

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЙРОВАСКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОТНОШЕНИЙ КАК ВОЗМОЖНЫХ БИОМАРКЕРОВ ТРИГЕМИНАЛЬНОЙ НЕВРАЛГИИ

А.В. Бакунович¹, врач-рентгенолог

В.Е. Синицын², доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии факультета фундаментальной медицины

Е.А. Мершина², канд. мед. наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии факультета фундаментальной медицины

¹ ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России,
Иваньковское ш., 3, Москва, 125367, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
Ломоносовский пр-т, 27, корп. 1, Москва, 119192, Российская Федерация

MAGNETIC RESONANCE CHARACTERISTICS OF THE NEUROVASCULAR RELATIONSHIP AS A PROBABLE PREDICTOR OF TRIGEMINAL NEURALGIA

A.V. Bakunovich¹, Radiologist; orcid.org/0000-0003-3404-0548

V.E. Sinitsyn², Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Radiology Chair, Faculty of Fundamental Medicine;
orcid.org/0000-0002-5649-2193

E.A. Mershina², Cand. Med. Sc., Associate Professor of Radiology Chair, Faculty of Fundamental Medicine;
orcid.org/0000-0002-1266-4926

¹ Federal Center of Treatment and Rehabilitation, Ministry of Health of the Russian Federation,
Ivan'kovskoe shosse, 3, Moscow, 125367, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University,
Lomonosovskiy prospekt, 27, korpus 1, Moscow, 119192, Russian Federation

Цель исследования – выявить потенциальную связь анатомических характеристик интракраниальных порций тройничных нервов с фактом наличия классической тригеминальной невралгии (ТН).

Материал и методы. Проспективно проанализированы данные МР-последовательностей FIESTA, полученные на уровне базальных цистерн головного мозга у 133 пациентов, из них 86 пациентов с клинически и хирургически верифицированной ТН (30 и 56 пациентов соответственно; 55 ± 11 лет) и 47 пациентов группы контроля (51 ± 16 лет). Оценивались такие нейроваскулярные взаимоотношения, как диаметр прилежащих к тройничным нервам сосудов (артерий), нейроваскулярные расстояния, протяженность прилегания и расстояние от точек наибольшего нейроваскулярного контакта до моста мозга. Все полученные данные сравнивались с контралатеральными сторонами и соответствующими показателями контрольной группы.

Результаты. Диаметры близких к пораженным нервам артерий оказались меньше контралатеральных (медианы 1,2 и 1 мм, $p < 0,001$) и меньше диаметров в контрольной группе (медиана 1,1 мм, $p < 0,001$). Наименьшие нейроваскулярные расстояния оказались меньше контралатеральных в случае учета прямого контакта (с включением нулевых значений; медианы 0 и 1 мм, $p < 0,001$) и меньше расстояний в группе контроля (медиана 2,1 мм, $p < 0,001$). Протяженность близкого прилегания была статистически больше в группе больных по сравнению с группой контроля (медианы 3 и 0 мм, $p < 0,05$), однако отно-

Objective. To validate MR-criteria used for diagnosis of trigeminal neuralgia (TN).

Material and methods. Study population consisted of 133 patients: with trigeminal neuralgia (86, surgically (56) and clinically (30) verified; 55 ± 11 years) and control group (47; 51 ± 16 years). The data were obtained using the FIESTA sequence (slice thickness 0.5 mm) on 3T and 1.5T (Discovery 750w and Optima 450w, General Electric).

Results. The diameters of the adjacent vessels on the symptomatic side were significantly bigger than the diameters on the asymptomatic side in patients with neuralgia (medians 1.2 and 1 mm, $p < 0.001$). The shortest distances between nerves and vessels on the symptomatic side were significantly smaller than the distances on the asymptomatic side (medians 0 and 1.6 mm, $p < 0.001$). The distances between points of closest neurovascular contact and pons on the symptomatic side were significantly smaller in comparison with the controls (medians 2.7 and 5.3 mm, $p < 0.001$); the distances between the symptomatic and asymptomatic side were not statistically different (medians 2.7 and 3.9 mm, $p = 0.09$) in this parameter. The lengths of closest neurovascular contact was bigger in patient with TN (medians 3 and 0 mm, $p < 0.05$), as well as in comparison with the asymptomatic side (medians 3 and 0 mm, $p < 0.0001$).

