлены в табл. 3.

При провокационной пробе площадь зон гипоперфузии ткани ГМ закономерно увеличивалась в затылочной области (более чем в 2 раза). При этом весьма неожиданно регистрировалось значительное увеличение зон гипоперфузии в лобных долях, в то время как подобного прироста в височно-теменных областях не наблюдалось (рис. 2).

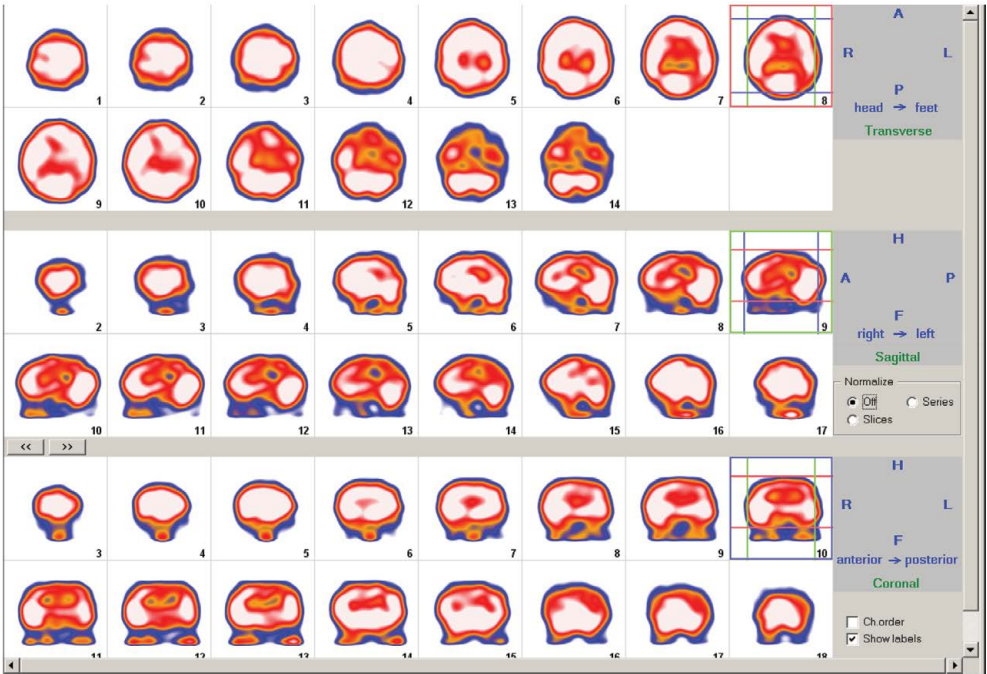


Рис. 2. Множественные зоны снижения накопления ^{99m}Tc в лобной и затылочной областях
с пробой де Клейна и выраженной степенью вертебробазилярной недостаточности

Fig. 2. Multiple zones of decreased accumulation of ^{99m}Tc in the frontal and occipital regions
with de Klein's test and a pronounced degree of vertebrobasilar insufficiency



Таблица 3
Показатели однофотонной эмиссионной компьютерной томографии головного мозга пациентов с различной степенью вертебробазилярной недостаточности при пробе де Клейна
Table 3
Indicators of single-photon emission computed tomography of the brain of patients with various degrees of vertebrobasilar insufficiency during de Klein's test

Зона оценки перфузии, % пациентов с гипоперфузией	Степень вертебробазилярной недостаточности		
	Умеренная (n=18)	Выраженная (n=48)	Грубые нарушения (n=35)
Лобная доля, %	44,4	41,6	42,8
Височно-теменная (справа и слева), %	11,1	6,25	11,4
Затылочная, %	55,5*	62,5*	85,7*

Примечание: * P<0,05 по сравнению с показателями, выявленными в состоянии покоя.

Таблица 4
Количество пациентов со снижением показателей однофотонной эмиссионной компьютерной томографии головного мозга >20% при пробе де Клейна
Table 4
The number of patients with a decrease in the parameters of single photon emission computed tomography of the brain >20% with de Klein's test

Зона оценки перфузии, % пациентов с гипоперфузией >20%	Степень вертебробазилярной недостаточности		
	Умеренная (n=18)	Выраженная (n=48)	Грубые нарушения (n=35)
Лобная доля, %	0	4,2	20
Височно-теменная (справа и слева), %	0	0	2,8
Затылочная, %	11,1	29,2	42,9*

Примечание: * P<0,05 по сравнению с показателями, выявленными в состоянии покоя.