Conclusion. Noninvasive MR-measurements of the posterior cranial fossa vessels show the differences between the symptomatic and asymptomatic side in the patients with TN as well as

сительно контралатеральной стороны значимое различие сохранялось только с включением нулевых значений при непосредственном контакте (медианы 3 и 0 мм, $p < 0,0001$). Различия в расстояниях между точками наиболее близкого нейроваскулярного контакта и мостом мозга оказалось значимым по сравнению с контрольной группой (медианы 2,7 и 5,3 мм, $p < 0,001$) и незначимым относительно контралатеральной стороны (медианы 2,7 и 3,9 мм, $p = 0,09$).

Заключение. Диаметры прилежащих к тройничным нервам артерий, расстояния между артериями и тройничными нервами, расстояния между точками наиболее близкого нейроваскулярного контакта и мостом мозга меньше на стороне ТН, что может свидетельствовать о роли данных характеристик в возникновении ТН.

Ключевые слова: тригеминальная невралгия; магнитно-резонансная томография; FIESTA; морфометрия; анатомические варианты.

Для цитирования: Бакунович А.В., Синицын В.Е., Мершина Е.А. Магнитно-резонансные характеристики нейроваскулярных взаимоотношений как возможных биомаркеров тригеминальной невралгии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2018; 99 (5): 231–6. DOI: 10.20862/0042-4676-2018-99-5-231-236

Для корреспонденции: Бакунович Александр Владимирович; E-mail: bioboi@yandex.ru

Поступила 24.01.2018

Принята к печати 07.02.2018

Введение

Тригеминальная невралгия (ТН), также называемая невралгией тройничного нерва, – хроническое заболевание, характеризующееся короткими пароксизмами интенсивных мучительных стреляющих болей в зоне иннервации одной или всех ветвей тройничного нерва. ТН является распространенным заболеванием, в США, по официальным данным, она встречается с частотой от 4–5 до 30–50 случаев на 100 тыс. населения, и ежегодно диагностируется порядка 15 тыс. новых случаев [1]. Социальная значимость ТН высока – тяжесть болевых приступов приводит к значительному нарушению нормального ритма жизни больных. Кроме того, с учетом распространенности заболевания финансовые затраты на лечение велики: так, в США только на хирургическое лечение выделяется до 100 млн долларов ежегодно [2, 3].

Согласно теории микроваскулярной компрессии, предложенной в 1934 г. W.E. Dandy и развитой в 1967 г. американским нейрохирургом P. Jannetta, причиной первичной ТН считают сдавление тройничного нерва артериями либо венами задней черепной ямки: в области про-

хождения нерва может быть сосудистая петля либо другая сосудистая аномалия [4–7]. В основе теории микроваскулярной компрессии лежит понятие так называемого нейроваскулярного конфликта (НВК) – конфликта тройничного нерва с прилежащими сосудистыми структурами [8]. Наиболее часто в контакт с тройничными нервами входят артерии мозжечка. Реже отмечается контакт с базилярной артерией и интракраниальными сегментами позвоночных артерий [9]. Считается, что наиболее чувствительной к экстраневральному сдавлению является область тройничного нерва, лежащая на стыке центральной и периферической нервных систем, – так называемая зона Redlich–Obersteiner, чаще называемая в международной литературе REZ (root entry zone – область вхождения корешка). В данной области периферический тип миелинизации нервных волокон меняется (посредством шванновских клеток) на центральный тип миелинизации за счет олигодендроцитов и других типов глии [1, 4, 10].

Несмотря на то что НВК принимается научным сообществом как наиболее вероятная причина первичной ТН, многие исследо-

healthy individuals. This result may be used as a predictor of TN.