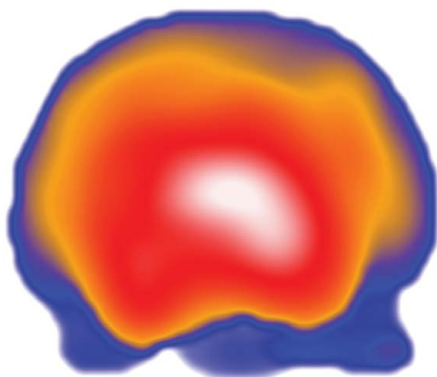


Рис. 3. 3D-модель однофотонной эмиссионной компьютерной томографии в покое без зон гипоперфузии головного мозга
Fig. 3. 3D model of single photon emission computed tomography at "rest" without areas of hypoperfusion of the brain

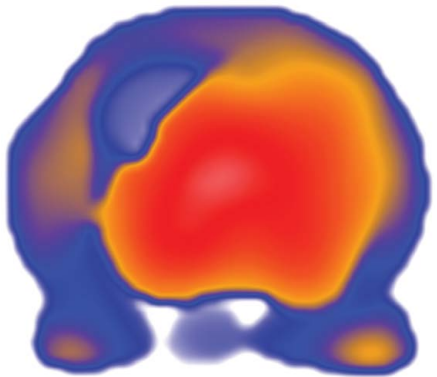


Рис. 4. 3D-модель однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с гипоперфузией затылочной области головного мозга
Fig. 4. 3D model of single photon emission computed tomography with hypoperfusion of the occipital region of the brain

Распределение в группах зон гипоперфузии более 20% от исходных показателей представлено в табл. 4. Выявлена прямая корреляционная связь между клиническими проявлениями ВБН и снижением перфузии на 20% и более при пробе де Клейна, рассчитанная по показателям шкал Tinetti и оВБН ($r=0,71$).

Для лучшей оценки зон гипоперфузии использовали 2D- и 3D-изображения данных ОФЭКТ. На рис. 3 представлена 3D-модель сцинтиграфии ГМ в покое у пациента с позиционным нарушением мозгового кровообращения в задней черепной ямке. На рис. 4 изображена 3D-реконструкция того же пациента со снижением зоны накопления изотопа в задней черепной ямке более 20% после проведения провокационной пробы де Клейна.

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективная парадигма принятия клинических решений, основанная на гемодинамической оценке, невозможна без применения диагностического алгоритма, который учитывает анатомические вариации и характеристику потоков в дистальных сосудах (regional cerebral blood flow (rCBF)). Однако современные методы определения rCBF технически сложны, требуют значительных временных затрат и связаны с воздействием длительного ионизирующего излучения. В большинстве проведенных исследований значения rCBF выражались в миллилитрах на 100 грамм ткани в минуту без дифференциации отделов или структур ГМ. Только в единичных работах МК определяли отдельно для белого и серого вещества. В исследовании Buijs et al. было изучено влияние возраста на общий объем МК с использованием нерегулируемой односторонней двухмерной фазово-контрастной МР-ангиографии (2D PC MRA) [6]. Авторы впервые предложили эмпирический коэффициент 10,81–12,14 для анализа корреляционной связи между показателями общего МК (мл/мин), полученными при 2D PC MRA, и значениями МК (мл/мин на 100 грамм ткани ГМ), полученными при визуализации с использованием закиси азота, ^{133}Xe -SPECT, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -SPECT, Xe-КТ и ПЭТ.

Гемодинамическая оценка посредством количественной МР-ангиографии (qMRA) используется для выявления пациентов с высоким риском инсульта и определения показаний для своевременного лечения [10]. Методика позволяет визуализировать распределение общего МК в круге Willis, оценить влияние пола и возраста, провести анализ ауторегуляции кровотока в ГМ, а также заподозрить различные цереброваскулярные нарушения [11]. В то же время диапазон кровотока для отдельного здорового сосуда в ГМ может быть весьма разнообразным из-за особенностей врожденной анатомии артерий и/или анатомических вариаций круга Willis. Поэтому снижение кровотока в конкретном сосуде не обязательно является следствием сосудистого заболевания.