Index terms: trigeminal neuralgia; magnetic resonance imaging; FIESTA; morphometry; anatomical variants.

For citation: Bakunovich A.V., Sinitsyn V.E., Meršina E.A. Magnetic resonance characteristics of the neurovascular relationship as a probable predictor of trigeminal neuralgia. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2018; 99 (5): 231–6 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2018-99-5-231-236

For correspondence: Aleksandr V. Bakunovich; E-mail: bioboi@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received January 24, 2018

Accepted February 7, 2018

вания указывают на наличие типичной симптоматики в отсутствие контакта нерва с сосудами [11, 12]. По данным аутопсий, НВК выявляется у 90–100% пациентов с ТН, однако он также выявляется у пациентов, не имевших клинически выраженной неврологической симптоматики [1, 13–15]. Доля ложноположительных диагнозов ТН по данным магнитно-резонансной томографии остается стабильно высокой – порядка 35% [9].

Актуальным является поиск объективных количественных характеристик нейроваскулярных взаимодействий, которые могут использоваться для диагностики ТН [7].

Материал и методы

Работа выполнена на базе ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России. Проспективно проанализированы данные 133 последовательностей FIESTA, полученных при сканировании базальных цистерн 86 пациентов с классической ТН и 47 пациентов контрольной группы. Исследование проводилось в период с 2012 по 2017 г. На момент сканирования все больные с ТН были верифицированы клинически, 56 из них

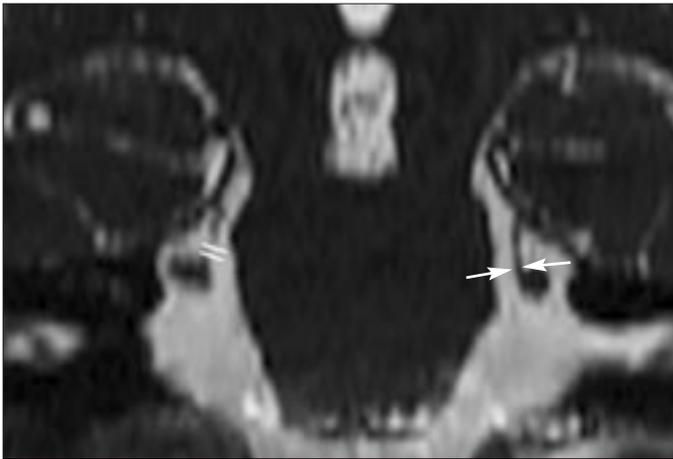


Рис. 1. Реконструкция из аксиальной серии FIESTA: коронарная плоскость. Параллельными белыми линиями обозначено наименьшее расстояние между тройничным нервом и верхней мозжечковой артерией, стрелками – диаметр артерии в точке прилегания

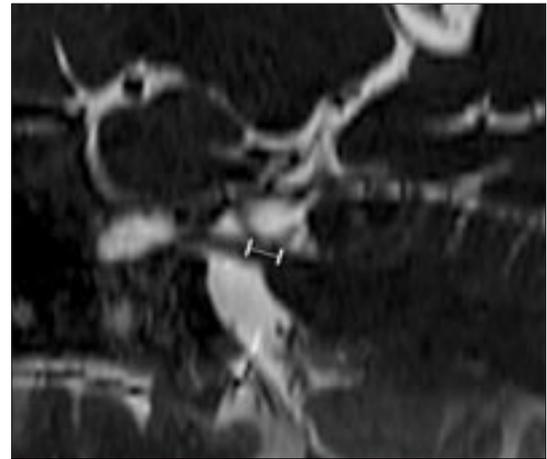


Рис. 2. Реконструкция из аксиальной серии FIESTA: сагиттальная плоскость. Указана протяженность наиболее тесного прилегания сосудистой петли верхней мозжечковой артерии к интракраниальной порции тройничного нерва

прошли дальнейшее хирургическое лечение – микроваскулярную декомпрессию с одномоментной верификацией. Критерием исключения являлось наличие двусторонних и атипичных форм ТН, включая невралгии, индуцированные демиелинизирующим процессом, воспалением, опухолью. Также из данного исследования исключались случаи с возможным венозным контактом (прилегание нерва к вене Денди и другим венам задней черепной ямки) и сосудистыми аномалиями на уровне базальных цистерн (мегадолихобазиллярис и прочие).

Сканирование проводилось на томографах Discovery 750w (3T) и Optima 450w (1,5T) General Electric. МР-исследование выполнялось в трех стандартных взаимно перпендикулярных плоскостях с обязательным включением в план сканирования изотропной аксиальной последовательности FIESTA (TR 6,6, TE 3,2, матрица 200×200, толщина среза 0,5 мм, интервал между срезами 0,5 мм, угол поворота 55°).

При помощи полученных томограмм оценивались следующие невровазкулярные взаимоотношения: диаметр артерий, наиболее близко прилежащих

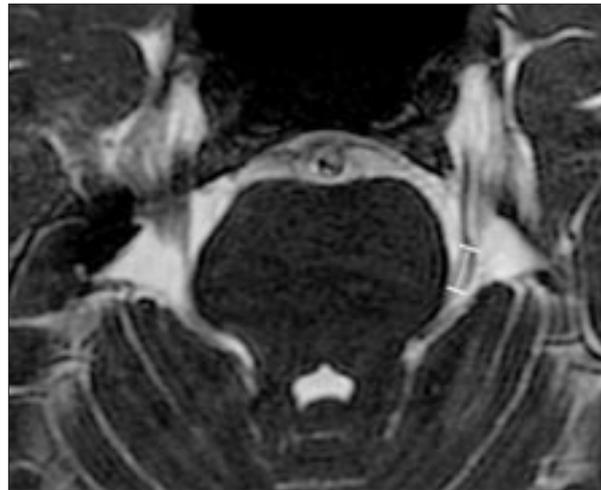


Рис. 3. Аксиальная серия FIESTA: указано расстояние от точки наиболее тесного невровазкулярного контакта до моста мозга

к REZ-областям тройничных нервов, наименьшие расстояния между данными артериями и поверхностью нервов (рис. 1), протяженность наиболее тесного невровазкулярного прилегания (рис. 2), а также наименьшие расстояния от точек теснейшего НВК до ствола мозга (рис. 3). Сравнение проводилось с контралатеральной непораженной стороной и группой контроля. Также параллельно выполнялись контрольные сравнения по вышеперечисленным характеристикам внутри группы контроля справа и слева.

Диаметры и расстояния определялись вручную на рабочей станции Advantage Workstation AW4.6 (General Electric, США).

Диаметры артерий в точках наиболее тесного прилегания оценивались на косых фронтальных реформациях, перпендикулярных ходу артерий. Протяженность наиболее близкого прилегания, расстояния до моста и тройничного нерва на фронтальных срезах оценивались полуавтоматически, при помощи соответствующего 3D-инструмента.

Статистическая обработка осуществлялась с помощью пакета программ Statistica 10.0 (США). Для оценки нормальности распределений использован критерий Шапиро–Уилка. Для сравнения несвязанных групп (с группой контроля) использовался U-критерий Манна–Уитни, для сравнения связанных

**Сравнение морфометрических данных на стороне ТН
с показателями здоровых добровольцев (медианы, мм)**

Показатель	Пораженные нервы	Интактные нервы	<i>p</i>
Диаметр прилежащей артерии	1,2	1,1	<0,001
Минимальное расстояние между тройничным нервом и артерией			
с включением нулевых значений	0	2,1	<0,001
без нулевых значений	2,1	2,9	<0,001
Расстояние между точкой наибольшего НВК и мостом мозга	2,7	5,3	<0,001
Протяженность тесного прилегания между тройничным нервом и артерией			
с включением непосредственного контакта	3	0	0,013
без непосредственного контакта	3,8	2,5	<0,0001

Таблица 2

**Сравнение морфометрических данных на стороне ТН
с аналогичными показателями на контралатеральной стороне (медианы, мм)**