Внедрение в практику различных радиоактивно меченных трассеров позволило картировать церебральную перфузию с качественным изображением. Большое прикладное значение имеет их клиническое применение в качестве меры оценки rCBF при патологических состояниях. Так, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -этилцистеинат-димер (ECD) обладает высокой стабильностью *in vitro* и быстрым клиренсом *in vivo*, что обосновывает его использование для количественной оценки rCBF при соответствующем моделировании. Количественный подход с индикаторной моделью фракционирования $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD вначале был изучен на экспериментальных животных, а затем апробирован в клинических условиях с использованием постоянной потоковой константы [12, 13].



Ранее сообщалось о методах графического построения изображений при помощи динамических планарных или ОФЭКТ реконструкций. В настоящем исследовании использовали простую неинвазивную технологию количественного определения $rCBF$ с ^{99m}Tc -ECD и ОФЭКТ на основе трехкамерной модели (рис. 1). Для реализации метода требовался один томограф и одноточечный доступ к венозной крови после введения трассера.

Есть все основания полагать, что применение ОФЭКТ при ВБН будет способствовать более объективной оценке степени ишемии в соответствующих отделах ГМ и определению показаний к хирургическому вмешательству при декомпенсации кровообращения в задней черепной ямке. Особенностью проведенного исследования, связанного с изменением перфузии ГМ при провокации, является возможность исключения других механизмов, влияющих на накопление изотопа. Например, можно не учитывать такие факторы, как повреждение ГМ в анамнезе, гипер- или гипотензия, прием препаратов, влияющих на мозговой кровоток. Кроме того, подобный подход позволяет контролировать эффективность лечения ВБН путем сравнения показателей ОФЭКТ до начала приема препаратов и на фоне лекарственной терапии или до хирургической операции и после нее.

Настоящее исследование обнаружило закономерность в появлении и/или усугублении показателей гипоперфузии в затылочных отделах мозга при провокационной пробе де Клейна относительно таковых в покое в один и тот же день и при тех же условиях. Достоверность полученных различий ($P < 0,05$) свидетельствует о влиянии поворота головы с запрокидыванием ее назад (проба де Клейна) на изменение кровотока в задней черепной ямке. Поскольку указанная проба является патогномоничной для определения степени воздействия экстравазального компонента на ПА, можно с уверенностью утверждать, что причиной клинических проявлений ВБН у обследованных пациентов является патология во втором (V2) сегменте ПА. Весьма примечательным является факт значимого снижения перфузии в зонах кровоснабжения ГМ из каротидного бассейна, который был зафиксирован при проведении нагрузочной ОФЭКТ. В состоянии покоя регистрировался дефицит накопления препарата не только в затылочной области, что было вполне предсказуемо у пациентов с ВБН, но и в лобных долях (табл. 1). Обнаруженный феномен представляется довольно неожиданным, поскольку зона гипоперфузии в лобных и височно-теменных областях не зависит от состояния кровотока по позвоночным артериям.

У пациентов с грубыми нарушениями при ВБН была выявлена прямая корреляционная связь снижения МК между затылочной и лобной областями при провокационной пробе де Клейна ($r=0,76$). Как оказалось, уже в состоянии покоя наблюдалось нарушение накопления РФП в лобных долях. После выполнения пробы де Клейна гипоперфузия как в задней черепной ямке, так и в других отделах (наиболее значительно в лобных долях) ГМ усиливалась. При этом корреляция между пробой де Клейна и снижением перфузии в лобных отделах ГМ имела прямую линейную зависимость. Возможным объяснением подобной взаимосвязи может быть снижение кровотока и выпадение зон перфузии вследствие спазма передних соединительных артерий, индуцированного поворотом головы. Подтверждением этой гипотезы является факт исчезновения сигнала от передних соединительных артерий при ТКДГ на фоне провокационных проб де Клейна и с дипиридамолом. Таким образом, сопоставление методов ОФЭКТ и ТКДГ позволяет предположить рефлекторный механизм снижения

перфузии ткани ГМ в лобных отделах. Необходимо отметить, что в доступной литературе отсутствуют упоминания о подобной рефлекторной взаимосвязи, в связи с этим выявленный патофизиологический феномен требует дальнейшего изучения.