Показатель	Пораженная сторона	Контралатеральная сторона	<i>p</i>
Диаметр прилежащей артерии	1,2	1	<0,001
Минимальное расстояние между тройничным нервом и артерией			
с включением нулевых значений	0	1,6	<0,001
без нулевых значений	1,9	2,9	0,4
Расстояние между точкой НВК и мостом мозга	2,7	3,9	<0,09
Протяженность тесного прилегания между тройничным нервом и артерией			
с включением непосредственного контакта	3	0	<0,0001
без непосредственного контакта	3,8	3	0,15

групп (контралатеральные сравнения) – критерий Вилкоксона. Выявленные результаты считались статистически значимыми при значениях $p < 0,05$ и высокозначимыми при $p < 0,001$.

Результаты

Средний возраст пациентов с ТН составил 55 ± 11 лет, контрольной группы 51 ± 16 лет. Во всех группах женщины преобладали: 76 женщин и 10 мужчин в группе больных, 37 женщин и 10 мужчин в контрольной группе.

Все полученные распределения не отвечали критерию нормального распределения Шапиро–Уилка, что вызвало необходимость использования непараметрических методов статистической обработки. Данные медиан сравнения с контрольной группой представлены в таблице 1, результаты сравнения с контра-

латеральными нервами – в таблице 2.

В подавляющем большинстве случаев наиболее близко прилежащими к тройничным нервам оказались верхние мозжечковые артерии, тогда как нижние мозжечковые артерии и основная артерия прилежали в единичных случаях (менее 10%). Внутри группы пациентов с невралгией диаметры артерий на стороне поражения оказались статистически значимо больше контралатеральных (медианы 1,2 и 1 мм, $p < 0,001$). Также диаметры на стороне поражения были статистически больше таковых в контрольной группе (медиана 1,1 мм, $p < 0,001$).

Расстояния между пораженными тройничными нервами и артериями оказались значимо меньше таковых в группе контроля, как с включением нуле-

вых значений (медианы 0 и 2,1 мм, $p < 0,001$), так и в общем случае (медианы 2,1 и 2,9 мм, $p < 0,001$). По сравнению с контралатеральной стороной значимой оказалась разница только с включением в группу нулевых значений (отражающих факт прямого контакта) (медианы 0 и 1,6 мм, $p < 0,001$), при исключении нулевых значений отличия не выявлены (медианы 1,9 и 2,1 мм, $p = 0,4$).

Протяженность прилегания нерва к артерии статистически значимо различалась при сравнении с контрольной группой, как с включением нулевых значений (отсутствие прямого контакта, медианы 3 и 0 мм, $p = 0,013$), так и только с непосредственным контактом (медианы 3,8 и 2,5 мм, $p < 0,0001$). При сравнении протяженности прилегания с контралатеральной стороной статис-

тически значимая разница выявлена с учетом нулевого показателя (медианы 3 и 0 мм, $p < 0,0001$), при сравнении же наблюдений без непосредственного контакта различия не были достоверными (медианы 3,8 и 3 мм, $p = 0,15$).

Различие в расстояниях между точками наиболее близкого нейроваскулярного контакта и мостом мозга оказалось статистически высокозначимым по сравнению с контрольной группой (медианы 2,7 и 5,3 мм, $p < 0,001$) и незначимым относительно контралатеральной стороны (медианы 2,7 и 3,9 мм, $p = 0,09$).

При оценке вышеперечисленных показателей внутри контрольной группы статистически значимых различий между контралатеральными нейроваскулярными взаимоотношениями выявлено не было ($p > 0,05$).

Обсуждение

По данным литературных источников, основным звеном в генезе классической ТН признается механическое воздействие кровеносного сосуда на интрацистернальную порцию тройничного нерва у моста мозга – так называемую REZ-зону. Исходя из этого, можно предположить влияние диаметра и пространственных характеристик артерий задней черепной ямки на частоту возникновения классической невралгии.

Степень механического воздействия предположительно связана с размером сосуда в области наиболее близкого прилегания. При оценке данного параметра нами действительно выявлено высокозначимое статистическое различие – диаметры артерий у пораженных невралгией нервов оказались больше таковых на противоположной, непораженной, стороне и в контрольной группе.