■ ВЫВОДЫ

1. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография головного мозга с провокационной пробой де Клейна позволяет оценить влияние экстравазальной компрессии позвоночной артерии на показатели церебральной перфузии.
2. Выполнение пробы де Клейна на стороне поражения сопровождается значительным снижением мозгового кровотока в задней черепной ямке у пациентов с вертебробазилярной недостаточностью тяжелой степени тяжести и имеет прямую корреляционную связь с выраженностью неврологических проявлений.
3. Впервые выявлены достоверные изменения перфузии ткани головного мозга на 20% и более в затылочной области по сравнению с состоянием покоя у пациентов с грубыми нарушениями при вертебробазилярной недостаточности.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Fazekas J., Alman R., Bessman A. Cerebral physiology of the aged. *Am J Med Sci.* 1952 Mar;223(3):245–57. Available at: <https://doi.org/10.1097/00000441-195203000-00003>.
2. Ogasawara K., Ogawa A., Yoshimoto T. Cerebrovascular reactivity to acetazolamide and outcome in patients with symptomatic internal carotid or middle cerebral artery occlusion: a xenon-133 single-photon emission computed tomography study. *Stroke.* 2002 Jul;33(7):1857–62. Available at: <https://doi.org/10.1161/01.str.0000019511.81583.a8>.
3. Wintermark M., Thiran J., Maeder P., Schnyder P., Meuli R. Simultaneous measurement of regional cerebral blood flow by perfusion CT and stable xenon CT: a validation study. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2001 May;22(5):905–14.
4. Oikawa K., Kobayashi M., Beppu T., Terasaki K., Ogasawara K. Resolution of hypoxic tissue in cerebellar hemispheres after arterial bypass surgery in a patient with symptomatic bilateral vertebral artery occlusion: A 18F-FRP170 PET Study. *Clin Nucl Med.* 2019 Apr;44(4):295–6. Available at: <https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002469>.
5. Carroll T.J., Teneggi V., Jobin M., Squassante L., Treyer V., Hany T.F. Absolute quantification of cerebral blood flow with magnetic resonance, reproducibility of the method, and comparison with H2(15)O positron emission tomography. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2002 Sep;22(9):1149–56. Available at: <https://doi.org/10.1097/00004647-200209000-00013>.
6. Buijs P.C., Krabbe-Hartkamp M.J., Bakker C.J., de Lange E.E., Ramos L.M., Breteler M.M. Effect of age on cerebral blood flow: measurement with ungated two-dimensional phase-contrast MR angiography in 250 adults. *Radiology.* 1998 Dec;209(3):667–74. Available at: <https://doi.org/10.1148/radiology.209.3.9844657>.
7. Osiro S., Zurada A., Gielecki J., Shoja M.M., Tubbs R.S., Loukas M. A review of subclavian steal syndrome with clinical correlation. *Med Sci Monit.* 2012 May;18(5):RA57–63. Available at: <https://doi.org/10.12659/msm.882721>.
8. Soustiel J.F., Bruk B., Shik B., Hadani M., Feinsod M. Transcranial Doppler in vertebrobasilar vasospasm after subarachnoid hemorrhage. *Neurosurgery.* 1998 Aug;43(2):282–91; discussion 291–3. Available at: <https://doi.org/10.1097/00006123-199808000-00061>.
9. Yancy H., Lee-Iannotti J.K., Schwedt T.J., Dodick D.W. Reversible cerebral vasoconstriction syndrome. *Headache.* 2013 Mar;53(3):570–6. Available at: <https://doi.org/10.1111/head.12040>.
10. Conway S.A., Bowling S.M., Geyer J.D., Potts D.C., Clemons B.L., Gomez C.R. Quantitative magnetic resonance angiography of the cerebrovasculature in physiologic and pathologic states. *J Neuroimaging.* 2008 Jan;18(1):34–7. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1552-6569.2007.00171.x>.
11. Zhao M., Amin-Hanjani S., Ruland S., Curcio A.P., Ostergren L., Charbel F.T. Regional cerebral blood flow using quantitative MR angiography. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2007 Sep;28(8):1470–3. Available at: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A0582>.
12. Greenberg J.H., Araki N., Karp A. Correlation between 99mTc-bicisate and regional CBF measured with iodo-[14C]-antipyrine in a primate focal ischemia model. *J Cereb Blood Flow Metab.* 1994;14 (suppl. 1):S36–S43.
13. Pupi A., Castagnoli A., Teresa R.M., Cristofaro D. Bacciottini L., Petti A.R. Quantitative comparison between 99mTc-HMPAO and 99mTc-ECD: measurement of arterial input and brain retention. *Eur J Nucl Med.* 1994 Feb;21(2):124–30. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF00175759>.