Расстояние от поверхности тройничного нерва до сосуда также может отражать степень механического воздействия – напря-

мую в случае непосредственного прилегания стенки сосуда либо опосредованно, через передаточную пульсацию ликвора. В нашем исследовании данное предположение подтверждается полностью только при сравнении с группой здоровых обследованных. При сравнении же контралатеральных артерий у больных невралгией значимое различие выявлено только с включением в статистическую обработку нулевых расстояний, отражающих факт непосредственного контакта. С исключением случаев прямого прилегания расстояние от нерва до артерии не играло статистически значимой роли в возникновении невралгии. В связи с этим можно предположить наличие в группе больных невралгией большей извитости артерий задней черепной ямки по сравнению со здоровыми пациентами как изначального предрасполагающего фактора, присутствующего с обеих сторон.

Протяженность прилегания также предположительно может коррелировать со степенью механического нейроваскулярного контакта: нами получены сходные с вышеприведенными различия. Статистически высокозначимые различия выявлены по сравнению с контрольной группой как в случае фактического прилегания сосудистой стенки к нерву, так и просто близкого к нерву хода сосуда. При сравнении с непораженной контралатеральной стороной статистическое различие сохранялось в целом, однако пропадало с исключением из группы сравнения случаев без непосредственного нейроваскулярного прилегания.

Поскольку механическое воздействие сосуда на нерв особенно значимо в REZ-области тройничного нерва, мы проанализировали расстояния от точек наиболее близкого НВК до моста мозга. Получена высокозначимая разница между расстояниями на пораженной стороне и аналогичными показателями в груп-

пе контроля, а также не менее значимая разница по сравнению с контралатеральной стороной.

Косвенным подтверждением наличия вышеперечисленных статистических различий в нейроваскулярных взаимоотношениях явилось отсутствие разницы во всех показателях внутри группы контроля.

Суммируя полученные результаты, можно сделать вывод о наличии связи между характеристиками артерий задней черепной ямки и фактом наличия классической ТН. Таким образом, основная теория о механическом генезе ТН полностью согласуется с данными нашего исследования. Более того, помимо ожидаемых результатов в случаях с наличием у пациентов прямого нейроваскулярного контакта, выявлены статистически значимые различия и без такового: расстояние до артерии и протяженность близкого хода артерии статистически различались при сравнении с контрольной группой, однако внутри группы больных разницы не было. Предположительно данный факт можно объяснить наличием общего предрасполагающего фактора внутри группы больных, такого как большая врожденная либо приобретенная извитость артерий задней черепной ямки.

Заключение

Количественные показатели нейроваскулярных отношений (диаметр прилежащих артерий, расположение точек тесного прилегания, протяженность тесного прилегания, нейроваскулярные расстояния) статистически значимо связаны с наличием классической ТН и подтверждают роль механического воздействия на нерв как основного фактора в развитии невралгии. Наше исследование также подтверждает возможность оценки нейроваскулярных взаимоотношений при помощи неинвазивной методики – путем включения в программу сканирования изотропной по-

следовательности типа FIESTA с возможностью получения всех необходимых данных при последующей обработке в 3D-режиме. Все полученные данные могут быть использованы в диагностике такого распространенного и социально значимого заболевания, как классическая тригеминальная невралгия.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература [References]

1. Antonini G., Di Pasquale A., Cruccu G., Truini A., Morino S., Saltelli G. et al. Magnetic resonance imaging contribution for diagnosing symptomatic neurovascular contact in classical trigeminal neuralgia: a blinded case-control study and meta-analysis. *Pain*. 2014; 155 (8): 1464–71. DOI: 10.1016/j.pain.2014.04.020
2. Katusic S., Beard C., Bergstralh E., Kurland L. Incidence and clinical features of trigeminal neuralgia. *Ann. Neurol*. 1990; 27 (1): 89–95. DOI: 10.1002/ana.410270114
3. Pollock B.E., Ecker R.D. A prospective cost-effectiveness study of trigeminal neuralgia surgery. *Clin. J. Pain*. 2005; 21(4): 317–322. DOI:10.1097/01.ajp.0000125267.40304.57
4. Harsha K., Kesavadas C., Chinchure S., Thomas B., Jagtap S. Imaging of vascular causes of trigeminal neuralgia. *J. Neuroradiol*. 2012; 39 (5): 281–9. DOI: 10.1016/j.neurad.2012.08.006
5. Pamir M., Zirh T., Ozer A., Keleş G., Baykan N. Microvascular decompression in the surgical management of trigeminal neuralgia. *Neurosurg. Rev*. 1995; 18 (3): 163–7.
6. Işık S., Ekşi M., Yılmaz B., Toktaş Z., Akakin A., Kiliş T. Trigeminal neuralgia caused by cerebellopontine angle arteriovenous malformation treated with gamma knife radiosurgery. *J. Craniofac. Surg*. 2016; 27 (1): e55–7. DOI: 10.1097/SCS.0000000000002310
7. Балязина Е.В., Алексеева Н.А. Сравнительный анализ клиники невралгии тройничного нерва в зависимости от варианта нейроваскулярного конфликта. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2012; 8 (2): 388–93. [Balyazina E.V., Alekseeva N.A. Features of neurovascular conflict disposed to neuralgic status development. *Saratovskiy Nauchno-Meditsinskiy Zhurnal (Saratov Journal of Medical Scientific Research)*. 2012; 8 (2): 388–93 (in Russ.).]
8. Jannetta P.J. Neurovascular compression in cranial nerve and systemic disease. *Ann. Surg*. 1980; 192 (4): 518–25.
9. Быченко В.Г., Курашвили Ю.Б., Шиманский В.Н., Григорян Ю.А., Терновой С.К. Особенности выполнения МР-томографии и лучевой анатомии тройничного нерва. *REJR*. 2011; 1 (3): 54–62. [Bychenko V.G., Kurashvili Yu.B., Shimanskiy V.N., Grigoryan Yu.A., Ternovoy S.K. Features of magnetic resonance imaging and anatomical characteristics trigeminal nerve using MRI. *REJR*. 2011; 1 (3): 54–62 (in Russ.).]
10. Alper J., Shrivastava R.K., Balchandani P. Is there a magnetic resonance imaging-discernible cause for trigeminal neuralgia? A structured review. *World Neurosurg*. 2017; 98: 89–97. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.10.104
11. Lee A., McCartney S., Burbidge C., Raslan A., Burchiel K. Trigeminal neuralgia occurs and recurs in the absence of neurovascular compression. *J. Neurosurg*. 2014; 120 (5): 1048–54. DOI: 10.3171/2014.1.JNS131410
12. Ko A., Lee A., Raslan A., Ozpinar A., McCartney S., Burchiel K. Trigeminal neuralgia without neurovascular compression presents earlier than trigeminal neuralgia with neurovascular compression. *J. Neurosurg*. 2015; 123 (6): 1519–27. DOI: 10.3171/2014.11.JNS141741
13. Haines S.J., Jannetta P.J., Zorub D.S. Microvascular relations of the trigeminal nerve. *J. Neurosurg*. 1980; 52 (3): 381–6. DOI: 10.3171/jns.1980.52.3.0381
14. Hamlyn P.J. Neurovascular relationships in the posterior cranial fossa, with special reference to trigeminal neuralgia. 2. Neurovascular compression of the trigeminal nerve in cadaveric controls and patients with trigeminal neuralgia: quantification and influence. *Clin. Anat*. 1997; 10 (6): 380–8. DOI: 10.1002/(SICI)1098-2353(1997)10:6<380::AID-CA2>3.0.CO;2-T
15. Hamlyn P.J., King T.T. Neurovascular compression in trigeminal neuralgia: a clinical and anatomical study. *J. Neurosurg*. 1992; 76 (6): 948–54. DOI: 10.3171/jns.1992.76.6.0948